

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTROTECNIA



**PROPUESTA DE ETIQUETADO DE AEROGENERADORES DE BAJA
POTENCIA ORIENTADO A CONSUMIDORES**

Proyecto Integrador Profesional presentado por

JUAN PABLO DUZDEVICH

Ante la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue para acceder al título de

INGENIERO ELECTRÓNICO

Dirección de tesis:

ING. ANDRÉS ZAPPA

DR. MAURICIO TROVIANO

Neuquén, 26 de mayo de 2020

RESUMEN

Los aerogeneradores de baja potencia se desarrollan y comercializan desde principios del siglo XX a nivel mundial. Sin embargo, las normas que estandarizan el ensayo y caracterizan a estos productos, comenzaron a implementarse recién en la década de los ochenta. Desde entonces, los laboratorios presentan sus resultados de ensayo, en acabados pero complejos informes técnicos. Recientemente, en la tercera edición de IEC 61400-2 del año 2013, se incorpora el enfoque de comunicación de información técnica a consumidores, a partir de la definición de una etiqueta de consumidor. Pero aún con esta etiqueta, la comparación de productos puede ser una tarea difícil de realizar para personas sin conocimientos en la materia y no se facilita a los consumidores el proceso de selección de productos adecuados a sus necesidades y expectativas.

En este trabajo se propone un método de comparación de productos de interpretación simplificada, en cuatro ejes: eficiencia, seguridad, comunicación del producto y costo, como un complemento al etiquetado de consumidor previsto en la norma. Esta propuesta se desarrolla con el enfoque del *Benchmarking* de productos y toma como base los resultados de ensayos realizados por laboratorios independientes y acreditados, en base a los estándares de referencia. Para la realización de cada eje, se proponen polinomios de ponderación y se demuestra su validez y aplicabilidad analizando 48 casos.

Palabras clave: energía eólica, aerogeneradores de baja potencia, curva de potencia, eficiencia, benchmarking, etiqueta de consumidor.

ABSTRACT

Small Wind Turbines have been developed and marketed worldwide since the beginning of the 20th century. However, the standardization of the test and characterization of these products began to be implemented in 1986. Since then, laboratories have presented their test results in complete and complex technical reports. At the third edition of IEC 61400-2 of 2013, the Consumer Label is included as optional information, focusing on the communication of technical information to consumers. But even with this label, comparing of products can be a difficult task for people without specific knowledge, and selecting products appropriate to their needs and expectations is not facilitated for consumers.

This paper proposes a method for the comparison of products with simplified interpretation, as a complement to the consumer labeling provided in the standard. Four axes are developed: efficiency, safety, product communication, and cost. This proposal is developed under the product Benchmarking approach and is based on the results of tests carried out by independent and accredited laboratories, based on standards. For the realization of each axis, weighting polynomials are proposed and their validity and applicability are demonstrated by the analysis of 48 cases.

Key Words: wind energy, small wind turbines, power curve, efficiency, benchmarking, consumer label.

AGRADECIMIENTOS

A mi compañera Carolina y a mis hijas, Catalina y Lucía por el amor y la compañía en este camino. A mi familia, a mi madre y a mi padre, mis hermanas, a mi hermano y a su esposa. A mis sobrinas y sobrinos. A mis tías y tíos. A mi tío Rubén. A la memoria de mis abuelas y abuelos.

A Luciano, Silvina, Juan Manuel y Pablo por su apoyo, dedicado compañerismo y amistad.

A Andrés y Mauricio, por el apoyo y por mejorar este trabajo.

A mis compañeras y compañeros de estudio en mi paso por FAIN. A mis profesoras y profesores, en especial a Aníbal Rodríguez Lupo.

A mis compañeras y compañeros de trabajo en INTI, en especial a Alberto Anesini, Luciano Coppis, Gustavo Gil, Guillermo Martín y Andrés Zappa.

A Trudy Forsyth, Hector Mattio, Ignacio Cruz Cruz y Luis Arribas por el apoyo, la consideración, el afecto y todo lo que me enseñaron sobre energía eólica. Especialmente a la memoria de Erico Spinadel.

A Windempowerment, especialmente a John Sumanik Leary.

A Enrique Mario Martínez, por darle sentido de transformación social al ejercicio de la ingeniería y llenarla de sentido y pasión.

A la ciudad de Cutral C6, en especial a Ramón Rioseco y Walter Mardones.

A los fabricantes argentinos de aerogeneradores de baja potencia, por su apoyo y la confianza todos estos años, y en su nombre, a la Industria Nacional Argentina.

Al Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

A la Universidad Nacional del Comahue, P6blica, Libre y Gratuita.

CONTENIDOS

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
CONTENIDOS.....	iv
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 DEFINICIONES PRELIMINARES.....	3
2.1 Energía Eólica y aerogenerador.....	3
2.2 Curva de potencia de un aerogenerador.....	5
2.3 Energía Anual Producida.....	7
2.3.1 Cálculo de la Energía Anual Producida.....	8
2.4 Clase de un aerogenerador.....	9
2.5 Benchmarking.....	10
3 MÉTODO.....	11
3.1 Eficiencia del aerogenerador.....	11
3.1.1 Identificación de la clase aplicable.....	15
3.2 Desempeño en eficiencia.....	20
3.2.1 <i>Benchmarking</i> para eficiencia del diseño.....	20
3.3 Seguridad del aerogenerador.....	22
3.3.1 <i>Benchmarking</i> de seguridad del aerogenerador.....	23
3.4 Comunicación del producto.....	24
3.4.1 <i>Benchmarking</i> de comunicación del producto.....	25
3.5 Costo del producto.....	26
3.5.1 <i>Benchmarking</i> de costo del producto.....	29
4 RESULTADOS.....	30
4.1 Muestra de trabajo.....	30
4.1.1 Fuentes de datos sobre el mercado y esquemas de certificación.....	30
4.1.2 Base de datos de aerogeneradores.....	30
4.1.3 Productos bajo estudio.....	31
4.2 Estudio de casos para la validación del método.....	33
4.2.1 Fortis Montana.....	33
4.2.2 C&F Green Energy – CF15.....	36
4.2.3 TOZZI - TN 535 R1.4.....	39
4.2.4 Eveready Kestrel e400nb.....	42
4.3 Eficiencia del diseño.....	45
4.4 Seguridad.....	50
4.5 Comunicación del producto.....	54
4.6 Ponderación total.....	56
5 ETIQUETADO.....	59
6 CASO DE REFERENCIA: Windspot 3.5 kW.....	64
7 DISCUSIÓN.....	74
8 CONCLUSIONES.....	76
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXO 1 AEROGENERADORES RELEVADOS.....	80
PUBLICACIONES.....	86

1 INTRODUCCIÓN

El incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero se acepta como la primera causa del aumento de la temperatura de la superficie terrestre. El aumento de esta concentración en los últimos 270 años tiene raíz antropogénica, según el consenso mayoritario del ámbito científico mundial.

Las energías renovables implican la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, y de este modo representan una alternativa y una necesidad para acompañar el desarrollo humano y hacerlo sostenible. En eólica de baja potencia, la World Wind Energy Association estimaba a 2016 una capacidad total instalada de 949 MW en el mundo [1] (991 mil unidades), de los cuales más de 6 MW se instalaron en Argentina. Según el mismo estudio (el último publicado a la fecha) el crecimiento del mercado se sostiene en una tendencia sólida a nivel global. A pesar de los bajos precios de la fotovoltaica aún existen nichos como las micro redes aisladas o los proyectos en latitudes como las de la Patagonia en las que la introducción de aerogeneradores aún implica la optimización de costos, incluso hay situaciones en la que se impone la necesidad de hibridación por otros motivos. Adicionalmente la eólica de baja potencia demanda menor superficie de instalación lo que en algunas circunstancias la hace la mejor alternativa.

La energía eólica de baja potencia es utilizada mayormente para la generación de energía en sitios aislados de la red. La generación en microrredes o de forma distribuida en redes eléctricas fuertes, representan una minoría de los casos y a su vez un nuevo horizonte de crecimiento para esta tecnología.

En el ámbito rural o en zonas de suministro eléctrico deficiente, la energía eólica de baja potencia puede representar la única posibilidad de acceder a un suministro eléctrico. En el ámbito urbano se aprecia cada vez más como una alternativa a la energía suministrada por la red.

La generación distribuida de energías renovables ha sido regulada durante el año 2018 en el ámbito nacional y en la actualidad seis provincias cuentan con esquemas regulatorios para la inyección a la red de energías renovables a escala domiciliaria. Este panorama implica un incremento continuo de personas que toman contacto por primera vez con esta tecnología como usuarios finales.

Si bien, en lo más básico de su concepción los aerogeneradores no han tenido grandes variaciones, en las últimas tres décadas la irrupción de nuevas tecnologías de materiales en las máquinas eléctricas y el desarrollo de perfiles aerodinámicos específicos, provocaron un salto tecnológico relevante en la eólica de baja potencia. Particularmente, en los últimos 10 años han aparecido nuevas tecnologías que, basadas en la electrónica de potencia y la incorporación de nuevas

técnicas de materiales compuestos, han logrado optimizar el rendimiento de estas máquinas y las han hecho más seguras. No todos los productos las han implementado y esto representa una gran diferencia desde el punto de vista del usuario.

Se define a los aerogeneradores de baja potencia en función de la norma IEC 61400-12.1 [2], para aerogeneradores cuyo rotor barre un área de hasta 200 m², tanto en eje vertical como horizontal.

Partiendo de la base de la comparación propuesta por el etiquetado de consumidor IEA Wind Task 27 [3], este trabajo se propone ampliar la información brindada a través de una etiqueta complementaria que detalle en aspectos de eficiencia lograda en el diseño y realización del producto, los costos, los elementos de comunicación del producto y por último la seguridad para los bienes y las personas.

Este estudio se asienta sobre resultados de ensayo de curvas de potencia (y otros conforme a IEC 61400) realizados por laboratorios estatales o independientes en Dinamarca, Estados Unidos, Argentina, España, Japón e Inglaterra, sobre aerogeneradores del mundo entero. Así mismo se completó con un análisis de la información técnica y comercial obtenida de los fabricantes y comercializadores, y se desarrolló en detalle una metodología propuesta por el INTI para la comparación de los mencionados aspectos.

Contar con herramientas de comparación de productos que permitan identificar aspectos relevantes en la toma de decisiones desde el punto de vista de un comprador o usuario, es importante ya que favorece un desarrollo de la actividad serio, sostenible y a la medida de éstos. Por el mismo motivo, es relevante para el potencial consumidor contar con información de los productos basada en ensayos independientes.

Distintas organizaciones han publicado listados de aerogeneradores ensayados y resultados de los mismos. Es el caso de los organismos de certificación como INTERTEK [4] o UL [5] a nivel mundial, o asociaciones internacionales como la WWEA [6], así mismo organizaciones que promocionan y regulan la actividad en distintos países, como el INTI [7] en Argentina, el SWCC [8] y el NREL [9] en Estados Unidos, el FOLKECENTER [10] y el EGV [11] de Dinamarca, el MCS [12] de Inglaterra y ClassNK[13] de Japón. Se estima que en el mundo se han certificado más de 50 aerogeneradores bajo la norma IEC61400 y los estándares de estos países. En términos de comparativas, en 2015 la consultora Ecology Management, de Svend Enelvoldsen, elaboró un esquema de *benchmarking* como parte de su análisis del mercado Danés [14].

En el año 2011 la IEA Wind publicó su esquema de etiquetado de aerogeneradores de baja potencia, el cual ha sido incorporado a la norma IEC 61400-2 como un aspecto opcional y ha tenido gran aceptación entre los fabricantes de todo el mundo como una alternativa a la Certificación de Tipo (IEC 61400-23) ya que representa mayor simplicidad y menores costos en su obtención. Esta etiqueta informa al usuario de parámetros básicos de desempeño, como son la Energía Anual Producida y las Emisiones de Ruido Sonoro. A pesar de que tuvo gran impacto en el medio en los últimos años, la información brindada es poco útil para una persona con baja o nula formación en el tema y no incorpora otros aspectos de interés para un consumidor final como la seguridad o la calidad del soporte que brinda la empresa. Por ello es necesaria una etiqueta complementaria que incorpore estos aspectos y presente de forma simple y clara la información de forma tal que un usuario final pueda comparar entre distintos productos.

El trabajo presentado, es complementario al realizado en INTI en la implementación de los ensayos de curva de potencia, Emisiones de Ruido Sonoro, Duración y de emisión de Etiquetado IEA Wind, bajo el sistema de calidad de laboratorios (ISO 17025). Como punto de partida, durante agosto de 2018, la base conceptual de esta propuesta, se aplicó parcialmente a los aerogeneradores de origen nacional dando buenos resultados, bajo la consigna de que se puede informar más y mejor a los consumidores a partir de los ensayos realizados. Y se compendió en un artículo elegido para disertación durante la reunión de la Red CYTED REGEDIS en Soria, España en octubre de 2018 [15]. Dicha disertación se realizó también en noviembre para la reunión de especialistas de la Red CYTED Micro Eolo [16]. Una veintena de especialistas de distintos países de latinoamérica, España y Portugal, presenciaron y realizaron aportes a los esquemas propuestos por INTI, durante ambas disertaciones.

2 DEFINICIONES PRELIMINARES

2.1 Energía Eólica y aerogenerador

El término Energía Eólica se refiere al proceso de generar de energía eléctrica a partir del viento, o un flujo de aire que ocurre naturalmente en la superficie de la tierra. Los aerogeneradores se utilizan para generar energía eléctrica a partir de la energía cinética del viento [17].

Cuando el viento atraviesa un aerogenerador deja parte de su energía cinética en las aspas, lo que provoca que giren. Así, las aspas transforman la energía cinética en movimiento del eje interno, que a su vez se transmite al generador eléctrico, directamente o a través de una caja reductora. El movimiento en el rotor del generador eléctrico produce electricidad.

Se define como aerogenerador de baja potencia a aquel cuyo rotor barre un área de hasta 200 m², tanto en eje vertical como horizontal [18]. La Figura 1 muestra una vista en explosión de un aerogenerador de baja potencia de eje horizontal, en la que se puede ver compuesta en el conjunto rotor por dos o más aspas (*blade*, por su denominación en la imagen), unidas en el cubo (*hub*) y una

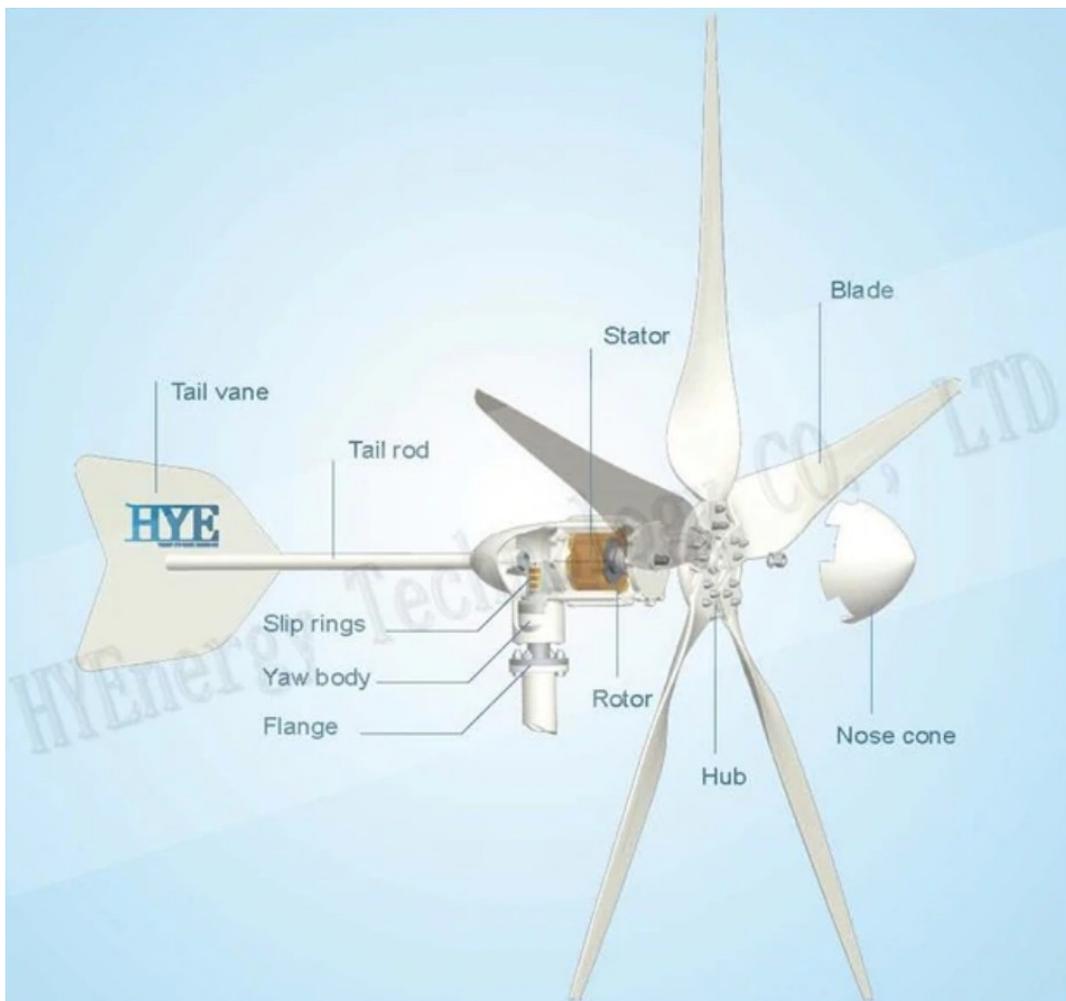


Figura 1: Partes de un aerogenerador. HY 3000 [21]

nariz (*nose cone*) sobre éste. El cubo se conecta mecánicamente a través del eje del rotor al generador (*rotor-stator en la figura*). Un rodamiento cónico permite el giro de orientación (*yaw body*), y un sistema de escobillas rosantes (*slip rings*) para la transmisión de la energía generadas que evita el retorcimiento de conductores. Una veleta de cola (*tail vane*) orienta al equipo en la dirección del viento incidente. En baja potencia, es muy frecuente la implementación de sistemas regulación de RPM a través del plegado de la veleta de orientación, denominado *furling tale*. Algunos equipos de baja potencia pueden incorporar el control del ángulo de las aspas para optimizar la generación de energía y regular las RPM.

La medida de la eficiencia que logra un aerogenerador, es simple desde su definición clásica, se debe determinar la energía que entra al sistema y contrastarla con la que sale del mismo. Esto se puede expresar como el rendimiento, como se muestra en la ecuación 1. Sin embargo, esta definición es insuficiente para su uso en la práctica para la comparación directa de aerogeneradores. La selección de la máquina más eficiente para una instalación depende de las característica del viento en el lugar, por lo que en la selección de aerogeneradores se realiza por aspectos que implican a la eficiencia de forma indirecta, como la energía que va a generar por año, o el costo de esa energía [18, 19, 20]. Ambos aspectos apuntan al numerador de esta expresión.

$$\eta_{\text{aerogenerador}} = \frac{\text{Energía eléctrica obtenida}}{\text{Energía cinética de la masa de aire incidente}} \quad (1)$$

Se da por sentado que se tiene información suficiente sobre la energía cinética del viento, sin embargo el recurso eólico es aleatorio y la falta de certidumbre penaliza a ambos lados de la igualdad.

En la elaboración de proyectos de energía eólica, la estimación de la energía anualmente producida requiere disponer de herramientas que vinculen la potencia generada en función de la velocidad del viento, y el medio estandarizado para expresar esta característica es la curva de potencia según la define IEC61400-12-1. Esta curva se obtiene como resultado de un proceso estadístico de datos de medición como se detallará en la sección 2.2.

La obtención de estos datos requiere del cumplimiento de ciertos requisitos relativos a la instalación adecuada del aerogenerador a ensayar, y de un sistema de medición en un sitio adecuado al aire libre. Debe instalarse una torre meteorológica con, al menos, anemómetro, veleta, termómetro, barómetro y un registrador de datos con una frecuencia de muestreo de un dato por segundo y elaborando estadísticas sobre muestras cada un minuto. La altura de montaje de anemómetro y veleta deben corresponderse con la altura del eje del rotor. Adicionalmente, tal como establece la norma, este registrador debe contener en sus registros las mediciones eléctricas, de potencia, tensión y corriente.

Los datos recabados se depuran por varios criterios abarcando la tensión media, la dirección del viento incidente y la ocurrencia de eventos ajenos al normal funcionamiento, como las precipitaciones o salidas de operación por cualquier motivo.

2.2 Curva de potencia de un aerogenerador

La comparación de aerogeneradores es un tema complejo por la naturaleza misma de estos equipos, dominados por variaciones aleatorias en la velocidad y dirección del viento. Un aerogenerador conjuga dispositivos aerodinámicos, mecánicos, eléctricos y electrónica de control. El parámetro básico de caracterización de desempeño es la curva de potencia, y su obtención implica la definición de un método para medir variables meteorológicas y eléctricas en conjunto, unificando unidades de medición que se agrupan en promedios, y el registro de parámetros estadísticos para su posterior proceso. La obtención de la curva requiere de un sistema de medición correctamente instrumentado y conectado a un datalogger que registre, lo que será, una nube de puntos que normalmente tienen una gran dispersión, lo que hace necesaria la realización de una nueva estadística que los agrupe y haga más simple su representación e interpretación. Esta segunda estadística agrupa los datos por rangos de velocidades de viento y se denomina Método de los Bines, por la castellanización del término inglés “bin” que se refiere a un contenedor de datos definido por un valor de velocidad de viento, donde se acumulan valores para procesarlos estadísticamente por separado. La Figura 2 muestra un ejemplo de nube de puntos obtenida típicamente durante el ensayo de un aerogenerador conforme a IEC 61400-12.

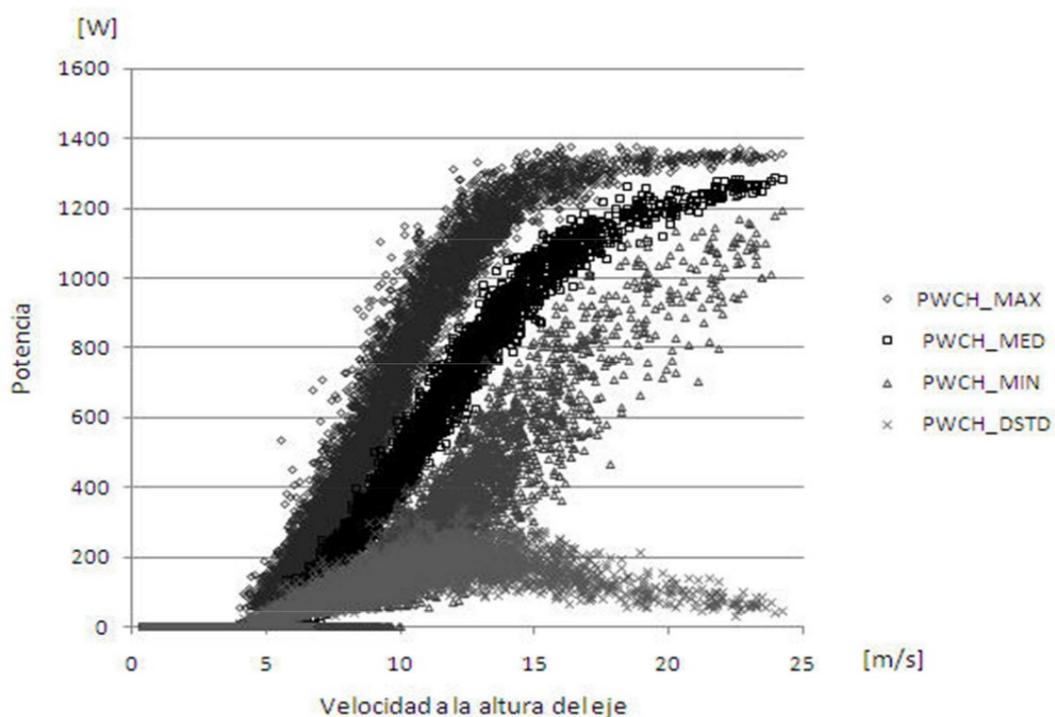


Figura 2: Dispersión de puntos de medición de la curva de potencia [22].

Luego, mediante el método de bins [2] esta dispersión de puntos se representa suavizando una secuencia de tramos en la curva que finalmente representa a la relación entre la potencia y al velocidad del viento, como se ve en la Figura 3, junto con bigotes representando la incertidumbre de medición.

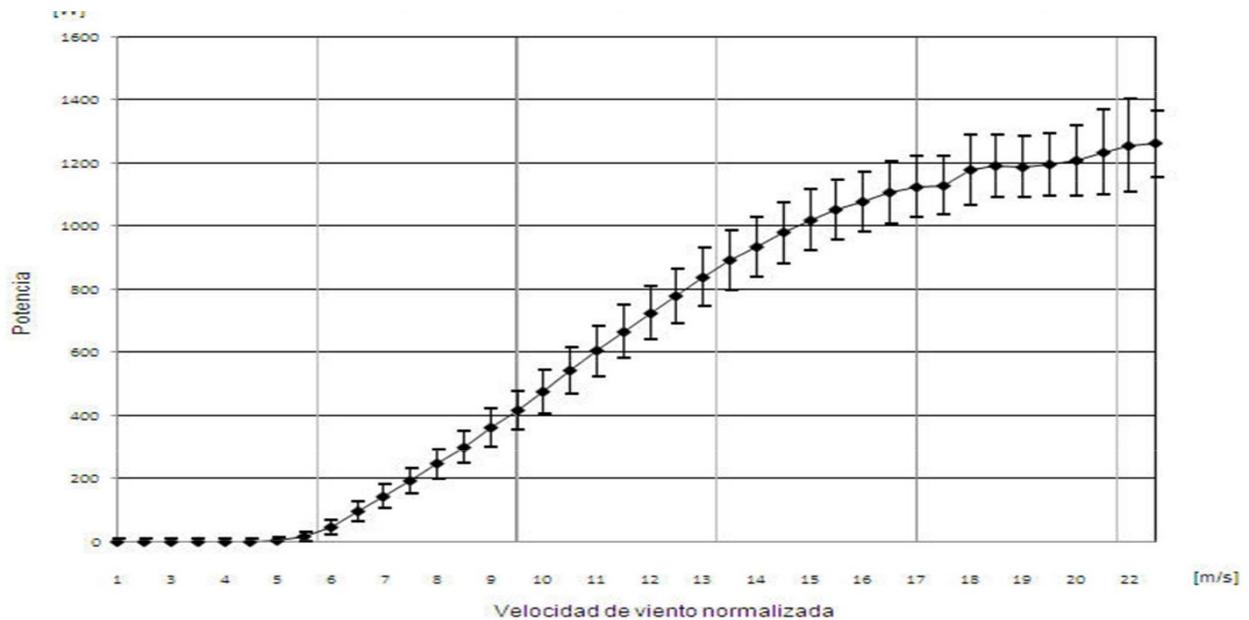


Figura 3: Curva de potencia típica e incertidumbre, reúne los datos de medición a través de estadísticas definidas en la norma [22].

La elaboración de la curva de potencia implica la realización de procesos estadísticos sucesivos, y que en funcionamiento normal un aerogenerador, no tiene por qué responder exactamente a la potencia definida por su curva de potencia a una velocidad determinada del viento de forma instantánea, sino que lo hará cuando la observe una cantidad suficiente de tiempo.

Por otra parte, la compleja interacción de fuerzas y mecanismos de distinta índole, que implican la respuesta de estos sistemas, provoca modificaciones en la forma de esta curva. De modo que, comparar aerogeneradores a través de sus curvas de potencia, por su forma, implica el manejo de una gran cantidad de variables con un alto grado de detalle, incluso tratándose de un mismo aerogenerador que fue sometido a una modificación simple, más aún entonces cuando se trata de comparar aerogeneradores distintos.

2.3 Energía Anual Producida

El consenso general en la industria es que, la comparación de aerogeneradores, se puede resumir a la comparación de la energía generada que es lo que, en definitiva, le interesará al usuario final de un sistema de baja potencia aislado [23], o al inversor de un proyecto de parque eólico de alta potencia, por poner casos extremos. Desde este punto de vista, los factores que inciden sobre la energía generada serán los más tenidos en cuenta. En los proyectos de generación de energía eólica

a gran escala esto se ve con mayor claridad, frecuentemente las licitaciones se realizan por compulsas que priorizan la oferta de precios de energía generada, y mientras más energía genera un proyecto a iguales costos, mejor puede ser su oferta.

La determinación de la energía que genera un sistema eólico se realiza, conforme a la misma norma, en función de la curva de potencia y para un plazo anual. La Energía Anual Producida (EAP) [2] se obtiene por la convolución de la curva de potencia, con la curva de la distribución de Rayleigh, que caracteriza la probabilidad de ocurrencia de las velocidades del viento en función del valor medio anual de la velocidad del viento, de forma única e invariable para cualquier caso.

Partiendo de la distribución de probabilidades de la velocidad del viento y la curva de potencia de dos aerogeneradores distintos, se puede asegurar que la comparación de la energía producida anualmente es una forma de comparación mucho más justa y adecuada al interés del usuario, que la mera comparación de curvas de potencia.

2.3.1 Cálculo de la Energía Anual Producida

La energía anual producida, según IEC61400-12 se calcula en función de la siguiente expresión:

$$EAP = N_h \sum_{i=1}^N [F(V_i) - F(V_{i-1})] \cdot \left[\frac{P(i-1) \cdot P(i)}{2} \right] \quad (2)$$

donde, EAP es la Energía Anual Producida, N_h es la cantidad de horas en un año (8.760), N es el número de bins, V_i es la velocidad de viento del bin i , promediada y normalizadas, P_i es la potencia de salida del bin i , promediada y normalizada, y

$$F(V) = 1 - \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{V}{V_{ave}}\right)^2\right) \quad (3)$$

donde, $F(V)$ es la función de distribución de probabilidad acumulativa de Rayleigh, V_{ave} es la velocidad promedio anual del viento a la altura del eje, y V es la velocidad del viento.

La sumatoria inicia definiendo V_{i-1} igual a $V_i - 0,5$ m/s y P_{i-1} igual a 0 kW y a partir de una tabla de velocidades de viento de 40 bins, entre 0 y 20 m/s, es decir cada 0,5 m/s, se halló el correspondiente valor de la potencia de la ideal de Betz¹ y para estos valores se calculó la energía anual producida para cada uno de los casos utilizados para este estudio.

¹ Albert Betz, conjetura en un 59,3% la proporción máxima de energía cinética que se puede extraer al viento para generar electricidad con un aerogenerador [24].

En la realización de este cálculo se implementó en planilla de LibreOffice Calc v6.0.7.3 y los resultados se verificaron contrastando los arrojados por Windographer 4.1² para iguales curvas de potencia observándose errores entorno al 1%, que se consideran despreciables en este trabajo.

2.4 Clase de un aerogenerador

En el diseño de un aerogenerador deben considerarse las condiciones de viento a las que va a ser sometido. La velocidad de viento y su turbulencia definen los parámetros básicos de diseño. Las clases de los sitios³ se definen en función de estos parámetros para representar situaciones típicas que se pueden hallar en general. La Tabla 1 define los parámetros básicos para cinco tipos de sitios según la norma que especifican la clase de aerogeneradores de baja potencia, en conformidad con IEC61400-2.

	Clase de aerogenerador de baja potencia				
	I	II	III	IV	S
V_{ref} [m/s]	50	42,5	37,5	30	Valores a ser especificados por el diseñador
V_{ave} [m/s]	10	8,5	7,5	6	
I_{15} [-]	0,18	0,18	0,18	0,18	
a [-]	2	2	2	2	

Tabla 1: Parámetros básicos para las clases de aerogeneradores de baja potencia.

A las definidas en la sección precedente, se agregan en esta tabla referencias a las siguientes variables:

- V_{ref} es el parámetro básico para la definición de la clase de un aerogenerador de baja potencia, implica que el aerogenerador es capaz de soportar climas para los cuales la media de diez minutos con ocurrencia de 50 años a la altura del eje es V_{ref} .
- I_{15} es el valor adimensional característico de la intensidad de turbulencia a 15 m/s, que se determina como el cociente entre el desvío estándar y la media de la velocidad del viento en el mismo set de muestras de medición, en un período de tiempo determinado.
- a es el valor adimensional del parámetro dependiente utilizado en el modelo de desviación estándar de turbulencia.

La determinación de la clase de un aerogenerador, según IEC61400-2 contempla resultados de ensayo específicamente determinados para el caso, tanto como de verificación de dimensionamiento de sus componentes. En todo caso, la determinación de la clase de un aerogenerador define su

² Windographer 4.1 es un software desarrollado para facilitar el procesado de series de datos de anemometría de referencia en el mercado. Cuenta con diversas herramientas para el procesado de series estadísticas y el cálculo de diversas variables y resultados utilizados en estudios de recurso y desarrollo de proyectos de energía eólica [25].

³ Por "sitio" se refiere al lugar donde se estudia el recurso eólico.

aptitud para el funcionamiento bajo las condiciones que implica cada clase de vientos como un aspecto central. Por ejemplo, según el criterio de la norma un aerogenerador clase III no debería instalarse en un sitio clase I puesto que no resistirá las condiciones de funcionamiento. Estas condiciones se especifican en términos de velocidad media y máxima de viento y la turbulencia.

2.5 Benchmarking

La Real Academia Española define *Benchmarking* [27] como la evaluación comparativa, y el *benchmark* como un punto de referencia. En función de esto, se puede interpretar al *Benchmarking* de productos como un proceso por el cual la comparación de productos se realiza en base al establecimiento de referencias de desempeño. Naturalmente se hace necesario encontrar una definición para un desempeño óptimo y para el peor.

En el *Benchmarking* estas definiciones se basan en datos de productos, criterios elaborados por expertos, pero podrían contemplar aspectos subjetivos u orientaciones específicas que relativicen de distinta manera un aspecto del desempeño sobre otro. Se puede pensar que habrán tantos *Benchmarking* como personas dispuestas a elaborarlos y, atendiendo al mismo rigor técnico básico, todos igualmente válidos.

Al momento de tomar una decisión, un consumidor puede aprovechar los resultados de más de un *Benchmarking* para seleccionar los productos que mejor se adecuan a sus necesidades, o el que mejor cumple con sus requisitos.

Si se evalúa bajo distintos criterios de *Benchmarking* a un mismo grupo de productos, los resultados serán diferentes. La comprensión cabal de la definición de cada esquema de evaluación es suficiente, y ya no es un requisito para tomar la mejor decisión el dominio de todos los aspectos técnicos que los componen. De este modo, el consumidor puede obtener un *ranking* basado en un puntaje definido para cada producto, en función de un criterio definido sin necesidad de evaluar las especificaciones técnicas de cada producto.

Como antecedente más reciente se puede mencionar el trabajo realizado por Svend Enevoldsen “El análisis del mercado Europa y el mercado B2B” en el marco del WP5 del proyecto EUDP Small Wind n.º 64014-061 [14]. Allí se realiza un ejercicio de *Benchmarking* basado en información de hojas de datos y tomando definiciones para establecer referencias propias de un experto, como es su autor, y algunos aspectos de subjetividad que, si bien pueden ser polémicos por su definición, quedan debidamente documentados.

En capítulos posteriores se incluyen aplicaciones de los conceptos *benchmarking*, como parte de la propuesta de etiquetado de aerogeneradores complementario al esquema de IEA Wind.

3 MÉTODO

En las próximas secciones se describirán los métodos seguidos para la comparación de aerogeneradores basados en los cuatro ejes propuestos, la sección 3.1 describe el cálculo del parámetro definido para la eficiencia del aerogenerador, la sección 3.3 los aspectos que hacen a la seguridad, la sección 3.4 lo propio para la comparación en términos de comunicación del producto y por último la 3.5 los costos.

3.1 Eficiencia del aerogenerador

Por la compleja forma en que interaccionan los subsistemas de un aerogenerador entre sí, con el recurso eólico y con la carga eléctrica abastecida, se evita realizar el análisis clásico de eficiencia en los términos del rendimiento de las máquinas térmicas. En cambio, se propone evaluar el diseño del aerogenerador de una manera indirecta, por la comparación contra un patrón ideal.

Esta comparación implica a la eficiencia del aerogenerador, y la explica de forma indirecta y relativa, de modo de que tenga utilidad a los fines de este trabajo. Se define así, un aerogenerador ideal, a partir de la ecuación que describe la potencia disponible en el viento en un área determinada, pero afectada por el límite del máximo teórico establecido por el coeficiente de Betz [24] ($C_{P_{m\acute{a}x}} = 16/27$).

La curva de potencia de un aerogenerador ideal se puede calcular entonces en función de la siguiente expresión⁴, para una serie definida de velocidades de viento.

$$P_{salida} = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_{P_{m\acute{a}x}} \quad (4)$$

Donde, ρ es la densidad del aire ($1,225 \text{ kg/m}^3$), A es el área barrida por el rotor, V es la velocidad del viento y $C_{P_{m\acute{a}x}}$ es $16/27$.

De este modo, a partir del diámetro de cada rotor y de una tabla de velocidades se puede determinar una curva de potencia ideal para comparar cada aerogenerador, la cual tendrá la forma que se aprecia en la Figura 3 para un diámetro determinado.

En función de identificar con mejor detalle el comportamiento de los aerogeneradores y de destacar la limitación de la potencia máxima generada como un aspecto positivo en el diseño, se propuso

4 Esta potencia puede deducirse [28] a partir de la expresión de la energía cinética del aire en un área determinada. La constante de Betz no debe considerarse como eficiencia, sino como su límite superior.

limitar la expresión anterior a una velocidad de viento determinada, que tome diferentes valores en función de la clase de vientos para la cual fue diseñado.

Para la determinación de la velocidad de viento límite se utiliza el concepto de velocidad del viento de diseño de la parte 2 de la norma IEC 61400, en la cual se define como 1,4 veces la velocidad media anual del viento, tomando para este último valor cuatro posibles en función de la clase de vientos definido por la misma normativa como muestra la Tabla 1.

De este modo se obtuvo la Tabla 2 para la definición de las velocidades de diseño para cada clase.

	Clases de aerogeneradores de baja potencia			
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
V_{ref} [m/s]	50	42,5	37,5	30
V_{ave} [m/s]	10	8,5	7,5	6
$V_{diseño}$ [m/s]	14	11,9	10,5	8,4

Tabla 2: Velocidades de diseño correspondiente a cada aerogenerador por su clase.

En la Tabla 2 se refieren conceptos definidos por la norma (ya reseñados en capítulos precedentes) a los que se agrega $V_{diseño}$ que es la velocidad para la cual se diseña el aerogenerador.

En base a estos valores, se limitó el aumento de la potencia del aerogenerador ideal a un valor fijo igual al alcanzado a la $V_{diseño}$ para cada clase. La Figura 4 muestra la curva de potencia de la ideal de Betz y las versiones limitadas de ésta para las cuatro clases de viento. Como se puede observar allí el aerogenerador ideal de Betz clase I tendría una potencia máxima superior que uno clase II, y esto ocurre, simplemente por el hecho de limitar una misma curva, a dos velocidades de viento diferentes.

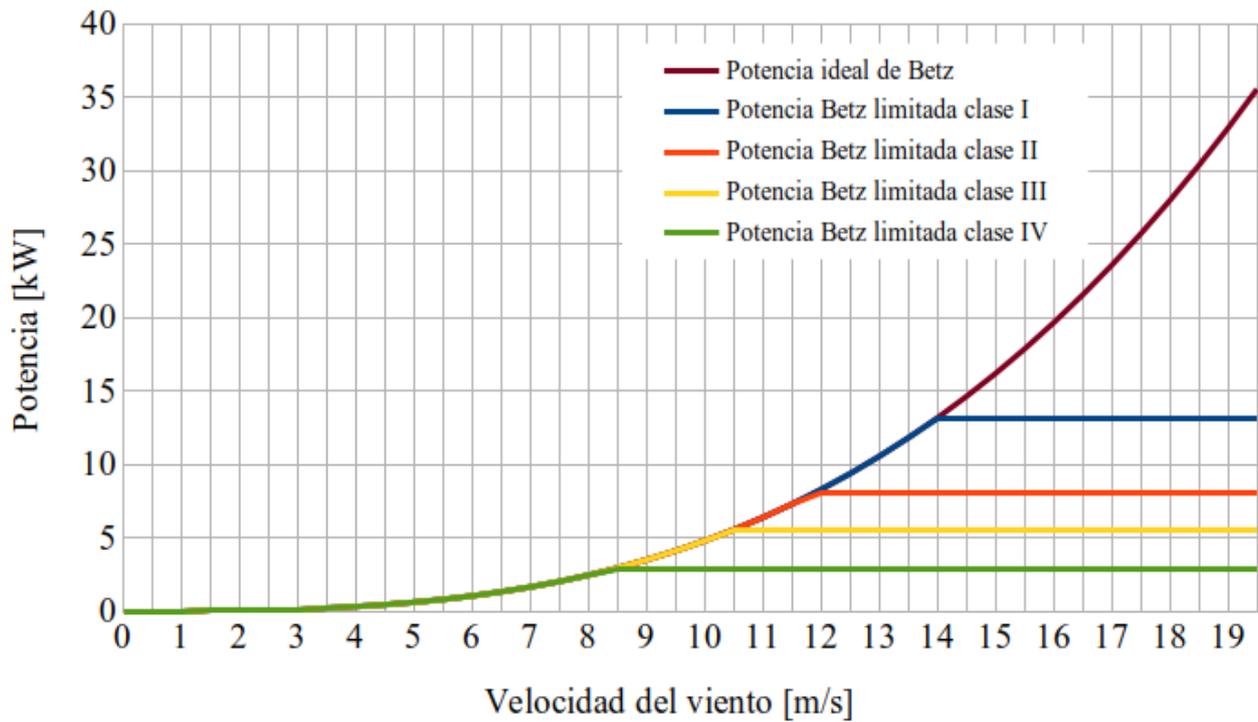


Figura 4: Curva de potencia ideal de Betz (violeta) y curvas ideales de Betz limitadas por la velocidad de diseño para cada clase I (azul), II (roja), III (amarilla) y IV (verde). Radio de rotor 2 m.

Si en cambio observamos la Figura 5, se puede apreciar que una versión normalizada de estas curvas, es decir dividida por su potencia máxima, representa mejor la respuesta en los términos de la variación de la velocidad del viento y sugiere una comparación más adecuada de los aerogeneradores de cada clase, ya que presenta la misma información en términos relativos a su potencia máxima.

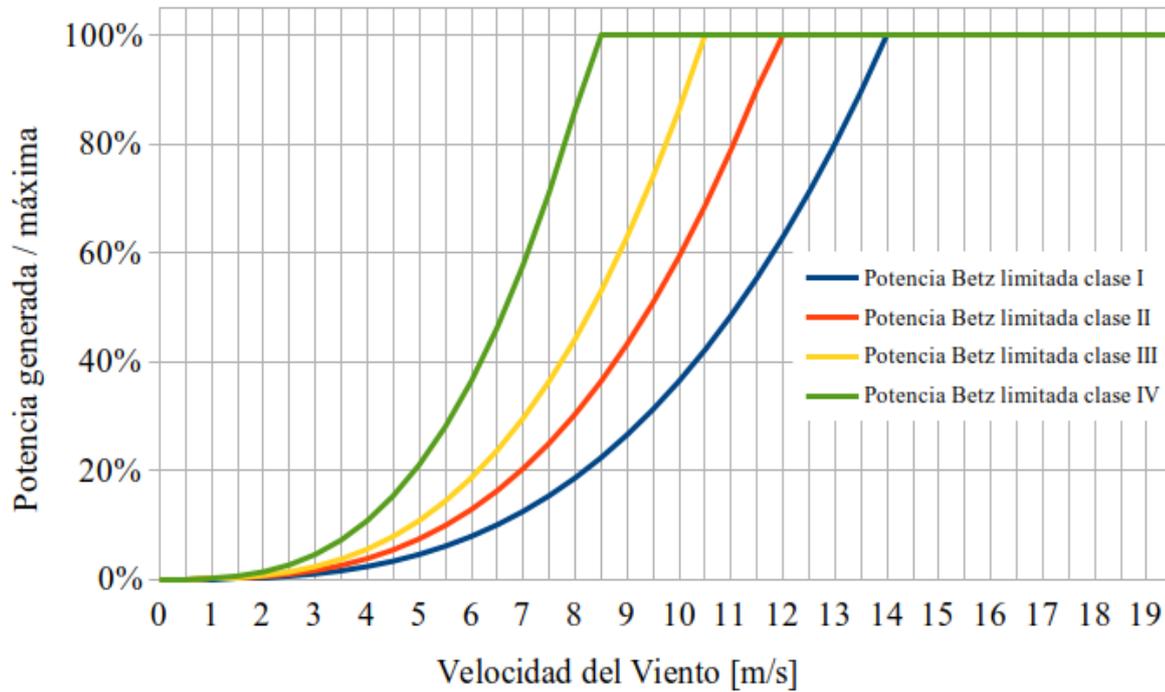


Figura 5: Curvas de potencia ideales de Betz normalizadas a potencia máxima, clase I (azul), II (roja), III (amarilla) y IV (verde). Radio de rotor 2 m.

El criterio propuesto contempla, entonces, la comparación de los aerogeneradores con el ideal de Betz que le corresponda según su clase.

Antes de describir el método por el cual se determinó la clase que le corresponde a cada aerogenerador para esta comparación, se detalla el método con el cual se obtuvo la EAP.

3.1.1 Identificación de la clase aplicable

En función de comparar un aerogenerador con un equivalente óptimo, se define una forma sistematizada y rigurosa para elegir con qué clase de vientos se identifica cada uno.

El método propuesto identifica, bajo un criterio objetivo y cuantificable, cuándo un aerogenerador dado se comporta, en términos de generación de energía, tal como se esperaría que lo haga para adaptarse de una clase u otra, por la velocidad del viento.

Para mostrar la metodología, se utiliza como ejemplo el aerogenerador Windspot 3.5 kW que tiene un diámetro de 4,1 m, lo que da un área de rotor de 13,2 m². Este último valor se introduce en la ecuación 4 para determinar las curvas de potencia de los ideales correspondientes a cada clase. Luego se calcula la EAP mediante la ecuación 2, para cada una de las cuatro curvas ideales, en el rango entre 4 y 11 m/s, tal como se establece en la metodología de la norma. Obteniendo de ese modo, ocho valores de EAP (uno para cada velocidad media anual) para cada curva ideal de Betz, limitada a cada clase.

Con los resultados de EAP obtenidos por el laboratorio de ensayos que emitió el informe de curva de potencia de cada uno de los aerogeneradores bajo estudio, se comparó bajo el criterio de la energía anualmente producida (Tabla 3).

	Velocidad media anual [m/s]							
	4	5	6	7	8	9	10	11
EAP Medida [kWh/año]	2.447	4.824	7.748	10.828	13.713	16.151	18.003	19.243
EAP BETZ Clase I [kWh/año]	5.172	10.008	16.724	24.584	32.374	39.022	43.964	47.117
EAP BETZ Clase II [kWh/año]	5.156	9.758	15.551	21.627	27.105	31.411	34.344	35.983
EAP BETZ Clase III [kWh/año]	5.106	9.320	14.120	18.724	22.590	25.442	27.239	28.100
EAP BETZ Clase IV [kWh/año]	4.779	7.853	10.747	13.151	14.958	16.150	16.775	16.928

Tabla 3: Energía Anual Producida determinada bajo ensayo y las calculadas para ideal por clase, para el Winspot 3.5 kW.

Para esta comparación se realizó el cociente entre las EAP correspondientes para cada velocidad media anual como muestra la ecuación 5:

$$\text{Coeficiente de comparación} = \frac{EAP_{\text{Medida}}}{EAP_{\text{BETZ Clase X}}} \quad (5)$$

La Tabla 4, para resume los resultados para el caso tomado como ejemplo.

La observación de los valores obtenidos en la Figura 6 sugiere que un mayor apego de la curva de potencia medida a alguna de las formas de las ideales de Betz podía identificarse cuantitativamente

como una menor variación respecto del valor medio de la serie valores obtenidos para cada clase entre 4 y 11 m/s de velocidad media anual, es decir la fila con el menor desvío estándar.

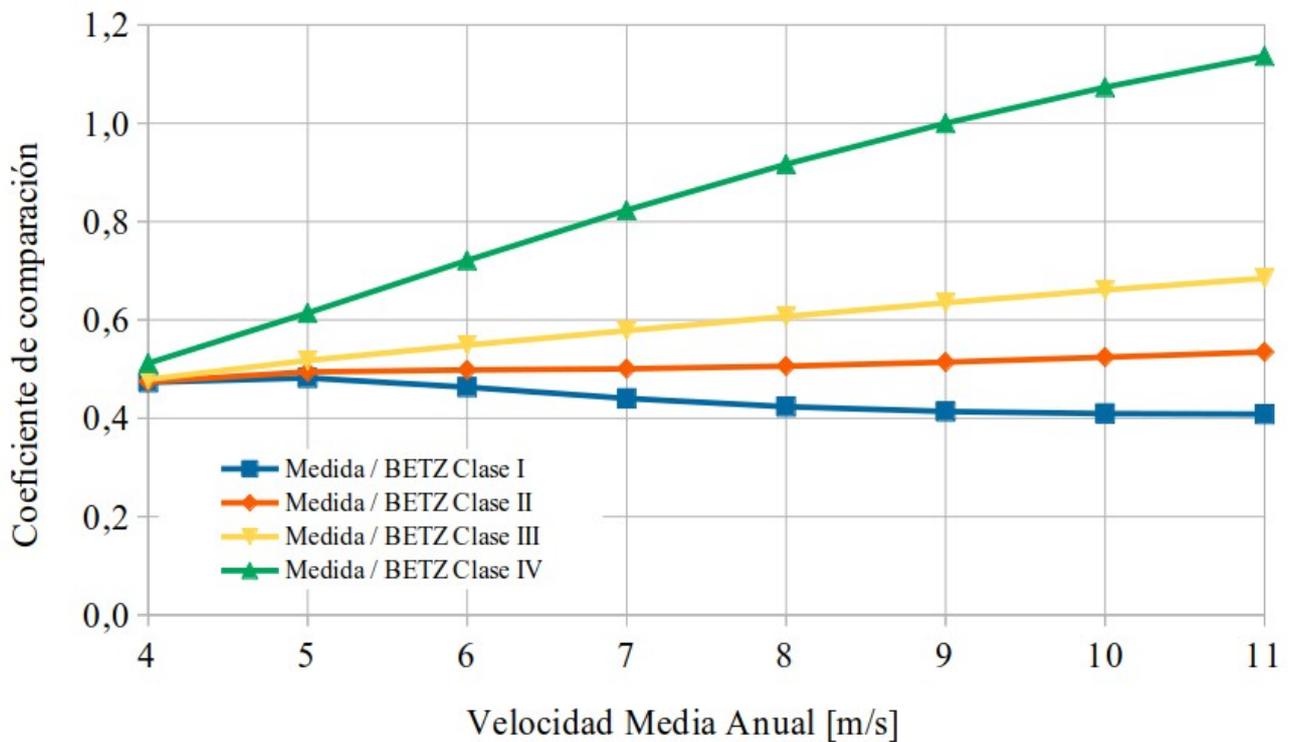


Figura 6: Coeficientes de comparación EAP según ensayo contra las correspondientes de su ideal de Betz por clases.

El promedio de los coeficientes de comparación en el rango (4 a 11 m/s), puede interpretarse como la proporción en la que un aerogenerador de asemeja a su ideal de BETZ según la clase que le corresponda. Se verificó este supuesto comparando una quincena de aerogeneradores, para los que se observaron resultados consistentes, tal como se muestra en la sección 4.2 para cuatro de esos casos.

En la Tabla 4, como en la Figura 6, se observa que la dispersión de valores en la serie de velocidades (fila 2 en la tabla y color rojo en la figura) para la clase II es notablemente menor, y que el valor promedio de dicho cociente es menor a la unidad, lo que habla de un aerogenerador real con un desempeño de un 50,6% del ideal de Betz para su mismo diámetro de rotor.

Coeficiente de comparación	Velocidad media anual [m/s]								Desvío Estándar	Promedio
	4	5	6	7	8	9	10	11		
Medida / BETZ Clase I	0,473	0,482	0,463	0,440	0,424	0,414	0,409	0,408	0,030	0,439
Medida / BETZ Clase II	0,475	0,494	0,498	0,501	0,506	0,514	0,524	0,535	0,019	0,506
Medida / BETZ Clase III	0,479	0,518	0,549	0,578	0,607	0,635	0,661	0,685	0,071	0,589
Medida / BETZ Clase IV	0,512	0,614	0,721	0,823	0,917	1,000	1,073	1,137	0,222	0,850

Tabla 4: Cocientes entre EAP de informe de ensayo y las ideales por clase para cada velocidad media anual.

Para el caso analizado, a una media anual de 4 m/s se obtienen coeficientes de valor mínimo al rededor de 0,5 y se observa que solo en el cociente con el ideal para clase II, hay un comportamiento plano alrededor de 0,5 para el resto de las velocidades de viento. El resultado cuasi estable del coeficiente de comparación, a velocidades crecientes de viento se debe a que la curva medida del aerogenerador “copia” mejor al ideal de BETZ de clase II que a los de otras clases, como se puede ver en la Figura 7.

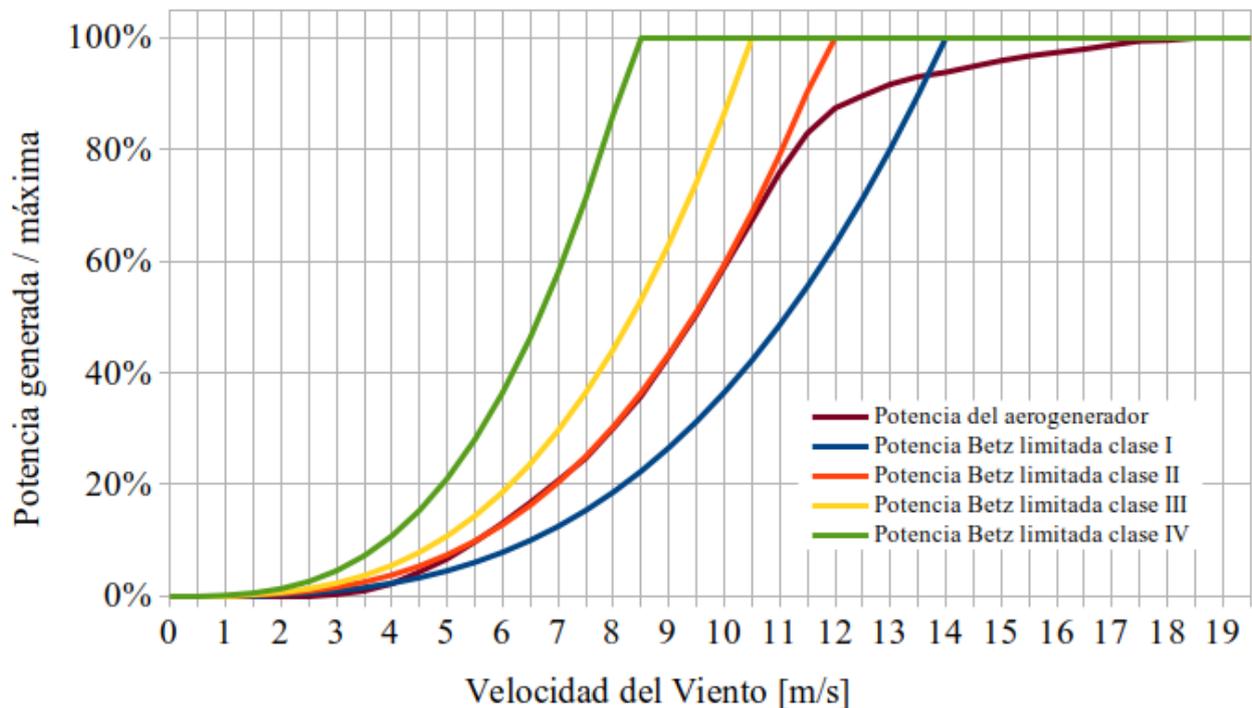


Figura 7: Ajuste de la curva de potencia normalizada a potencia máxima a las ideales para el Windspot 3.5 kW

Si bien los cocientes del ideal de Betz clase IV tienen valores más altos, y en algunos casos superiores a la unidad, lo que se debe buscar la mínima dispersión en los valores de la serie, como se vio anteriormente. A pesar de que pueda parecer ilógico tener valores de energía sobre los que otorgaría el ideal, este resultado es esperable, siempre que se compare entre aerogeneradores de distinta potencia. Recordemos que, éste es el caso del aerogenerador ideal de Betz clase IV, según la definición de este trabajo, puesto que se limita a una velocidad menor de viento, y por consiguiente,

a un valor menor de potencia (ver Figura 4) y, consecuentemente, menor EAP que los demás casos. Esto se debe a que, cuando se supera la velocidad de diseño por clase deja de tener validez el método de evaluación, ya que se está comparando el desempeño de la maquina real contra un valor constante de potencia, y no contra la curva de un rotor ideal, no limitada y tendiendo a infinito.

Es importante reseñar que, para el caso mostrado y como se ve en la Figura 7, es excepcionalmente simple determinar gráficamente desde la curva de potencia normalizada su adecuación a una clase determinada. Esto no es casual, ya que se seleccionó este caso por su utilidad para explicar mejor el método. Sin embargo en la generalidad de los casos, y como puede observarse en la sección 4.2.2, para el equipo C&F Green Energy – CF15, la comparación directa de curvas de potencia no da información tan clara, y hasta sucede en numerosos casos que resulta equívoca.

Esta situación motiva elaborar medios de comparación de mayor complejidad, como los que se proponen en este trabajo.

Para comprender mejor el enfoque propuesto debe considerarse que, la comparación de la energía generada depende la potencia disponible en el viento para una velocidad, en un sitio determinado, y de la probabilidad de que esa velocidad de viento ocurra. Esta probabilidad se calcula utilizando una función de distribución de la probabilidad y la velocidad del viento. La distribución de Weibull II describe esta probabilidad y, su caso particular en el que el factor k tiene el valor de 2, se conoce como distribución de Rayleigh, es la que se usa para el cálculo de la EAP tal como especifica la norma [2].

La Figura 8 muestra una distribución de velocidades de viento para una velocidad media de 6 m/s. Se puede apreciar que, las bajas velocidades tienen mayor probabilidad de ocurrencia y por lo tanto tienen mayor preponderancia en la energía generada, tal como se espera en toda distribución de probabilidad de viento. Por esta razón, es que la proximidad entre la curva de potencia del aerogenerador bajo estudio y las ideales de Betz en la zona de bajas velocidades de viento es el factor determinante en la determinación de la clase según el método propuesto, y quizás la única referencia que se pueda obtener de la comparación directa de las curvas de potencia.

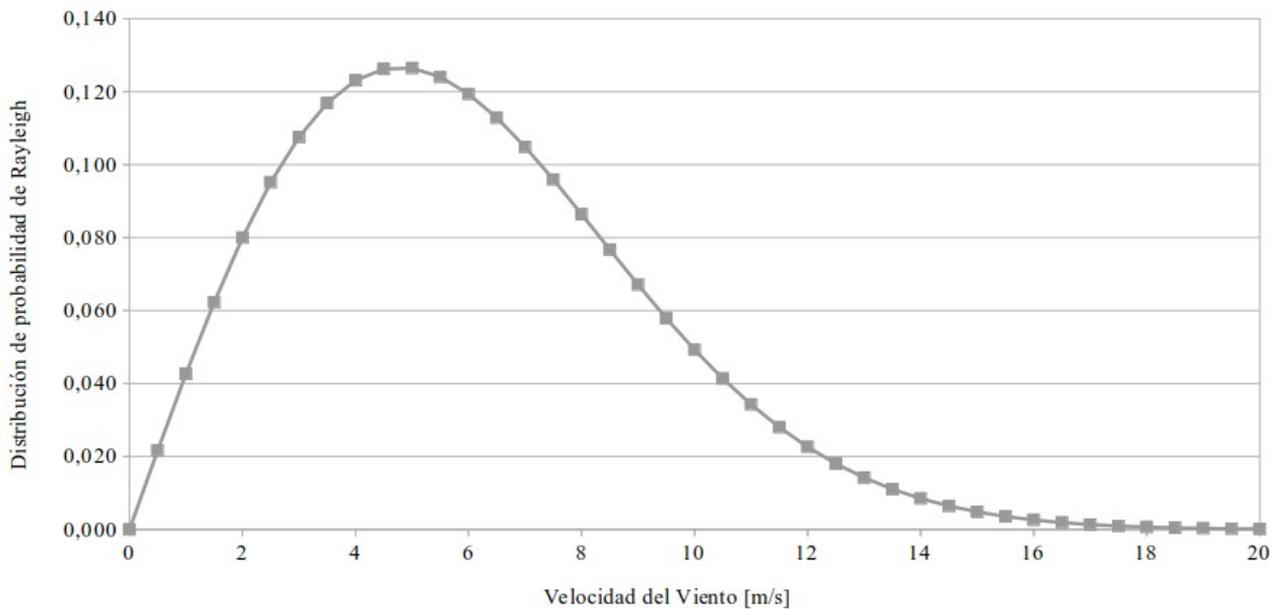


Figura 8: La distribución de probabilidades de Rayleigh, para una media de 6 m/s.

Si bien, en base a los resultados mostrados antes este método se interpreta como un criterio válido para determinar la clase de un aerogenerador los términos de la adecuación de su curva de potencia a una ideal, esto no significa que el aerogenerador pueda identificarse como apto para esa clase de vientos, ya que la determinación de clase en base a la norma se realiza a partir del estudio los planos y memorias de cálculo, analizando aspectos de robustez en el diseño, así como en base a los resultados de un ensayo específico denominado “Ensayo de duración” por IEC 61400-2. Sin embargo, se podrían identificar algunos resultados importantes y útiles para el usuario a partir del criterio propuesto. Por ejemplo si se conociera, por resultados de ensayo o declaración del fabricante, que un aerogenerador es clase IV pero en función del criterio hallado responde de mejor forma a vientos de clase I, tendría que someterse a una exigencia mecánica inapropiada para obtener el mejor provecho de su curva de potencia, por lo cual debería tener por parte de los criterios de comparación de producto una penalización adecuada.

Por el contrario, si un aerogenerador exhibe resultados de ensayo para clase I y tiene su óptimo según este criterio para vientos de clase IV, se puede decir que es un aerogenerador más robusto y seguro. Quizás se podría decir en este caso extremo el sobre-dimensionamiento podría significar en un aspecto que baje la eficiencia en términos de costos, pero para el general de los casos no será un inconveniente sino una ventaja. El sobre-dimensionamiento de los componentes es una práctica muy difundida en la industria por motivos cuyo detalle no alcanza este trabajo, pero sin duda que ese aspecto podría ser estudiado en detalle en el futuro.

Este aspecto se retomará en la sección 3.3, cuando serán aplicados al análisis del desempeño en términos de seguridad.

3.2 Desempeño en eficiencia

Para evaluar el desempeño de los aerogeneradores de baja potencia, se contempla la definición de la clase del aerogenerador a partir de los resultados del cociente entre las EAP medida y calculadas para las curvas de potencia ideales definidas, tal como se detalla en la sección 3.1.

Esta decisión se evalúa por el contraste de las clases obtenidas por laboratorios independientes mediante el ensayo y declaraciones de fabricantes para la muestra de trabajo, como se reseña en la sección 4.2, y se muestra que el criterio funciona adecuadamente en todos los casos.

El valor adoptado para cuantificar este aspecto se calcula como el promedio de los valores obtenidos en la serie de la serie de coeficientes de comparación, entre 4 y 11 m/s, seleccionando el caso que tenga menor dispersión como se detalló en 3.1.1.

3.2.1 Benchmarking para eficiencia del diseño

Para unificar un coeficiente relativo a la eficiencia lograda en el diseño (y realización) del aerogenerador se propone ponderar la adecuación que guarda la clase del aerogenerador según los resultados de ensayo con la obtenida mediante el método propuesto en este trabajo. Y por otra parte, ponderar la proporción entre la EAP ideal (bajo la definición propuesta en este trabajo) y la EAP medida durante el ensayo.

Para conformar el valor, se define un polinomio ponderado en base a la siguiente tabla:

Criterio	Ponderación por criterio	Cuantificación del criterio	Resultado ponderado de eficiencia en el diseño
Clase determinada igual a clase según ensayo	$P_{EA} = 10$	$\begin{aligned} \text{Si } C_{determinada} = C_{ensayo} &\Rightarrow k_{EA} = 1, \\ \text{Si } C_{determinada} \neq C_{ensayo} &\Rightarrow k_{EA} = 0 \end{aligned}$	$RP_{EA} = P_{EA} \cdot k_{EA}$
Clase determinada mayor a clase según ensayo	$P_{EB} = 20$	$\begin{aligned} \text{Si } C_{determinada} > C_{ensayo} &\Rightarrow k_{EB} = \frac{C_{determinada} - C_{ensayo}}{3} \\ \text{sino} &\Rightarrow k_{EB} = 0 \end{aligned}$	$RP_{EB} = P_{EB} \cdot k_{EB}$
Clase determinada menor a clase según ensayo	$P_{EC} = -1$	$\begin{aligned} \text{Si } C_{determinada} < C_{ensayo} &\Rightarrow k_{EC} = C_{determinada} - C_{ensayo} \\ \text{sino} &\Rightarrow k_{EC} = 0 \end{aligned}$	$RP_{EC} = P_{EC} \cdot k_{EC}$
EAP medida vs Ideal	$P_{ED} = 50$	$k_{ED} = \frac{\sum_{n=4}^{11} \frac{EAP_{ideal}^n}{EAP_{medida}^n}}{8}$	$RP_{ED} = P_{ED} \cdot k_{ED}$
$\text{Benchmarking}_{\text{Eficiencia}} = \frac{\text{Puntaje obtenido}}{\text{Puntaje máximo}} = \frac{RP_{EA} + RP_{EB} + RP_{EC} + RP_{ED}}{P_{EA} + P_{ED}} \quad (6)$			

Donde, P_{EA} a P_{ED} son las constantes de ponderación propuestos por el autor para relativizar la importancia de cada criterio, k_{EA} a k_{ED} los factores de cuantificación que se extraen de datos del aerogenerador bajo ensayo y RP_{EA} a RP_{ED} los resultados de ponderación de cada criterio. Por

último, la expresión del *benchmark* de la ecuación 6, se obtiene por el polinomio que componen los criterios ponderados, relativizado al máximo posible, también definido ad hoc.

Debe notarse que, las situaciones de las primeras tres filas son mutuamente excluyentes, por lo que cuando una es cierta las demás suman cero al polinomio (RP_{EA} , RP_{EB} y RP_{EC}). Asimismo, debe tenerse en cuenta que el valor de la EAP ideal se considera el máximo posible y que por esto, el valor máximo para RP_{ED} es P_{ED} . La máxima calificación se define como la suma de P_{EA} y P_{ED} , es decir cuando el coeficiente de comparación es uno, y la clase determinada igual a la case según ensayo.

De este modo, la situación ideal es aquella en que la clase de un aerogenerador según fue definida durante el ensayo, sea igual a la clase determinada por el método propuesto y en la que la EAP medida igual a la EAP ideal, para todos los valores de V_{ave} entre 4 y 11 m/s. El puntaje obtenido por el aerogenerador se divide por este valor máximo ideal posible y de ese modo se define el puntaje de *Benchmarking* para este aspecto, de manera que siempre arrojará valores entre cero y uno.

Se penaliza severamente el caso en que la clase determinada es mayor que la de ensayo, puesto que para funcionar en condiciones óptimas de generación de energía debería instalarse el aerogenerador en un sitio cuyos vientos no está preparado resistir.

Por otra parte se penaliza, levemente la situación en que el aerogenerador tiene su clase determinada de clase menor que la que indica el ensayo, ya que si bien supone cierto grado de sobre-dimensionamiento, es una práctica más favorable que lo opuesto y da más tranquilidad al usuario.

Por último, se aclara que la elección que hace el autor de las constantes de ponderación P_{EA} a P_{ED} , así como su aplicación a los factores de cuantificación k_{EA} a k_{ED} , y a la ecuación 6, se propone en este caso como un ejercicio a los fines de este trabajo, pero en conformidad con el criterio experto del tutor y la experiencia de ambos en las actividades de promoción de la industria nacional de aerogeneradores de baja potencia de INTI. Como todo *benchmarking* no aspira a ser considerado como criterio único en absoluto, sino que refleja una propuesta de comparación, cuyos criterios de cálculo y aplicación de dejan aclarados.

3.3 Seguridad del aerogenerador

Definir la seguridad de un aerogenerador es un aspecto muy amplio y complejo que no se pretende abarcar en su totalidad en este trabajo, en cambio se simplifica el análisis a los resultados mostrados por que aportan una perspectiva coherente con el resto del trabajo, basado en resultados realizados en laboratorios independientes y en conformidad a un mismo estándar.

Para evaluar la seguridad de los aerogeneradores se trabaja sobre la misma fuente de datos e identificando el comportamiento de los aerogeneradores en función de la determinación de la clase tal como se propuso en la sección anterior.

Los ensayos de curva de potencia y de duración son dos pruebas de distinto grado de rigor que pueden graficar el nivel de robustez alcanzado por un aerogenerador.

El ensayo de curva de potencia implica la recolección de al menos 10 minutos de datos válidos por cada bin entre 1 y 14 m/s y por lo menos 60 horas de datos en total. Si bien podría parecer que se trata de un plazo breve expresado de esa manera, son pocos los ensayos de curva de potencia que duran menos de un mes y normalmente puede requerir varios meses de mediciones [2].

El ensayo de duración es mucho más exigente ya que especifica una cantidad de horas de datos válidos, muy superior al de curva de potencia. Requiere de, al menos, 6 meses de datos en operación confiable, 2500 horas produciendo potencia a cualquier velocidad de viento, 250 horas por encima de $1,2 V_{ave}$, 25 horas sobre $1,8 V_{ave}$ y por lo menos 10 minutos sobre $2,2 V_{ave}$ [26].

A los laboratorios de ensayo llegan frecuentemente aerogeneradores que, prometiéndolos rendimientos superlativos no superan un simple ensayo de curva de potencia. Incluso, esta situación suele devolverlos a su fase de desarrollo anterior, puesto que bajo ensayo en un laboratorio bien equipado el fabricante muchas veces observa lo que nunca antes había percibido de su producto.

Desde otro punto de vista, se considera que un aerogenerador cuya clase determinada por la metodología propuesta en sección 3.1 sea, por ejemplo clase I, pero haya sido determinado en el diseño que es apto para sitios clase IV es el caso extremo del aerogenerador ineficiente e inseguro, ya que debería someterse a cargas por sobre las que fue diseñado para resistir para llegar a entregar la energía que de él se espera.

Por el contrario, el caso más virtuoso es el opuesto, en el que un aerogenerador tiene una clase determinada IV, pero cuyo informe de Ensayo de Duración asegura que puede resistir vientos clase I. Si bien se le puede reprochar el sobre-dimensionamiento, el objetivo en este momento es la seguridad y vale destacar ese tipo de comportamientos.

3.3.1 Benchmarking de seguridad del aerogenerador

Para componer el eje de seguridad se ponderó el cumplimiento de los períodos de ensayo, para curva de potencia y duración además de la comparación entre las clases determinada y de ensayo.

Completar un ensayo de curva de potencia requiere que se reúna una significativa cantidad de datos, de este modo se valoró positivamente tener una curva de potencia completa según lo que establece IEC 61400-12. De igual forma, pero más obviamente, se ponderó desde el punto de vista de la seguridad a los equipos que hayan completado con éxito un ensayo de duración según IEC 61400-2. Se supone como premisa general que un aerogenerador ensayado siempre será más seguro y confiable que uno que no se sometió al ensayo de un laboratorio independiente. La situación de los aerogeneradores ensayados con resultados no satisfactorios, en el marco de este trabajo, se asimila a la de los equipos no ensayados.

Criterio	Ponderación por criterio	Cuantificación del criterio	Resultado Ponderado
Ensayó curva de potencia	$P_{SA} = 10$	Ensayó curva de potencia $\Rightarrow k_{SA} = 1$, Noensayó curva de potencia $\Rightarrow k_{SA} = 0$	$RP_{SA} = P_{SA} \cdot k_{SA}$
Ensayó duración	$P_{SB} = 20$	Ensayó duración $\Rightarrow k_{SB} = 1$, Noensayó duración $\Rightarrow k_{SB} = 0$	$RP_{SB} = P_{SB} \cdot k_{SB}$
Clase determinada igual a clase según ensayo	$P_{SC} = 10$	Si $C_{determinada} = C_{ensayo} \Rightarrow k_{SC} = 1$, Si $C_{determinada} \neq C_{ensayo} \Rightarrow k_{SC} = 0$	$RP_{SC} = P_{SC} \cdot k_{SC}$
Clase determinada mayor a clase según ensayo	$P_{SD} = 40$	Si $C_{determinada} > C_{ensayo} \Rightarrow k_{SD} = \frac{C_{determinada} - C_{ensayo}}{C_{determinada}}$ sino $\Rightarrow k_{SD} = 0$	$RP_{SD} = P_{SD} \cdot k_{SD}$
Clase determinada menor a clase según ensayo	$P_{SE} = -20$	Si $C_{determinada} < C_{ensayo} \Rightarrow k_{SE} = C_{determinada} - C_{ensayo}$ sino $\Rightarrow k_{SE} = 0$	$RP_{SE} = P_{SE} \cdot k_{SE}$
$Benchmarking_{Seguridad} = \frac{\text{Puntaje obtenido}}{\text{Puntaje máximo}} = \frac{RP_{SA} + RP_{SB} + RP_{SC} + RP_{SD} + RP_{SE}}{P_{SA} + P_{SB} + P_{SD} \cdot 1,5} \quad (7)$			

Donde, P_{SA} a P_{SE} son las constantes de ponderación propuestos por el autor, k_{SA} a k_{SE} los factores de cuantificación afectados por los datos provenientes del aerogenerador y RP_{SA} a RP_{SE} los resultados de ponderación de cada criterio.

Los criterios de comparación de clases cambian su sentido respecto de la sección anterior, para ponderar con mayor énfasis la situación del sobredimensionamiento que supone que la clase determinada sea menor que la del informe de ensayo y penalizar la situación opuesta, dado que conlleva un gran riesgo para los bienes y las personas.

Nótese nuevamente, que las tres situaciones relativas a la clase del aerogenerador se excluyen mutuamente y que cuando se da una las demás no aportan al polinomio del denominador del *Benchmarking* de seguridad.

El puntaje máximo obtenible, se define para relativizar el *benchmark* en la situación de que el aerogenerador cuente con ensayos de duración y curva de potencia informados, y que la clase determinada por el método sea mayor que la de ensayo, afectando este último en un 50% más para darle mayor preponderancia en el cálculo.

Igual que se aclaró en 3.2.1, las constantes de ponderación P_{SA} a P_{SE} y las demás expresiones de cálculo que componen la ecuación 7 fueron definidas a criterio del autor, con la supervisión del tutor, a partir de la experiencia de trabajo compartida en INTI.

3.4 Comunicación del producto

El término “comunicación del producto” se toma de la acepción utilizada en Diseño Industrial [30], por la que un producto diseñado y el conjunto de elementos que lo componen, desde el nombre de su modelo, la marca, su logo, los materiales utilizados y las formas, así como el contenido de cada documento que lo acompaña, están implicados en la comunicación que se establece entre el producto y el usuario. En este trabajo no se pretende estudiar tal proceso, sino reflejar aspectos que son relevantes en el esquema de trabajo iniciado, para obtener resultados relevantes y significativos a partir de información disponible en informes de ensayo públicos y hojas de datos de los productos.

La identificación de la potencia nominal de un aerogenerador, es un tema controversial en la industria de la eólica de baja potencia. La gran mayoría de los aerogeneradores en el mercado no cumplen con informar correctamente este dato, es muy frecuente que se informe una potencia nominal por encima de lo que van a generar como potencia máxima a velocidades de viento razonables.

Tanto AWEA como BWEA, identificaron este inconveniente y para subsanarlo definieron la velocidad a la cual debe alcanzarse la potencia nominal en 10 y 11 m/s, respectivamente. Lo que en la práctica significa definir a la potencia nominal por el valor que alcanza según su ensayo de curva de potencia a esas velocidades. Esto solucionó muchas situaciones comprometidas, y las diferencias que aún persisten residen en que muchos fabricantes optaron por declarar la potencia nominal según el estándar que le corresponde al equipo. Algunos muestran rastros en la denominación del modelo y otros debieron renombrar su producto. Otros productos con inconvenientes similares que no se certificaron bajo estos estándares, aún no corrigen su situación lo que habla de la efectividad de la medida.

3.4.1 Benchmarking de comunicación del producto

Para establecer una línea de comparación en cuanto a comunicación del producto, se definieron 11 aspectos para componer el polinomio ponderado. Los primeros cinco, abarcan tanto la contratación de ensayos realizados por terceros independientes, como la publicación de los mismos. Todos se consideraron con el mismo valor relativo. Si bien es cierto que la mera realización de ensayos no implica por definición que se comuniquen sus resultados, se encontró que los productos ensayados cuyos informes no fueron públicos, igualmente informaron datos de ensayo en sus hojas de datos, y la explicación es obvia por dos razones, por un lado prefieren no prometer resultados irreales, y por el otro, es absurdo hacerlo cuando se existe un informe que indica los verdaderos. Aquí subyace un aspecto central para el desarrollo de la eólica de baja potencia, manejar información fidedigna no es barato y muchas veces penaliza a los productos que invirtieron en certificaciones frente a los que nunca pasaron por ningún ensayo pero se venden con astucia y muy baratos.

Los otros seis criterios abarcan los aspectos que hacen a la información sobre la potencia nominal del producto. Se verifica si la potencia nominal declarada por el fabricante es igual, mayor o menor que la potencia alcanzada a 11 m/s, y del mismo modo si es igual, mayor o menor que la potencia máxima alcanzada. El máximo puntaje se otorgó al criterio de igualdad, pero el de excedencia se ponderó mejor que el de déficit.

Criterio	Ponderación por criterio	Cuantificación del criterio	Resultado Ponderado
Ensayó curva de potencia	$P_{CA} = 10$	<i>Ensayó curva de potencia</i> $\Rightarrow k_{CA} = 1$, <i>No ensayó curva de potencia</i> $\Rightarrow k_{CA} = 0$	$RP_{SE} = P_{SE} \cdot k_{SE}$
Publica curva de potencia	$P_{CB} = 10$	<i>Publica curva de potencia</i> $\Rightarrow k_{CB} = 1$, <i>No publica curva de potencia</i> $\Rightarrow k_{CB} = 0$	$RP_{SE} = P_{SE} \cdot k_{SE}$
Publica curva tabular	$P_{CC} = 8$	<i>Publica curva tabular</i> $\Rightarrow k_{CC} = 1$, <i>No publica tabular</i> $\Rightarrow k_{CC} = 0$	$RP_{SE} = P_{SE} \cdot k_{SE}$
Ensayó duración	$P_{CD} = 10$	<i>Ensayó duración</i> $\Rightarrow k_{CD} = 1$, <i>No ensayó duración</i> $\Rightarrow k_{CD} = 0$	$RP_{SE} = P_{SE} \cdot k_{SE}$
Publica Clase	$P_{CE} = 10$	<i>Publica clase</i> $\Rightarrow k_{CE} = 1$, <i>No publica clase</i> $\Rightarrow k_{CE} = 0$	$RP_{SE} = P_{SE} \cdot k_{SE}$
Potencia a 11 m/s igual a potencia nominal	$P_{CF} = 10$	<i>Si es igual</i> $\Rightarrow k_{CF} = 1$; <i>sino</i> $k_{CF} = 0$	$RP_{CF} = P_{CF} \cdot k_{CF}$
Potencia a 11 m/s mayor a potencia nominal	$P_{CG} = 20$	<i>Si es mayor</i> $\Rightarrow k_{CG} = 1 - \frac{P_{11m/s}}{P_{nominal}}$; <i>sino</i> $k_{CG} = 0$	$RP_{CG} = P_{CG} \cdot k_{CG}$
Potencia a 11 m/s menor a potencia nominal	$P_{CH} = -2$	<i>Si es menor</i> $\Rightarrow k_{CH} = -1 + \frac{P_{11m/s}}{P_{nominal}}$; <i>sino</i> $k_{CH} = 0$	$RP_{CH} = P_{CH} \cdot k_{CH}$
Potencia máxima igual a potencia nominal	$P_{CI} = 10$	<i>Si es igual</i> $\Rightarrow k_{CI} = 1$; <i>sino</i> $k_{CI} = 0$	$RP_{CI} = P_{CI} \cdot k_{CI}$
Potencia máxima mayor a potencia nominal	$P_{CJ} = 20$	<i>Si es mayor</i> $\Rightarrow k_{CJ} = 1 - \frac{P_{máxima}}{P_{nominal}}$; <i>sino</i> $k_{CJ} = 0$	$RP_{CJ} = P_{CJ} \cdot k_{CJ}$
Potencia máxima menor a potencia nominal	$P_{CK} = -2$	<i>Si es menor</i> $\Rightarrow k_{CK} = -1 + \frac{P_{máxima}}{P_{nominal}}$; <i>sino</i> $k_{CK} = 0$	$RP_{CK} = P_{CK} \cdot k_{CK}$

$$\text{Benchmarking}_{\text{Comunicación}} = \frac{\text{Puntaje obtenido}}{\text{Puntaje máximo}} = \frac{RP_{CA} + RP_{CB} + RP_{CC} + RP_{CD} + RP_{CE} + RP_{CF} + RP_{CG}}{P_{CA} + P_{CB} + P_{CC} + P_{CD} + P_{CE} + P_{CF} + P_{CI}} \quad (8)$$

Donde, P_{CA} a P_{CK} son las constantes de ponderación propuestas por el autor, k_{CA} a k_{CK} los factores de cuantificación obtenidos de datos del aerogenerador y RP_{CA} a RP_{CK} los resultados de ponderación de cada criterio.

La comparación de potencias se resuelve ponderando sobre la proporción del desvío respecto de la nominal, el signo cambiado penaliza el caso en que la potencia encontrada sea menor que la nominal.

La ponderación del ensayo de duración y de la publicación de la clase es menor que para el caso de curva de potencia por el motivo de ser éste un ensayo muy costoso, al que solo acceden las empresas más consolidadas o con mayor presupuesto, lo que no se considera justo a los fines de este trabajo. Subyace aquí que la definición que hace la norma de este ensayo y el de certificación de tipo son extrapolaciones de los previstos para aerogeneradores de alta potencia, y que por tal razón sus costos no guardan una lógica de proporcionalidad para la eólica de baja potencia. Sería muy deseable se modifique esta situación en un futuro cercano.

3.5 Costo del producto

El costo de un aerogenerador normalmente se contempla desde el punto de vista del usuario, es decir que incluye todos los costos implicados en su instalación y puesta en marcha, desde el valor pagado por el producto al comercializador, hasta los costos de fletes y mano de obra de instalación. Por el carácter de la aplicación propuesta para este resultado, en este trabajo se excluyen todos los factores de costos que no sean el precio del producto pagado al comercializador.

Para muchos consumidores el precio de un producto es el principal factor de toma de decisiones, sin embargo comparar por el costo a sistemas de generación de la complejidad de los eólicos no es un problema trivial. Que un producto tenga un precio adecuado al presupuesto de un consumidor no quiere decir que sea el óptimo. Un etiquetado que aborde este aspecto puede significar en una mejor toma de decisiones por parte de los consumidores.

Los organismos como la WWEA y la IEA Wind, difunden precios promedio por kW de potencia nominal instalada a partir de estadística de datos presentados por los países miembro, con el objeto de brindar una referencia actualizada cada año [29]. Estos valores pueden ser de utilidad en la identificación de patrones históricos y otros comportamientos a nivel global, tecnológico y comercial. Sin embargo estos datos no brindan una referencia válida para la toma de decisiones de inversión, ya que la cantidad de energía que generan equipos de idéntico costo puede ser muy

diferente, y en contraparte el mayor costo de un producto que de mayor robustez o que brinde mejores garantías al cliente, puede ser apreciada por usuarios en sitios con vientos más intensos.

Particularmente la energía eólica de baja potencia atraviesa una situación muy comprometida a nivel mundial. La energía solar fotovoltaica, principal competidor, ofrece precios por kW de potencia nominal instalada por menos de la mitad, lo que lo vuelve la opción más conveniente en la mayoría de los casos. Sin embargo esto no es así en todos los casos. En sitios donde la irradiación solar o la cantidad de horas del día es baja y por otra parte existe un buen recurso eólico (las zonas más australes de nuestro país, por ejemplo), y la cantidad de energía generada por un aerogenerador puede ser tan importante que mejore en costos la opción solar fotovoltaica.

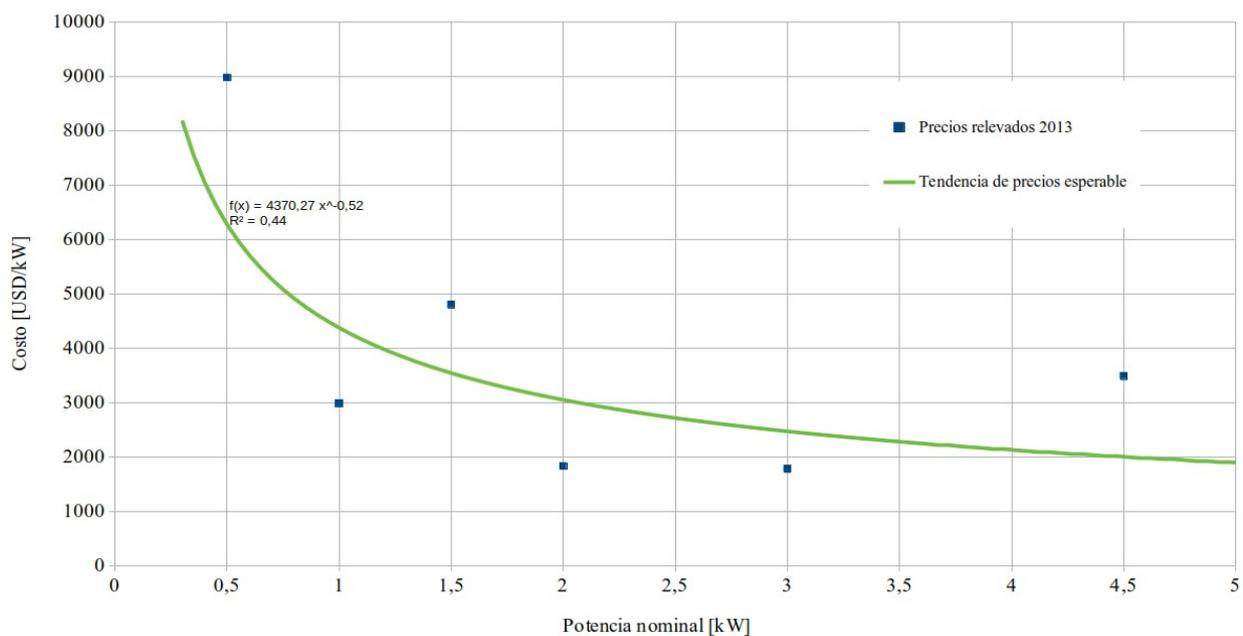


Figura 9: Precios relevados por INTI en 2013 para los aerogeneradores de fabricación nacional y la línea de tendencia de precios esperable (15).

Para los equipos y precios relevados en nuestro país por el INTI durante el año 2013 [15], este coeficiente se comporta como se ve en la Figura 9 cuando se lo compara con el módulo de potencia del aerogenerador. La naturaleza errática del comportamiento del este factor demuestra que está afectado por singularidades y no ofrece un patrón confiable de comparación. Un comportamiento esperable sería el que refleje una disminución a medida que aumenta el módulo de potencia, similar a la que describe la línea de ajuste en color verde.

En la evaluación de alternativas de sistemas de generación eléctrica, se compara los proyectos por el costo de la energía generada (eléctrica o su equivalente) en \$/kWh, y/o con la tarifa energética que sustituyen. En sistemas aislados, entre otras consideraciones suele contemplarse el costo proporcional asociado al tendido de la red de distribución de energía eléctrica.

El costo nivelado de la electricidad [32] (LCOE, por sus siglas en inglés) define el costo de generación de la energía en la vida útil un proyecto de generación de energía eléctrica, y es el parámetro básico de comparación de costos entre proyectos de diferentes tecnologías. Contempla todos los costos requeridos para construir y operar (CAPEX y OPEX⁵) una planta generadora de energía en su ciclo económico de vida, normalizado sobre el total de la energía generada. Como detalla el Global CCS Institute [31] este valor se inscribe dentro de la evaluación económico-financiera de un proyecto de inversión, por lo que contemplará todos los aspectos que hacen a la actualización de los flujos proyectados, una tasa de descuento y otros aspectos más específicos como el impacto de beneficios fiscales o el impacto del apalancamiento brindado por un préstamo, si fuera el caso. Adicionalmente se debe considerar que existen diferentes definiciones del LCOE y que es central que sea transparente en su cálculo para garantizar trazabilidad de los resultados.

En resumen el LCOE es el más completo y versátil de los coeficientes relativos a costos para comparar entre sistemas eólicos de baja potencia, pero sin dudas es el más complejo de componer y costoso de calcular, lo que lo hace el menos accesible al consumidor final.

Idealmente un costo más simplemente calculable que el LCOE, pero transversal a toda situación, sería muy útil ya que permitiría sobre la base de un cálculo simple que el potencial consumidor identifique su opción más conveniente.

Desde este enfoque, y a partir de la identificación del precio de góndola y la EAP 5 m/s, como factor de normalización se puede obtener el dato que se requiere para hacer una comparación simple y mucho más útil que el mero precio de góndola.

La ecuación 9 muestra la expresión para el Costo de la Energía Simple, según la definición propuesta, como el cociente entre el precio que tiene a la venta el producto en las condiciones que lo encuentre el consumidor y la EAP 5 m/s. Si bien es un cociente simple, sería importante analizar a futuro alternativas que faciliten el proceso y eviten confusiones, calculando de manera automatizada este coeficiente, pues la correcta identificación de las unidades en que se expresa y hasta el cálculo podrían ser fuentes de error comunes para cualquier experto, y más aún para un consumidor desprevenido.

$$\text{Costo de la Energía Simple } [\$/MWh] = \frac{\text{Precio de Venta}}{\text{EAP } 5 \text{ m/s}} \quad (9)$$

La EAP 5 m/s es un dato básico obligatorio en el etiquetado propuesto por IEA Wind Task 27, por lo que se puede suponer será el más universal en términos de acceso a información de resultados de ensayo. Por otro lado, es un factor que puede tener diferente incidencia sobre cada caso y esta

⁵ Se usa identificar a los diferentes costos en un proyecto de inversión entre los CAPEX (*Capital Expenditures*) y OPEX (*Operational Expenditures*)

situación puede optimizarse. Utilizando el valor de EAP que mejor represente la media anual donde se planea instalar el equipo, sin duda haría la diferencia en situaciones de medias anuales altas bajando el valor de este cociente sensiblemente. Pero un juicio de aplicación certero de este criterio requeriría de un usuario un dominio elevado de los parámetros de un aerogenerador. Sin ir más lejos, la identificación de la clase del equipo pasaría a ser un factor determinante en la elección de equipos a comparar, y posiblemente sea necesario definir rangos de valores para la comparación en función de algún criterio que sea válido y útil.

Si fuera este un coeficiente informable a través de un servicio *web*, se podría calcular el coeficiente normalizado a un valor de EAP representativo de la clase estimada por el método propuesto en 3.1.1, o de la clase informada por el laboratorio que lo ensayó. Pero sin dudas cualquiera sea el caso será mejor, contando con los medios, calcular el LCOE y no la simplificación propuesta. A los fines de este trabajo, se considera útil y adecuada esta simplificación.

3.5.1 *Benchmarking* de costo del producto

El *Benchmarking* a partir de precios de comercialización es accesible solo en condiciones muy particulares de comercialización, como puede ser las que brinda un comercio minorista de línea blanca para seleccionar sus productos organizando por precio y filtrando otros criterios.

No se consideró posible realizar un *Benchmarking* que arroje resultados para este trabajo, ya que como se vio antes, la propuesta implica la consideración del precio de góndola. Sin embargo suponiendo que existiesen los medios se prevé una automatización del cálculo completo del LCOE y del Costo de la Energía Simple a partir de la lectura de un código QR que permita obtener este resultado al usuario sin intervención en las cuentas. A partir de otras herramientas informáticas se podría brindar al usuario información de comercialización que le permita optimizar su compra, pero a priori no está en el alcance según fue previsto.

Por no contar con datos actualizados ni que completen la muestra de trabajo, no se incluye este aspecto en el capítulo 4 de resultados.

4 RESULTADOS

4.1 Muestra de trabajo

Para expresar los resultados de este trabajo sobre la base práctica de información real de aerogeneradores, se toma una muestra de la totalidad de los aerogeneradores encontrados en diversas fuentes de datos públicos, sobre la base del requisito de que se haya publicado un informe de ensayos. Así se llegó a 48 modelos de aerogeneradores de varios países de todo el mundo.

4.1.1 Fuentes de datos sobre el mercado y esquemas de certificación

Para la obtención de datos de aerogeneradores se obtiene información a cuatro niveles: organismos que otorgan certificaciones a aerogeneradores de baja potencia, laboratorios de ensayo de aerogeneradores, bases de datos de productos de mercado y las páginas *web* de fabricantes.

El Small Wind Certification Council (SWCC), funciona como el organismo de emisión de certificaciones para aerogeneradores de baja potencia en Estados Unidos. Del mismo modo trabaja en Japón el ClassNK. En el Reino Unido el sello Microgeneration Certification Scheme (MCS) funciona bajo ISO 17065 y bajo los estándares de la British Wind Energy Association (BWEA).

En Argentina el INTI publica resultados de ensayo, del mismo modo en que INTERTEK lo hace en varios países. Por último, el FOLKECENTER de Dinamarca elabora periódicamente un catálogo de aerogeneradores de baja potencia y se halló un catálogo de aerogeneradores europeos que alega contar con el apoyo del programa “Intelligent Energy – Europe” de la comunidad Europea, sin aclarar sus autores.

4.1.2 Base de datos de aerogeneradores

En base a los datos relevados de distintas fuentes se elabora un listado único compuesto por 243 productos, punto de partida para la búsqueda de informes de ensayo publicados e información complementaria. De la base de datos elaborada con el total de los productos relevados, se muestra una versión resumida a las características más salientes en el ANEXO 1 AEROGENERADORES RELEVADOS.

Del total inicial se halló informes publicados para 48 aerogeneradores (Tabla 5) a partir de los cuales se identificó a la muestra de trabajo. Se sabe que el listado no está completo, porque omite datos de aerogeneradores de los que se conoce pasaron por laboratorios independientes pero dado que no se encontró información publicada en internet ni se obtuvo por otros medios, no fue posible agregarlos. Sin embargo, se estima por las referencias halladas que el listado completo de aerogeneradores con informes de ensayos realizados conforme a IEC 61400-12 por laboratorios

independientes probablemente no exceda los 80 casos. El listado se reduce si solo se contemplan los casos de aerogeneradores con informes de ensayos de Duración según IEC 61400-2 y aún más si solo se contemplan los aerogeneradores que completaron los ensayos requeridos para etiquetar según IEC Task 27 o que hayan certificado sus productos.

4.1.3 Productos bajo estudio

La Tabla 5 compendia los equipos para los que se halló la información suficiente como para definirlos como aerogeneradores ensayados por terceros independientes, conforme a IEC 61400 y cuya información es de acceso público.

Existen numerosos casos de aerogeneradores que cuentan con certificados extendidos por más de un organismo de certificación y/o fueron ensayados en más de una instancia.

En otros casos, no se halló un informe pero se observó consistencia en los datos presentados por el fabricante en su hoja de datos y a su vez se encontró esos modelos dentro de los listados de equipos etiquetados. Particularmente, en el caso del Reino Unido (BWEA) se dieron varios de estos casos porque el sistema de certificación no contempla la publicación de los resultados y no todos los fabricantes pasaron por otros sistemas que si lo hacen, como el SWCC o los laboratorios de Intertek.

Los aerogeneradores ensayados por el INTI en su laboratorio en Cutral C6, representan un caso singular ya que al momento de completar este trabajo no había sido publicado ningún resultado de ensayo de duraci6n, ni etiqueta.

Otros casos como FD21-50 y WM 17S, exceden el 6rea m6xima prevista para aerogeneradores de baja potencia.

La gran mayoría de los aerogeneradores etiquetados tienen vencidos sus certificados y debieran re-acreditarse para sostener su calidad de producto etiquetado.

Producto	Potencia Nominal [W]	Diámetro de Rotor
AG 700 - 24 Vcc	700	2,40
Airdolphin GTO / Z-1000-250	1.100	1,80
Ampair 6000-5.5 6kW	6.000	5,50
CF10 (Phase A)	10.000	11,15
CF11	11.000	9,36
CF11 (Phase A)	11.000	11,15
CF15	15.000	11,15
CF20	20.000	13,10
COSTA 1 Doméstico	1.100	3,30
DT-25	25.000	12,80
EasyWind 6AC	6.000	6,80
EO-25/12	25.000	12,60
EOLUX 1200	1.200	2,15
Evance R9000	5.000	5,50
Excel 10	10.000	7,00
Excel 15	15.000	9,60
Excel 6	6.000	6,20
FD21-50	50.000	21,50
Fortis Montana, 5kW	5.000	5,00
Gaia 11kW	11.000	13,00
Gaia Wind 133	11.000	13,00
H3000	3.200	4,36
IVS 4500	4.500	4,50
Jacobs 31-20	12.000	9,45
Kestrel e400nb	2.500	4,00
KW6	6.000	5,60
LA10	10.000	7,60
LA30	30.000	13,10
Osiris10	10.000	9,70
PWA03-44-250	3.000	4,40
PWA05-50-280	5.000	5,00
PWB01-30-48	1.000	3,00
PWB02-40-48	2.000	4,00
ST CHARGER 600	600	1,50
SWP20-16TG20	20.000	14,00
SWP25-14GT20	25.000	14,00
T701	1.500	3,00
TGP 2000	2.000	2,60
TN 535 R1.4	10.000	13,20
TUGE10	10.000	10,20
TWP 40-10	25.000	13,00
Viking 25	25.000	13,00
VisionAir5	3.200	3,20
Windspot 3.5 kW	3.500	4,10
WINTEC 1500	1.500	3,41
WM 17S	75.000	16,99
Xzeres -442SR Wind Genrator	10.000	7,20
Z-9000	4.711	5,50

Tabla 5: Listado de aerogeneradores que componen la muestra de trabajo.

4.2 Estudio de casos para la validación del método

A continuación, se muestran cuatro casos representativos de los analizados durante la verificación de la validez del método propuesto. Para cada equipo se analiza su curva de potencia, los coeficientes de comparación y la clase determinada por el laboratorio de referencia que lo ensayó.

4.2.1 Fortis Montana

Este equipo de 5 kW de potencia nominal y 2,5 m de radio de rotor, ha sido catalogado como clase 2 tal como consta en la Tabla 6. A partir de lo que se puede observar en la Figura 10 la potencia generada por el aerogenerador muestra un mayor apego, a bajas velocidades de viento, a la curva de potencia ideal de Betz para clase 2. Este resultado es consistente con la Figura 11 en la que se aprecia mayor planitud en la curva correspondiente a clase 2. Como se puede apreciar estos resultados coinciden con la clase determinada por el laboratorio. Para completar las referencias, la Figura 12 muestra el CP de este aerogenerador, obtenido de su informe de ensayo.

Modelo	Potencia Nominal	Radio de rotor	Clase según informe	EAP informe							
				4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s
Fortis Montana, 5kW	5	2,5	2	3232	5939	9112	12330	15227	17567	19250	20289

Tabla 6: Datos relevados de informe de ensayo - Fortis Montana [33].

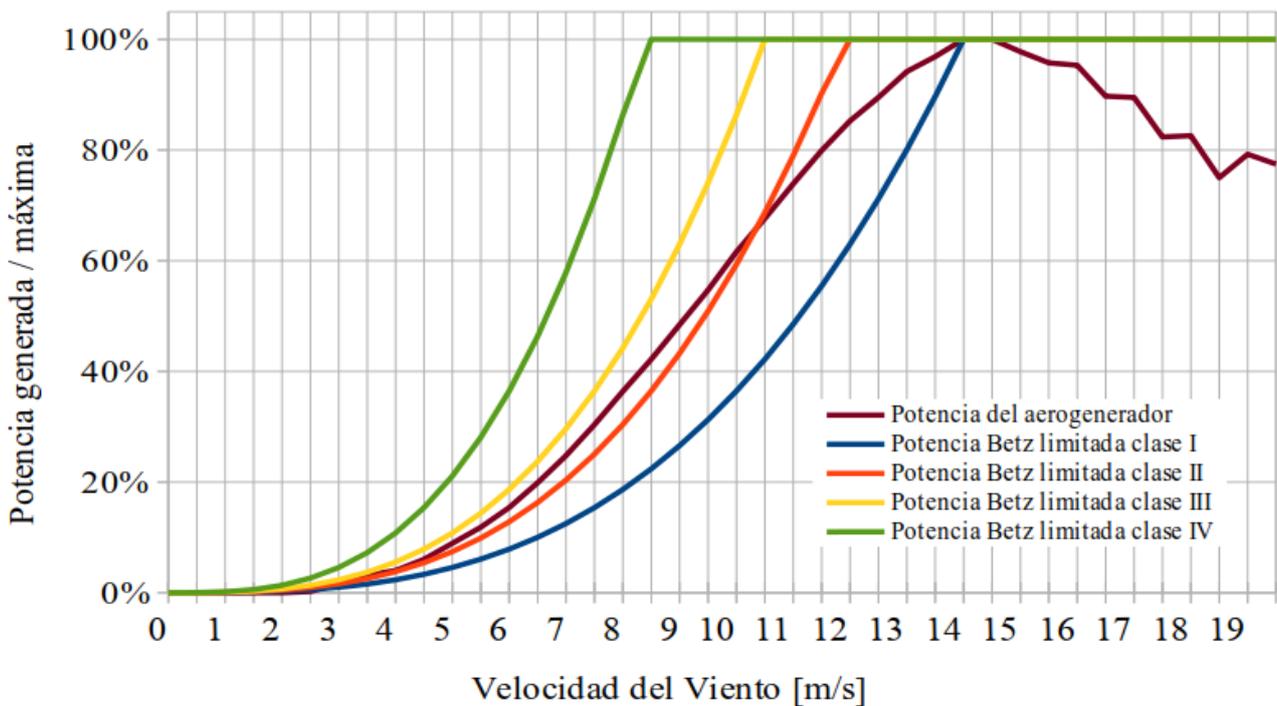


Figura 10: Curvas de potencia ideales de Betz por clase y curva de potencia medida durante el ensayo del Fortis Montana.

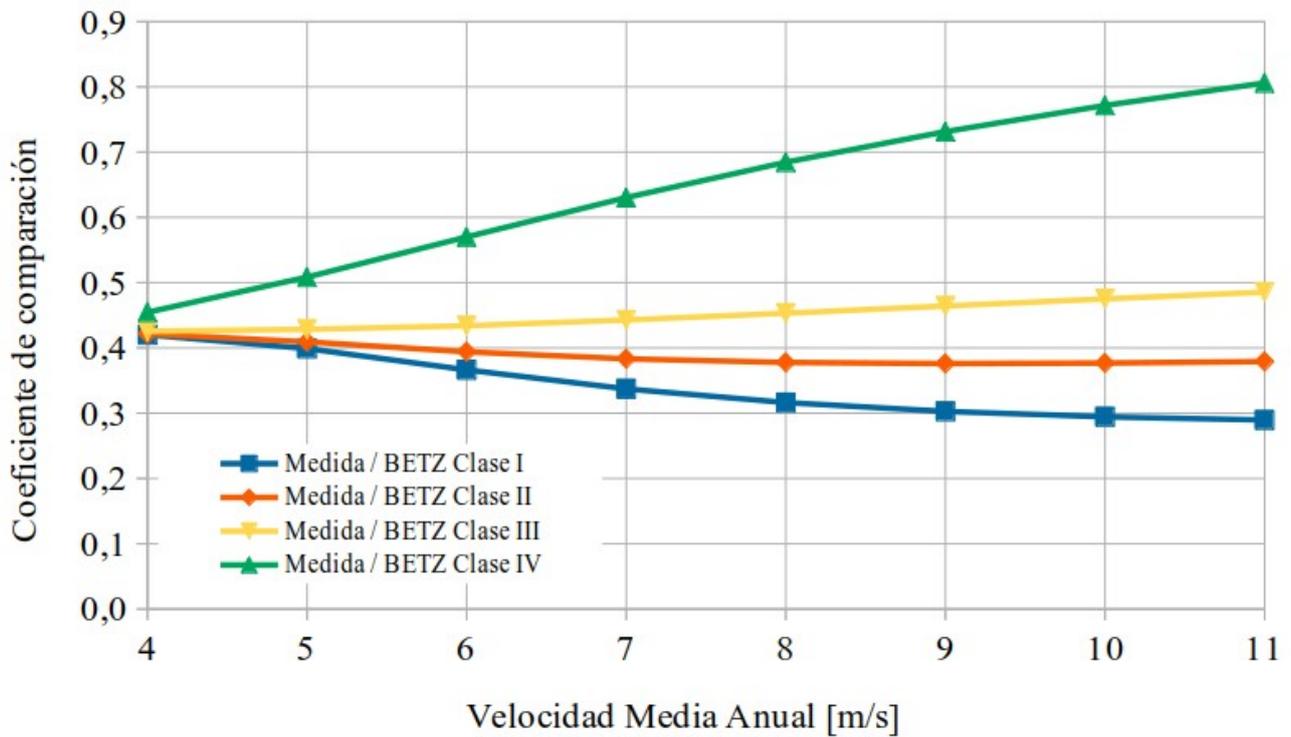


Figura 11: Coeficientes de comparación hallados para Fortis Montana.

	Velocidad media anual [m/s]							
	4	5	6	7	8	9	10	11
EAP Medida [kWh/año]	3.232	5.939	9.112	12.330	15.227	17.567	19.250	20.289
EAP BETZ Clase I [kWh/año]	7.691	14.884	24.871	36.561	48.147	58.034	65.383	70.073
EAP BETZ Clase II [kWh/año]	7.669	14.512	23.128	32.164	40.311	46.714	51.077	53.514
EAP BETZ Clase III [kWh/año]	7.594	13.860	20.999	27.847	33.596	37.837	40.511	41.790
EAP BETZ Clase IV [kWh/año]	7.108	11.680	15.983	19.559	22.246	24.018	24.948	25.175

Tabla 7: Energía Anual Producida según informe de ensayos del Fortis Montana, y de su correspondientes ideales de Betz por clase.

La Tabla 7 y la Tabla 8 muestran los datos de calculo a partir de los que se obtiene la Figura 11.

Coeficiente de comparación	Velocidad media anual [m/s]								Desvío Estándar	Promedio
	4	5	6	7	8	9	10	11		
Medida / BETZ Clase I	0,420	0,399	0,366	0,337	0,316	0,303	0,294	0,290	0,050	0,341
Medida / BETZ Clase II	0,421	0,409	0,394	0,383	0,378	0,376	0,377	0,379	0,017	0,390
Medida / BETZ Clase III	0,426	0,428	0,434	0,443	0,453	0,464	0,475	0,485	0,022	0,451
Medida / BETZ Clase IV	0,455	0,508	0,570	0,630	0,684	0,731	0,772	0,806	0,126	0,645

Tabla 8: Coeficientes de comparación EAP medida contra ideal de Betz para el Fortis Montana.

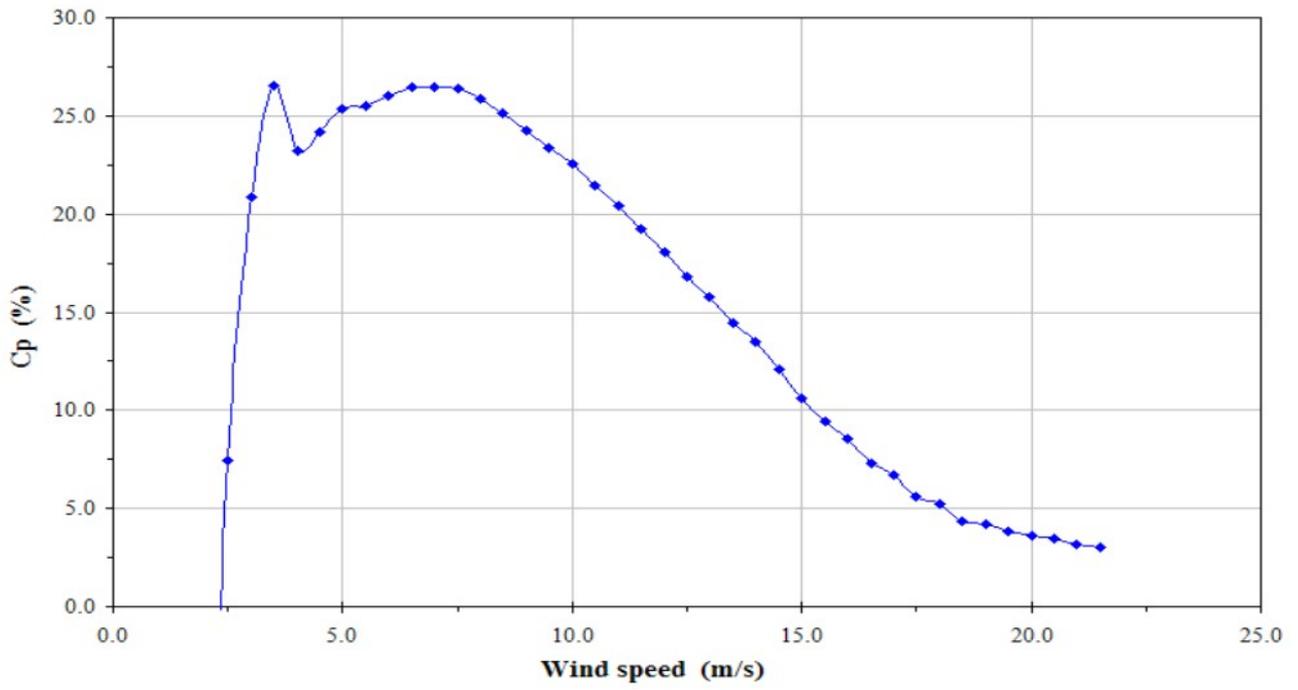


Figura 12: Coeficiente de potencia del Fortis Montana, extraído de su reporte de ensayo.

4.2.2 C&F Green Energy – CF15

Este equipo de 15 kW de potencia nominal y 5,575 m de radio de rotor, ha sido catalogado como clase 3 tal como consta en la Tabla 9. A partir de lo que se puede observar en la Figura 13 la potencia generada por el aerogenerador muestra un mayor apego a la curva de potencia ideal de Betz para clase 3. Este resultado es consistente con la Figura 14 en la que se aprecia mayor planitud en la curva correspondiente a clase 3. Como se puede apreciar estos resultados coinciden con la clase determinada por el laboratorio. Para completar las referencias, la Figura 15 muestra el CP de este aerogenerador, obtenido de su informe de ensayo.

Modelo	Potencia Nominal	Radio de rotor	Clase según informe	EAP informe							
				4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s
CF15	15	5,575	3	13170	25735	39090	50444	58333	62650	64032	63310

Tabla 9: Datos relevados de informe de ensayo – CF15 [34].

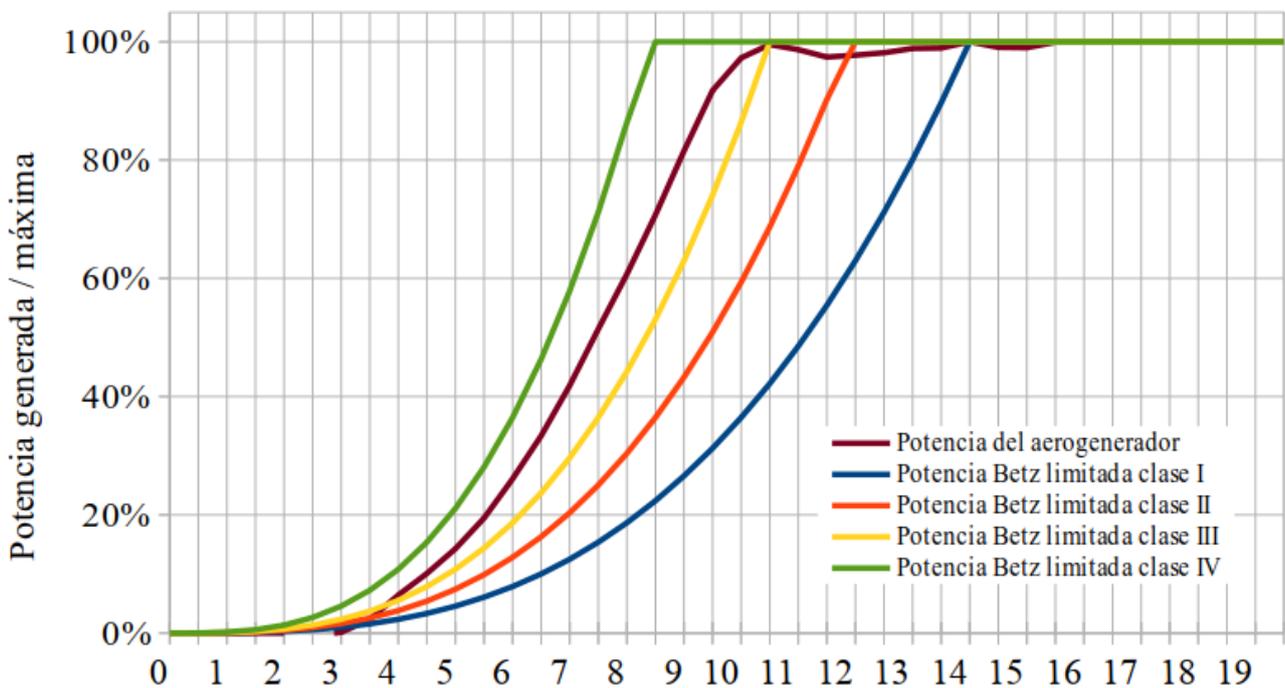


Figura 13: Curvas de potencia ideales de Betz por clase y curva de potencia medida durante el ensayo del CF15.

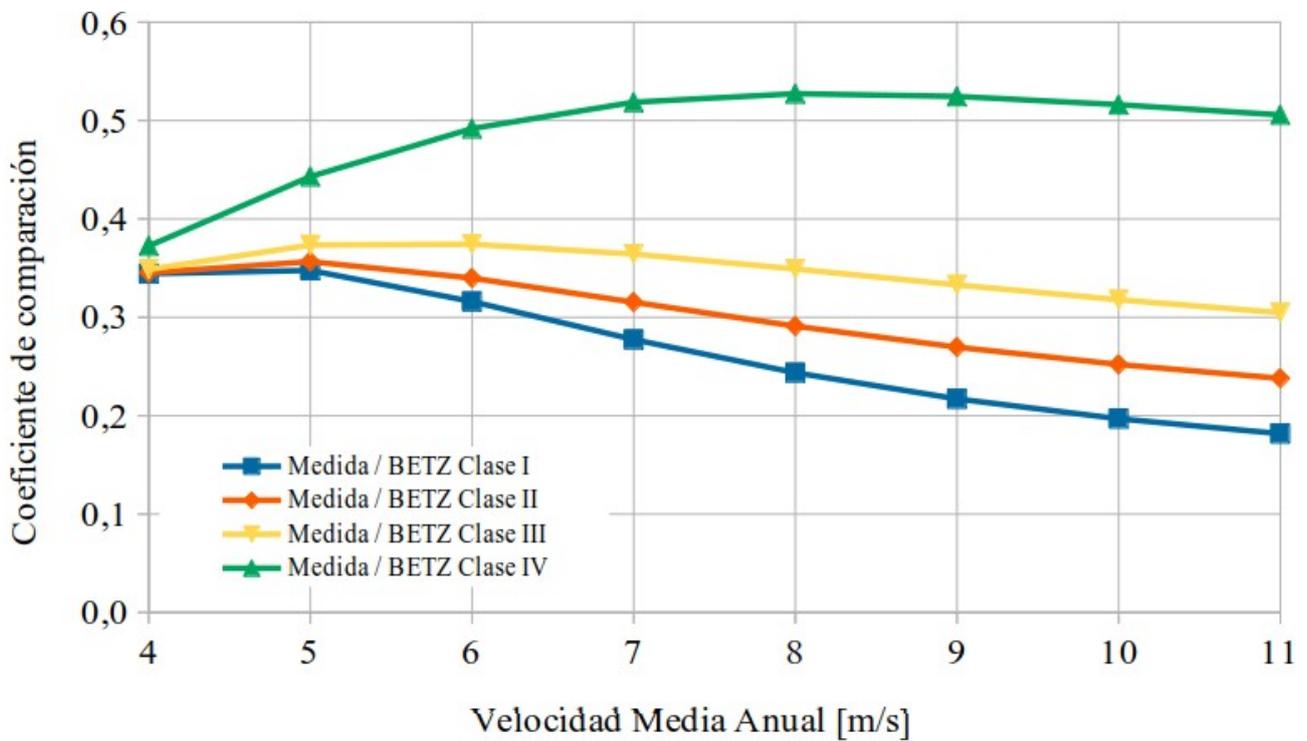


Figura 14: Coeficientes de comparación hallados para CF15.

	Velocidad media anual [m/s]							
	4	5	6	7	8	9	10	11
EAP Medida [kWh/año]	13.170	25.735	39.090	50.444	58.333	62.650	64.032	63.310
EAP BETZ Clase I [kWh/año]	38.249	74.017	123.683	181.816	239.428	288.596	325.144	348.464
EAP BETZ Clase II [kWh/año]	38.136	72.167	115.011	159.950	200.461	232.306	253.999	266.120
EAP BETZ Clase III [kWh/año]	37.762	68.926	104.427	138.478	167.069	188.161	201.455	207.817
EAP BETZ Clase IV [kWh/año]	35.346	58.082	79.482	97.264	110.627	119.439	124.062	125.195

Tabla 10: Energía Anual Producida según informe de ensayo del CF15 y de sus ideales de Betz por clase.

La Tabla 10 y Tabla 11 muestran los datos de cálculo a partir de los que se obtiene la Figura 14.

Coeficiente de comparación	Velocidad media anual [m/s]								Desvío Estándar	Promedio
	4	5	6	7	8	9	10	11		
Medida / BETZ Clase I	0,344	0,348	0,316	0,277	0,244	0,217	0,197	0,182	0,066	0,266
Medida / BETZ Clase II	0,345	0,357	0,340	0,315	0,291	0,270	0,252	0,238	0,045	0,301
Medida / BETZ Clase III	0,349	0,373	0,374	0,364	0,349	0,333	0,318	0,305	0,026	0,346
Medida / BETZ Clase IV	0,373	0,443	0,492	0,519	0,527	0,525	0,516	0,506	0,054	0,487

Tabla 11: Coeficientes de comparación EAP medida contra ideales de Betz obtenidos para el CF15.

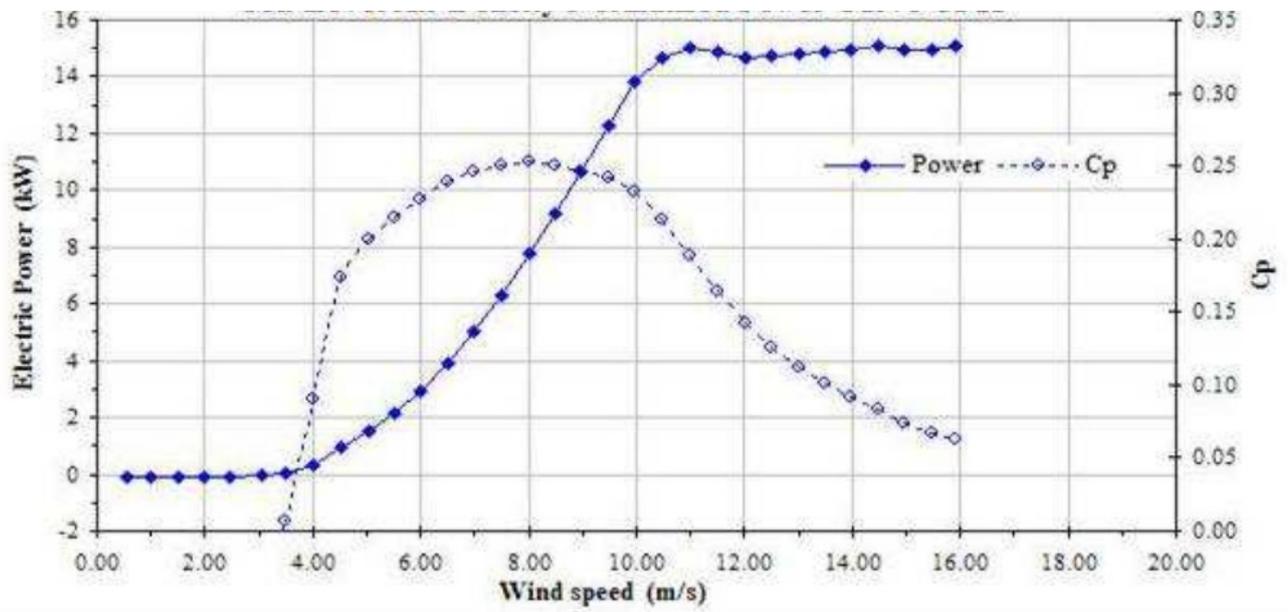


Figura 15: Coeficiente de potencia y curva de potencia del CF15, extraído de su reporte de ensayo.

4.2.3 TOZZI - TN 535 R1.4

Este equipo de 10 kW de potencia nominal y 6,6 m de radio de rotor, ha sido catalogado como clase 4 tal como consta en la Tabla12. A partir de lo que se puede observar en la Figura 17, la potencia generada por el aerogenerador recorre una trayectoria por velocidades de viento inferiores a la curva de potencia ideal de Betz para clase 4. Este dato es consistente con la Figura 16 en la que se aprecia mayor planitud en la curva correspondiente a clase 4. Como se puede apreciar estos resultados coinciden con la clase determinada por el laboratorio. Para completar las referencias, la Figura 18 muestra el CP de este aerogenerador, obtenido de su informe de ensayo.

Modelo	Potencia Nominal	Radio de rotor	Clase según informe	EAP informe							
				4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s
TN 535 R1.4	10	6,6	4	24590	37360	47240	53520	56390	56610	55030	52390

Tabla12: Datos relevados de informe de ensayo – TN535 [35, 36].

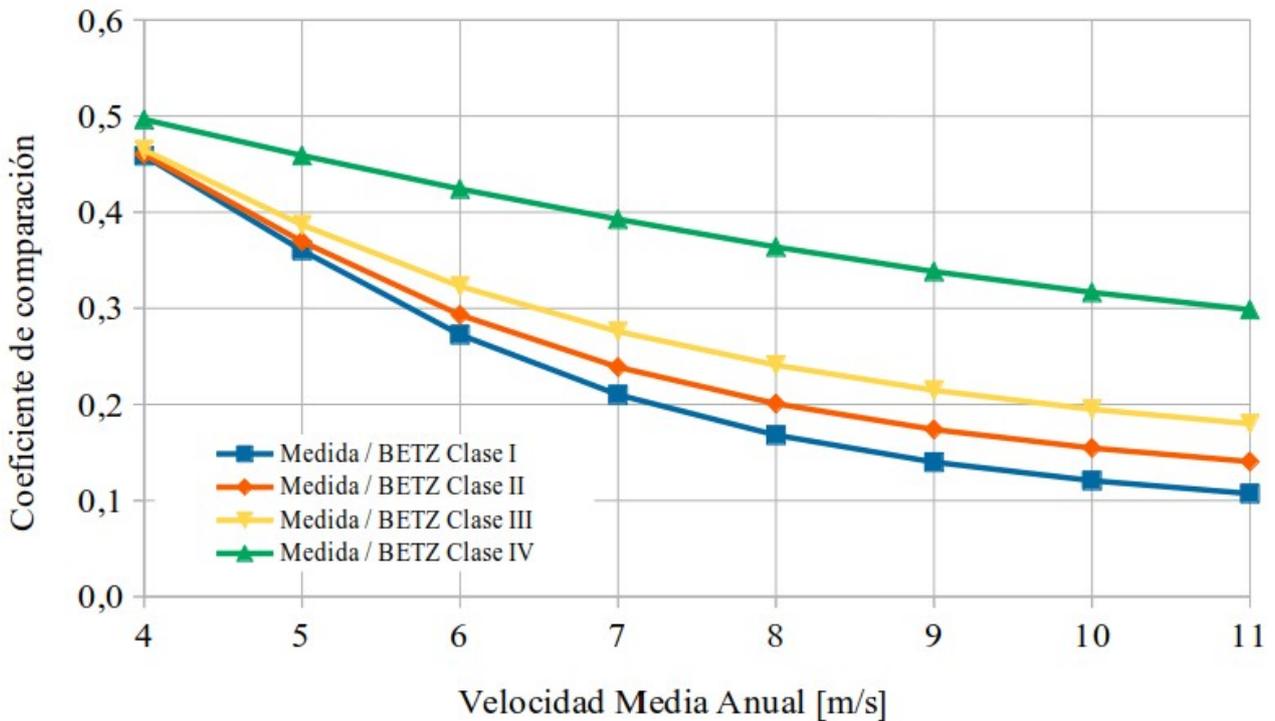


Figura 16: Coeficientes de comparación hallados para TN535.

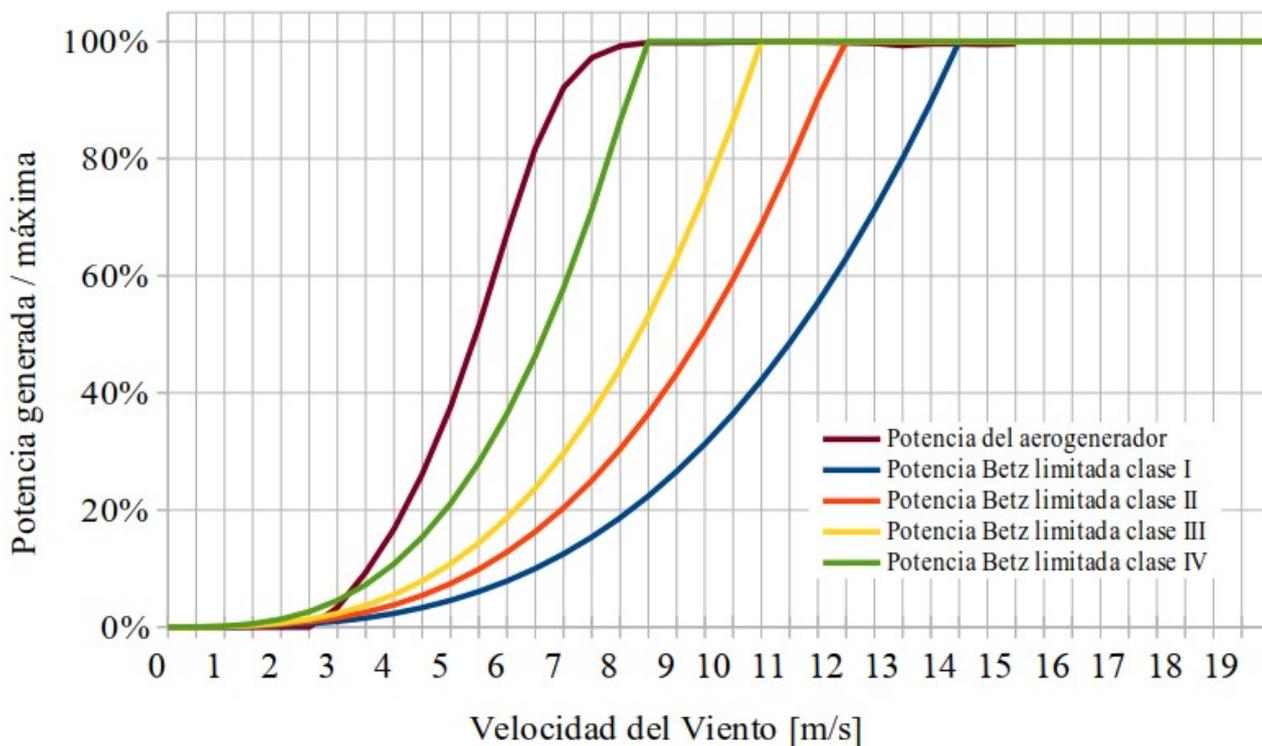


Figura 17: Curvas de potencia ideales de Betz por clase y curva de potencia medida durante el ensayo del TN535.

La Tabla 13 y Tabla 14 muestran los datos de cálculo a partir de los que se obtiene la Figura 16.

	Velocidad media anual [m/s]							
	4	5	6	7	8	9	10	11
EAP Medida [kWh/año]	24.590	37.360	47.240	53.520	56.390	56.610	55.030	52.390
EAP BETZ Clase I [kWh/año]	53.606	103.736	173.344	254.818	335.562	404.472	455.694	488.378
EAP BETZ Clase II [kWh/año]	53.448	101.143	161.190	224.173	280.950	325.580	355.983	372.972
EAP BETZ Clase III [kWh/año]	52.924	96.601	146.356	194.080	234.149	263.711	282.343	291.259
EAP BETZ Clase IV [kWh/año]	49.538	81.403	111.396	136.317	155.045	167.396	173.875	175.462

Tabla 13: Energía Anual Producida según informe de ensayos del TN535, y de su correspondientes ideales de Betz por clase.

Coeficiente de comparación	Velocidad media anual [m/s]								Desvío Estándar	Promedio
	4	5	6	7	8	9	10	11		
Medida / BETZ Clase I	0,459	0,360	0,273	0,210	0,168	0,140	0,121	0,107	0,126	0,230
Medida / BETZ Clase II	0,460	0,369	0,293	0,239	0,201	0,174	0,155	0,140	0,113	0,254
Medida / BETZ Clase III	0,465	0,387	0,323	0,276	0,241	0,215	0,195	0,180	0,100	0,285
Medida / BETZ Clase IV	0,496	0,459	0,424	0,393	0,364	0,338	0,316	0,299	0,070	0,386

Tabla 14: Coeficientes de comparación EAP medida contra ideal de Betz para el TN535.

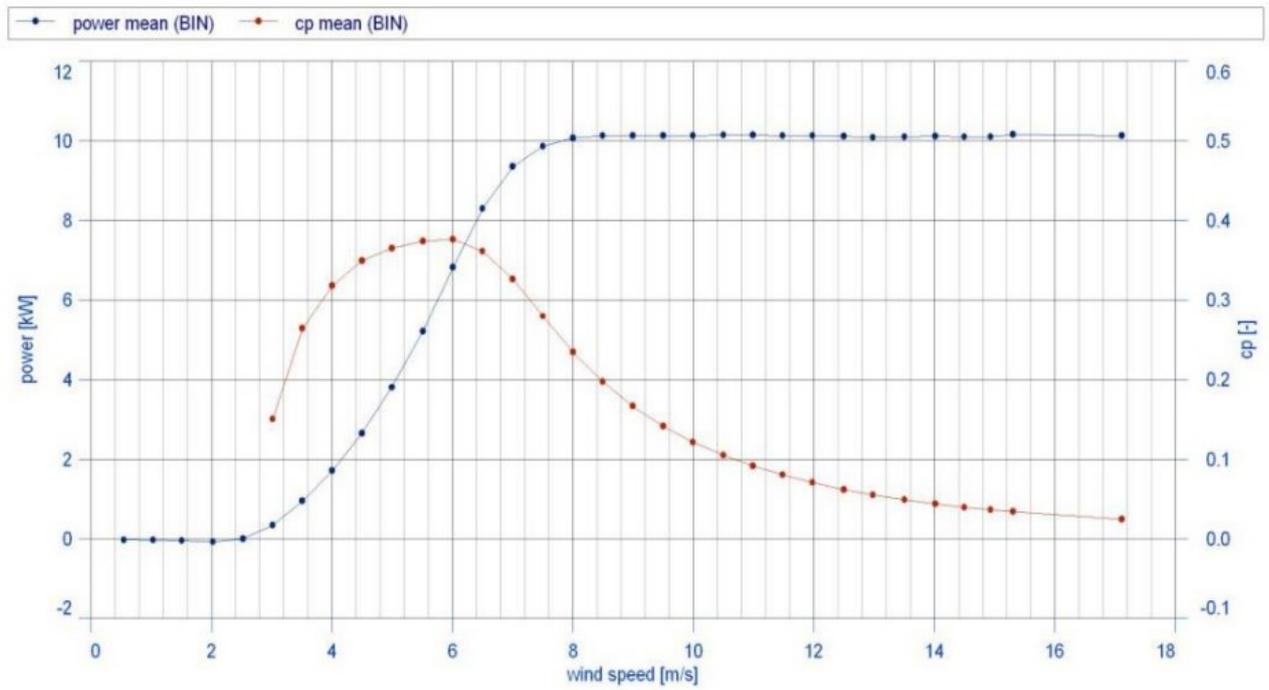


Figura 18: Coeficiente de potencia y curva de potencia del TN535, extraído de su reporte de ensayo.

4.2.4 Eveready Kestrel e400nb

Este equipo de 2,5 kW de potencia nominal y 2 m de radio de rotor, ha sido catalogado como clase 1 tal como consta en la Tabla 15. A partir de lo que se puede observar en la Figura 19 la potencia generada por el aerogenerador muestra cierto apego a la curva de potencia ideal de Betz para clase 2. Este resultado es consistente con la Figura 20 en la que se aprecia mayor planitud en la curva correspondiente a clase 2. Para completar las referencias, la Figura 21 muestra el CP de este aerogenerador, obtenido de su informe de ensayo.

Modelo	Potencia Nominal	Radio de rotor	Clase según informe	EAP informe							
				4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s
Kestrel e400nb	2,5	2	1	1880	3929	6319	8702	10850	12629	13973	14877

Tabla 15: Datos relevados de informe de ensayo – Kestrel e400nb [37].

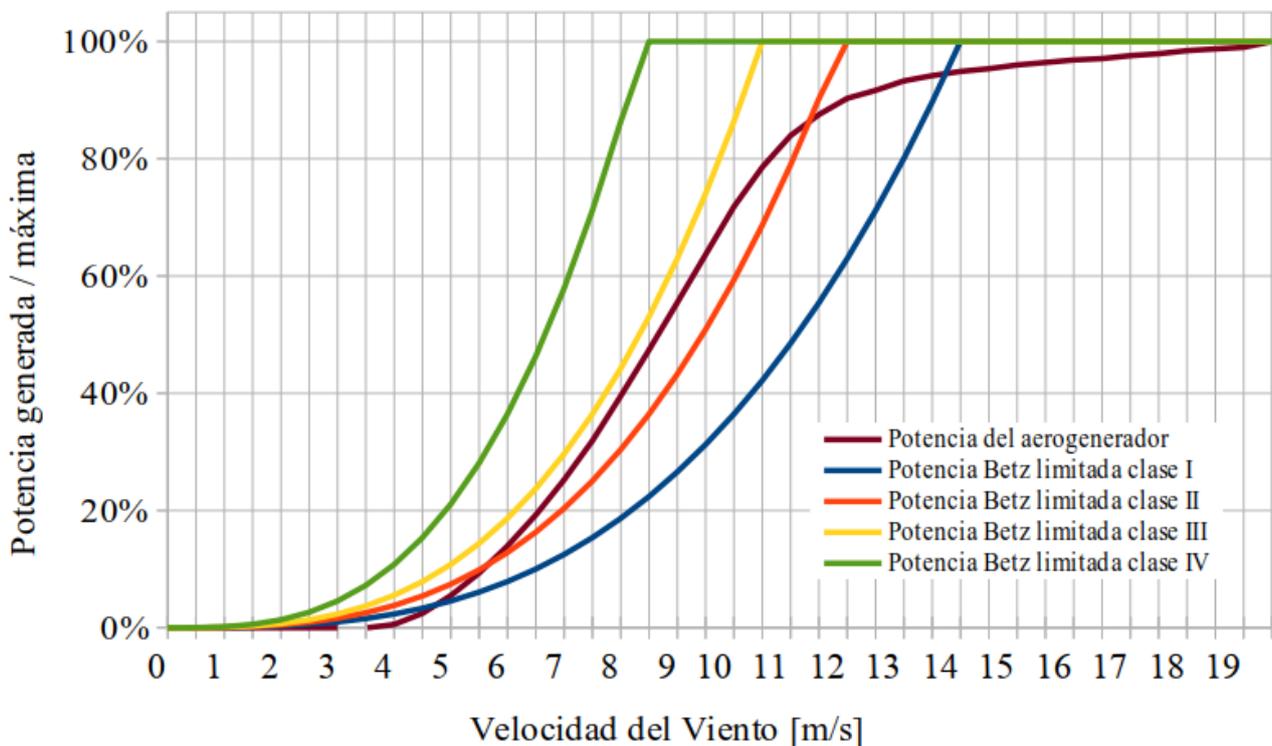


Figura 19: Curvas de potencia ideales de Betz por clase y curva de potencia medida durante el ensayo del Kestrel e400nb.

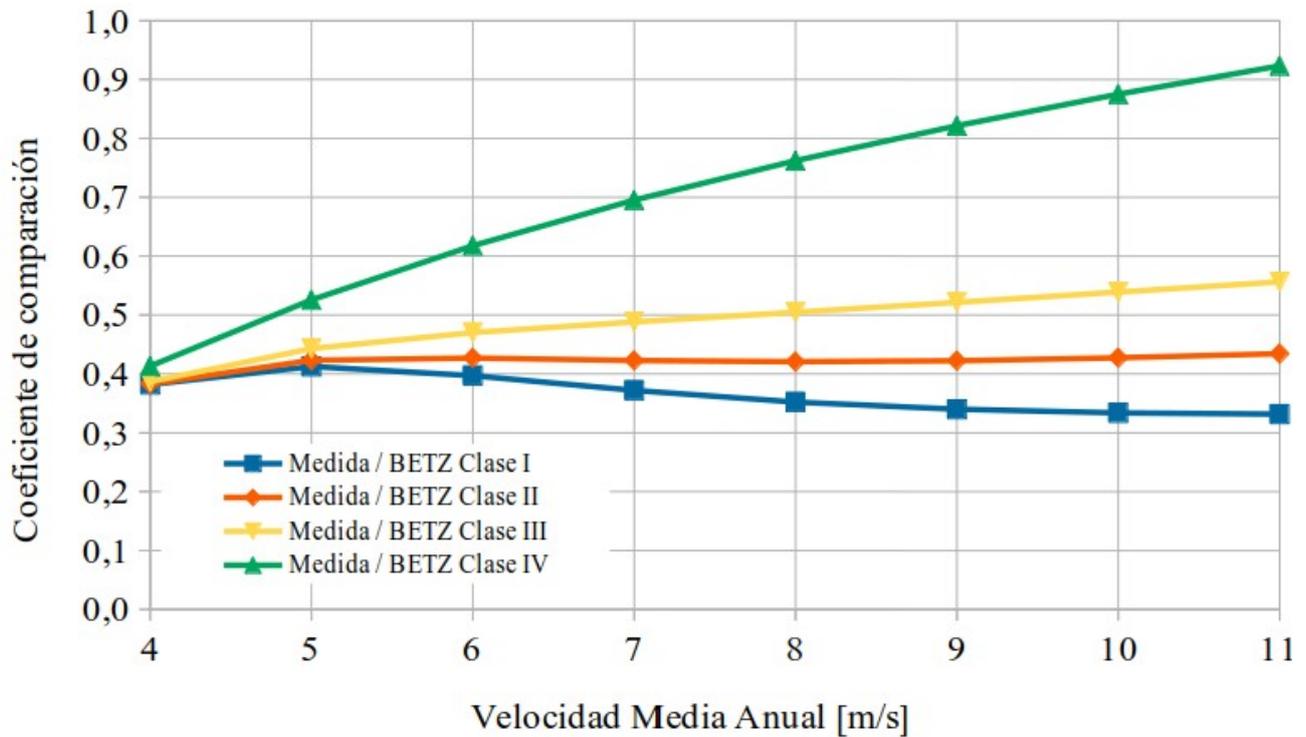


Figura 20: Coeficientes de comparación hallados para Kestrel e400nb.

La Tabla 16 y Tabla 17 la muestran los datos de cálculo a partir de los que se obtiene la Figura 20.

	Velocidad media anual [m/s]							
	4	5	6	7	8	9	10	11
EAP Medida [kWh/año]	1.880	3.929	6.319	8.702	10.850	12.629	13.973	14.877
EAP BETZ Clase I [kWh/año]	4.923	9.526	15.918	23.399	30.814	37.142	41.845	44.846
EAP BETZ Clase II [kWh/año]	4.908	9.288	14.802	20.585	25.799	29.897	32.689	34.249
EAP BETZ Clase III [kWh/año]	4.860	8.871	13.439	17.822	21.501	24.216	25.927	26.746
EAP BETZ Clase IV [kWh/año]	4.549	7.475	10.229	12.518	14.237	15.372	15.967	16.112

Tabla 16: Energía Anual Producida según informe de ensayos del Kestrel e400nb, y de sus correspondientes ideales de Betz por clase.

Coeficiente de comparación	Velocidad media anual [m/s]								Desvío Estándar	Promedio
	4	5	6	7	8	9	10	11		
Medida / BETZ Clase I	0,382	0,412	0,397	0,372	0,352	0,340	0,334	0,332	0,030	0,365
Medida / BETZ Clase II	0,383	0,423	0,427	0,423	0,421	0,422	0,427	0,434	0,016	0,420
Medida / BETZ Clase III	0,387	0,443	0,470	0,488	0,505	0,522	0,539	0,556	0,055	0,489
Medida / BETZ Clase IV	0,413	0,526	0,618	0,695	0,762	0,822	0,875	0,923	0,177	0,704

Tabla 17: Coeficientes de comparación EAP medida contra ideal de Betz para el Kestrel e400nb.

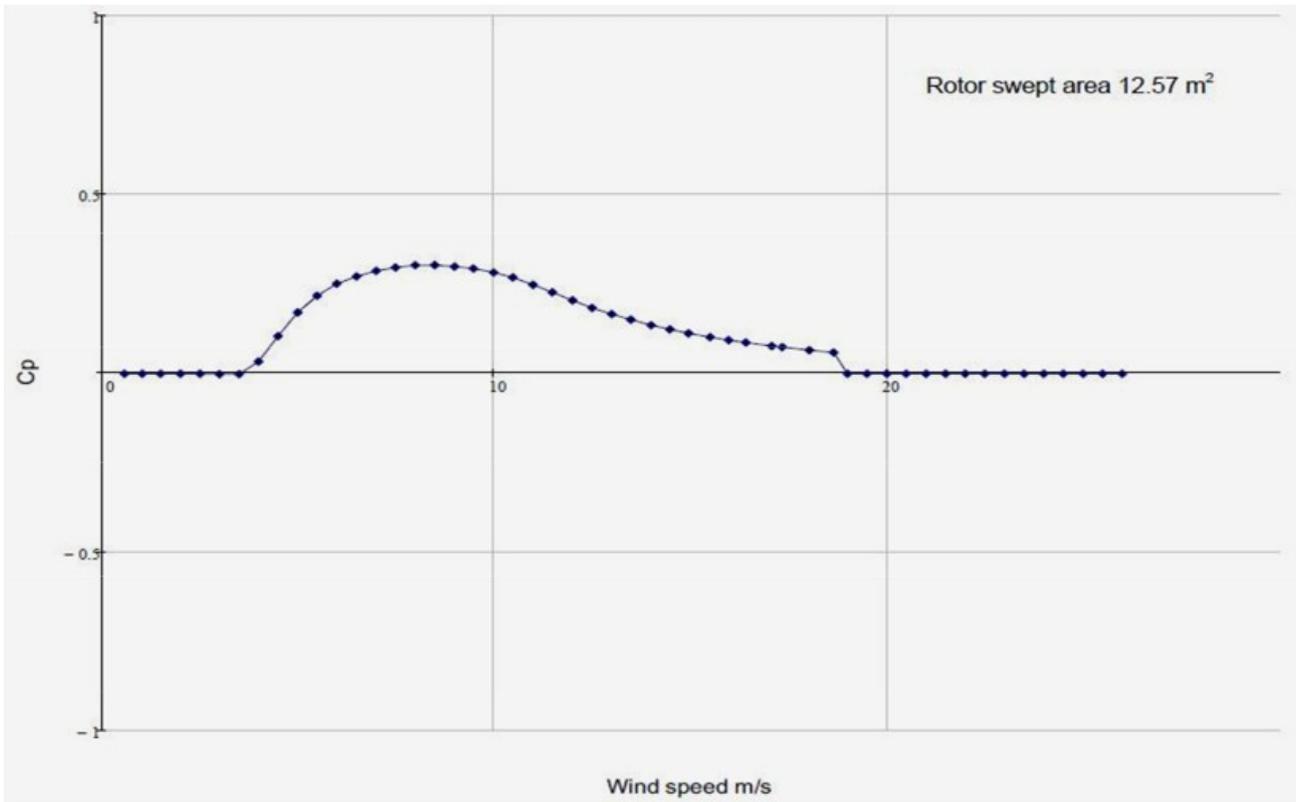


Figura 21: Coeficiente de potencia Kestrel e40nb, extraído de su reporte de ensayo.

4.3 Eficiencia del diseño

Si se contrasta la clase según el ensayo de duración con la clase determinada mediante el método propuesto se puede determinar en primera instancia tres tipos de resultados: clase ensayada igual a la clase determinada, clase ensayada menor a la clase determinada y clase ensayada mayor a la ensayada. Los dos primeros definen situaciones esperables y deseadas, en las que los aerogeneradores tienen una respuesta en potencia adecuada a la clase de vientos a la que fue ensayado.

En la Figura 22 el cero del eje vertical identifica los casos en que no se cuenta con resultados de ensayos de clase. En esa situación se encuentran los aerogeneradores de fabricación nacional, a saber: AG700, COSTA 1, EOLUX 1200, IVS 4500, STCHARGER 600, TGP 2000 y WINTEC 1500. Del mismo modo que H3000, TWP 40-10, VIKING 25, VISIONAIR 5 y WM 17S.

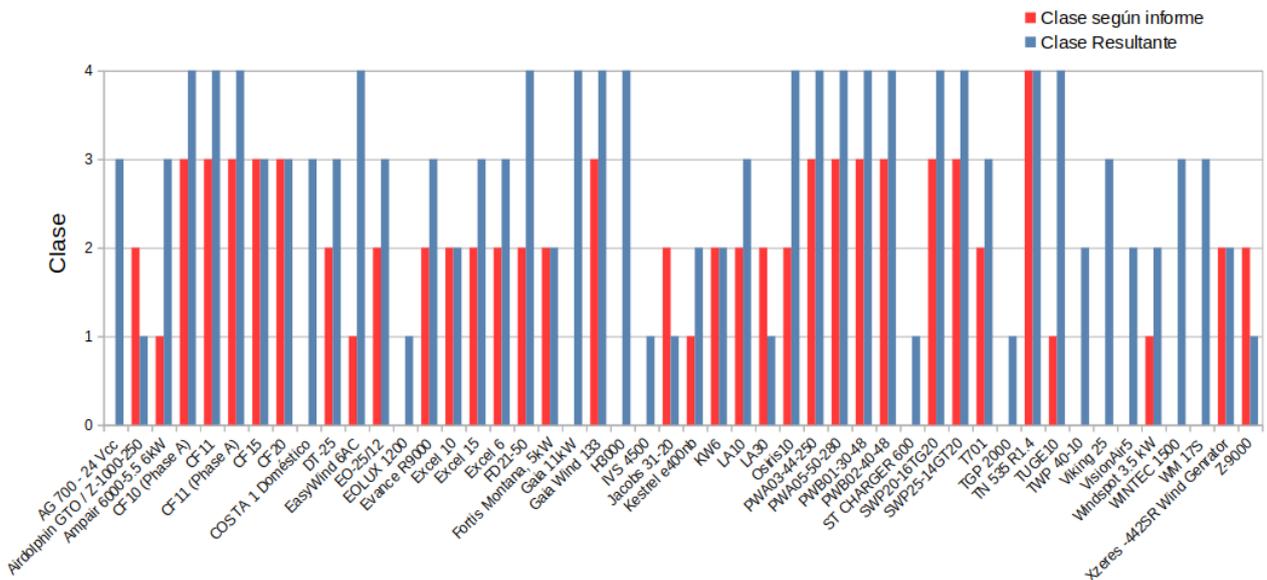


Figura 22: Clases de ensayo y determinada por producto.

Cabe aclarar que estos resultados solo son representativos de la situación encontrada en el marco de este trabajo, sobre los casos relevados a través de las bases de datos citadas en los capítulos precedentes y basados en datos que los mismos fabricantes aportaron a los laboratorios. Los casos de los aerogeneradores sin ensayo de duración son fuertemente perjudicados por este gráfico y una interpretación incorrecta puede ser muy injusta.

Se observan además distintas situaciones entre los aerogeneradores relevados. Por ejemplo, dos aerogeneradores, Easy Wind 6AC y TUGE 10, cuentan con informes de ensayo que los ubican como adecuados para resistir vientos de clase 1, pero su curva de potencia es adecuada hasta para vientos clase 4. Esta circunstancia los hace excepcionalmente versátiles en cuanto al sitio en el cual pueden ser instalados. Una situación similar, pero no tan promisoriosa, se da en tres productos al tener

una diferencia de 2 entre la clase según el ensayo y la óptima por su curva de potencia. El grueso de los casos (18 aerogeneradores) se encuentra, gratamente, en una diferencia favorable entre las dos primeras columnas y aún en la igualdad entre estos valores se añaden seis equipos más.

Los casos identificados con diferencias desfavorables, son solo cuatro, y se guardan reservas por las circunstancias que pudieran haber llevado a los especialistas de los laboratorios de ensayo a definir esas determinaciones de clase, considerando que podrían haber casos en los que por no contar con información de ensayo suficiente, sean plazos cortos de medición o con escaso viento, o información suministrada por el equipo y hasta algún resultado adverso observado fortuitamente en la muestra de ensayo, se haya definido una clase más conservadora de lo que podría interpretar otro laboratorio para esos equipos. Sin ánimos de sembrar dudas sobre el grado de rigurosidad alcanzado por los laboratorios en términos de calidad, se puede esperar cierto grado de desvío en esta industria por el nivel de desarrollo actual, que dista del nivel de madurez de otras actividades.

La Tabla 18 resume los casos posibles, valoriza e identifica la posición de cada producto.

En la valoración de la eficiencia se tradujeron los criterios de valoración por el desvío de clase y el resto de los criterios desarrollados en 3.2.1. Los resultados hallados se pueden observar en la Figura 23. En el eje horizontal barre de 0 a 1 la calificación asignada a cada caso, siendo 1 la situación ideal. En los casos en los que no se cuenta con datos de ensayo para la clase, el factor que predomina es la proporción en la que el diseño logrado se acerca a su ideal de Betz. En color rojo, se presenta el detalle del aporte que hace la principal componente de este criterio, la proporción en la que el desempeño del aerogenerador se asemeja al de su ideal de Betz.

El orden establecido para los aerogeneradores se corresponde con el puntaje global obtenido, que se presentará en detalle en 4.6, donde los mejores aerogeneradores se sitúan abajo.

Clase según ensayo de duración	Clase determinada por el método propuesto	Descripción del caso	Productos
1	4	(+3) Diseño óptimo, caso extremo, la velocidad de vientos soportada por el sistema es muy superior a la que requiere su curva de potencia.	Easy Wind 6AC, TUGE 10
1	3	(±2) Diseño óptimo, la velocidad de vientos soportada por el sistema es muy superior a la que requiere su curva de potencia.	Ampair 6000, FD21-50, Osiris 10
2	4		
1	2	(±1) Diseño óptimo, la velocidad de vientos soportada por el sistema es superior a la que requiere su curva de potencia.	Excel 15, LA10, EO25-12, DT25, KESTREL E400, T701, PWA05-50, PWB01-30, PWA03-44, SWP 25, CF10 (Phase A), EXCEL 6, PWB02-40, CF11, CF11 (Phase A), SWP20, GAIA Wind 133, Windspot 3.5 kW
2	3		
3	4		
1	1	(0) Diseño adecuado, la velocidad de vientos soportada por el sistema es adecuada para lo que requiere su curva de potencia.	XZERES - 442 SR, EXCEL 10, KW6, FORTIS MONTANA 5kW, CF15, CF20
2	2		
3	3		
4	4		
2	1	(-1) El sistema requiere de velocidades de viento superiores a las que es capaz de resistir	AIRDOLPHIN GTO / Z-1000-250, JACOBS 31-20, LA30, Z-9000
3	2		
4	3		
3	1	(-2) El sistema requiere de velocidades de viento muy superiores a las que es capaz de resistir	--
4	2		
4	1	(-3) Caso extremo, el sistema requiere de velocidades de viento muy superior a las que es capaz de resistir	--

Tabla 18: Identificación de casos por desvío de clase, entre paréntesis y colores se identifica la diferencia entre las clases según ensayo y determinada por el método propuesto, para cada caso.

Nota: Esta tabla excluye los aerogeneradores sin resultados de ensayo de clase.

En la Figura 23, como en las siguientes, se ordenó el listado de aerogeneradores de desde arriba hacia abajo por su ponderación global (*benchmark* global) ascendente, tal como se explica en la sección 4.6. De esta manera se sitúan los productos con mejor *benchmark* total en la base de cada figura.

Para el caso de la eficiencia, teniendo en cuenta la aclaración anterior, se puede observar que hay cierta correspondencia entre el resultado del *benchmark* total y el de eficiencia, con algunas salvedades. Se ven algunos casos en los que un equipo con un buen desempeño en eficiencia no tiene un *benchmark* global mayor que otro de eficiencia menor, y esto podría deberse a problemas

de seguridad (ej. WM 17S vs. LA 30) o a la ausencia de datos de ensayo de duración (Z9000 vs. LA 30) por citar dos posibles ejemplos.

Hasta SWP20-16TG20 la coeficientes de comparación o proporción respecto del ideal de betz (rojo) es predominante al *benchmark* de eficiencia (azul), es decir que están siendo penalizados por diferentes razones y a criterio del *benchmark* de eficiencia no alcanza con una buena adecuación con su ideal de betz. La disponibilidad de datos de la clase determinada por ensayo, y luego de la proporción en que ésta se asemeja a la clase determinada por el método propuesto es un aspecto preponderante.

Por último, los aerogeneradores con mayor *benchmark* total, se ven claramente favorecidos por las desvíos de clase mostrados en la Tabla 18.

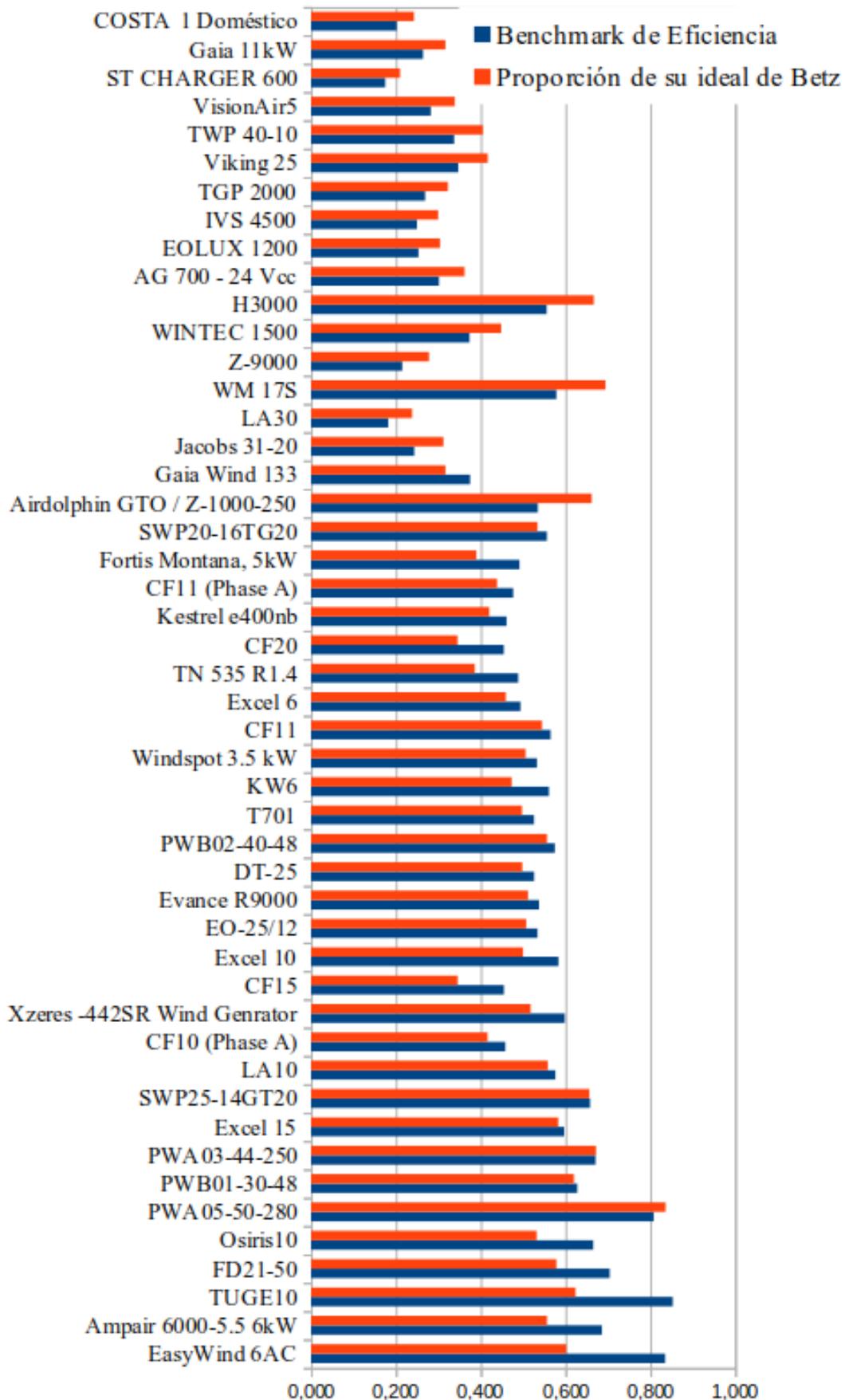


Figura 23: Calificación de cada equipo de la muestra según el criterio definido desde el punto de vista de la eficiencia.

4.4 Seguridad

Los resultados obtenidos para el *benchmark* de seguridad muestran que la principal componente de seguridad, es la existencia de ensayo de clase. Desde el punto de vista estadístico, como se puede observar en las figuras 24 y 25, más del 70% de los aerogeneradores de la muestra exhiben definición de clase según la norma. Solo 13 equipos, entre los 48 relevados no cuentan con este resultado.

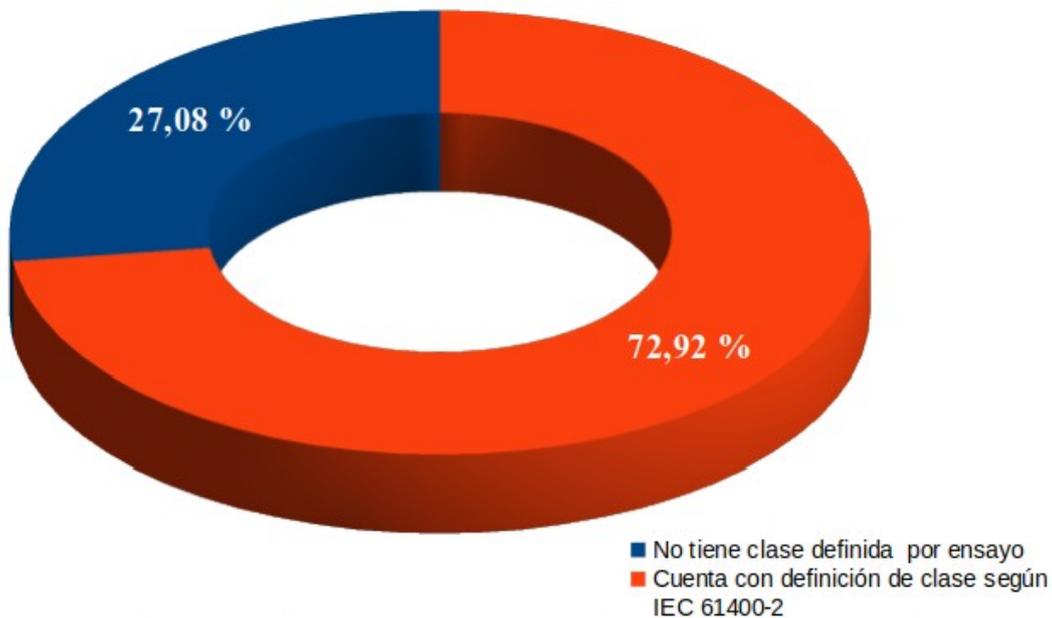


Figura 24: Proporción de aerogeneradores con clase identificada según IEC61400-2.

En la Figura 25 puede observar además la fuerte predominancia de los equipos clase III y IV entre los resultados de determinación de clase por el método propuesto en este trabajo, lo que podría representar una desventaja en términos de seguridad para los usuarios en sitios de clases superiores y en general para la actividad. Como se detalla en la sección 3.3, la situaciones preferibles desde todo punto de vista, son aquellas en las que aerogeneradores obtienen clase I pero generan en optimas condiciones en sitios clase IV, es decir que son seguros y funcionan a plena potencia frecuentemente en cualquier sitio, pero esta situación es menos probable si la mayor parte de la oferta se encuentra entre clase III y IV. Por último, en la Figura 26 se puede observar que un 8,33% del total de los aerogeneradores de la muestra, presenta una diferencia negativa de clases. Estos casos, tal como fue señalado en anteriormente, podrían implicar un serio riesgo para las personas y los bienes, por cuanto deben exigirse a vientos para los cuales no está preparado desde el punto de vista estructural, para funcionar plenamente en todo el rango de potencias según su diseño.

La Figura 27 muestra que, desde el punto de vista del *benchmark* de seguridad, el desvío de clase negativo predomina a la ausencia de ensayo de duración (Wintec 1500 vs. Z-9000), pero que puede

variar si el producto tiene un aporte suficiente desde el punto de vista de la comunicación y la eficiencia (Z-9000 vs. WM 17S).

Por último, la Figura 28 muestra como incide la realización de los ensayos de duración en el *benchmark* de seguridad y el total.

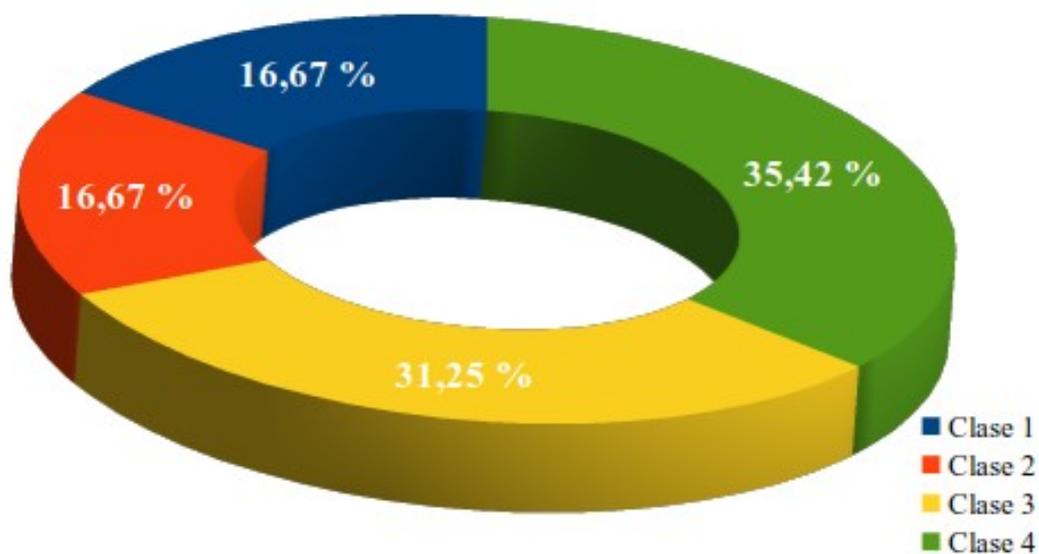


Figura 25: Porción de aerogeneradores por la clase que optimiza su generación de energía.

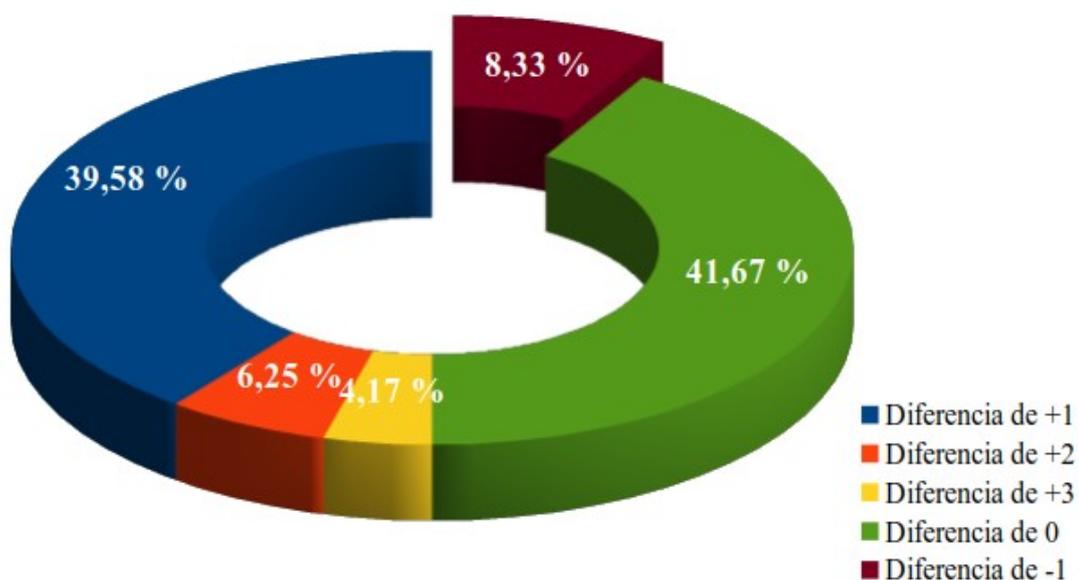


Figura 26: Proporción de aerogeneradores en cada caso de desvío entre clases.

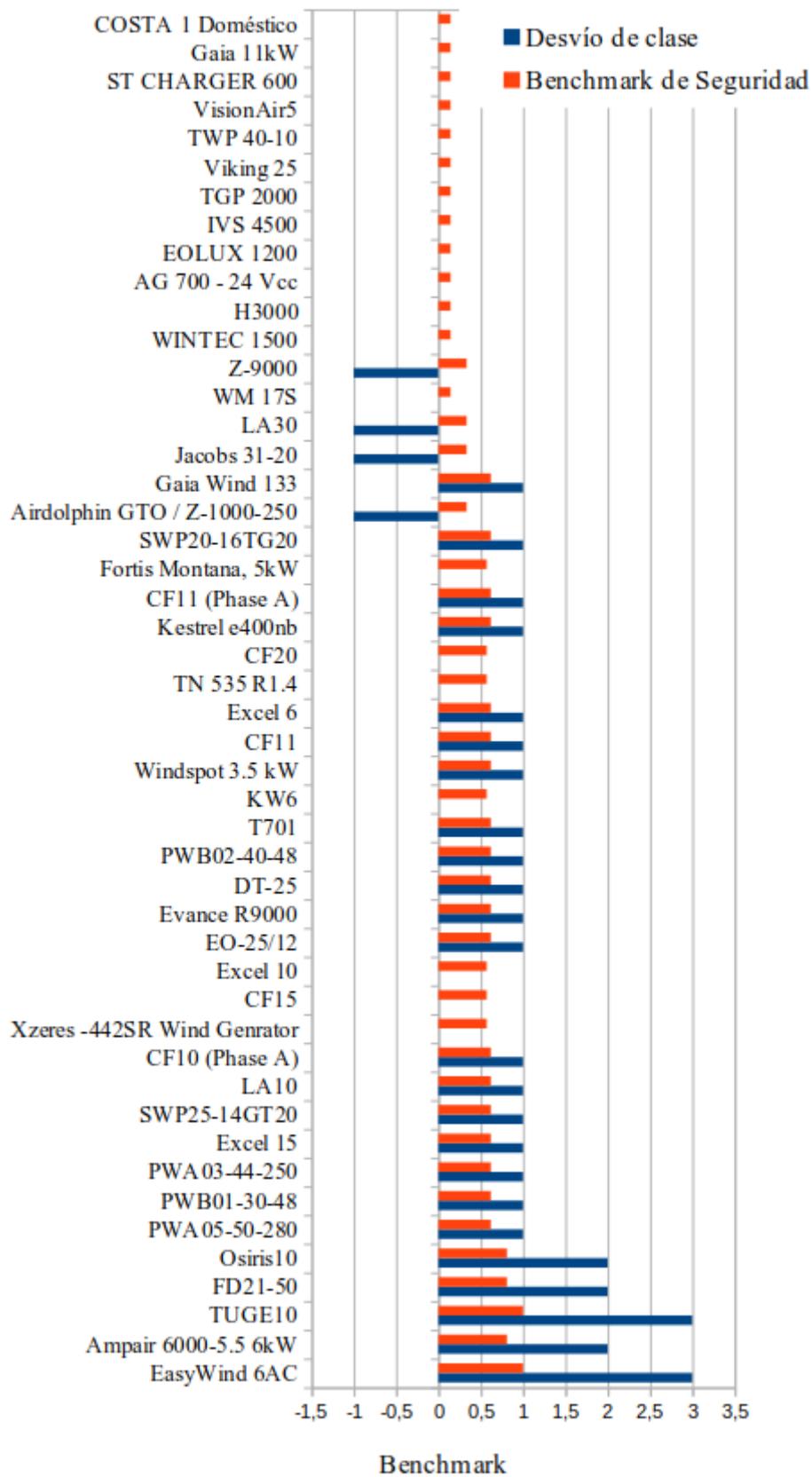


Figura 27: Benchmarking de seguridad y desvío de clase.

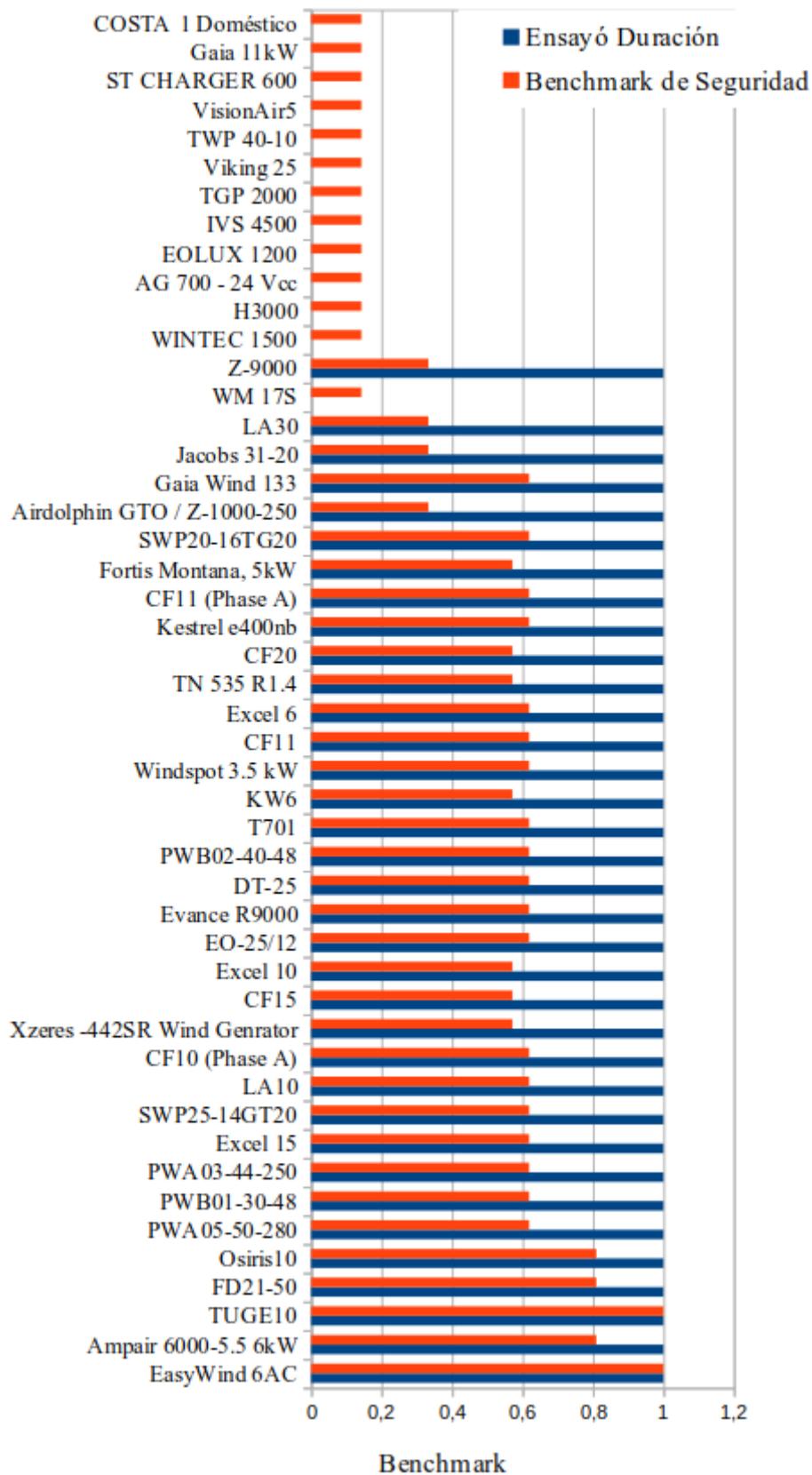


Figura 28: Benchmarking de seguridad y ensayo de duración.

4.5 Comunicación del producto

Uno de los aspectos más valorados por el esquema de ponderación de la comunicación del producto, es la disposición pública de la curva de potencia de ensayo. A partir de la muestra relevada se encontró que el 18,75% de los productos (9 de 48) no disponen de esta información. Más allá de ello varios publican versiones gráficas que no aportan información más allá de lo visual a pesar de que dispongan de resultados de ensayo o no.

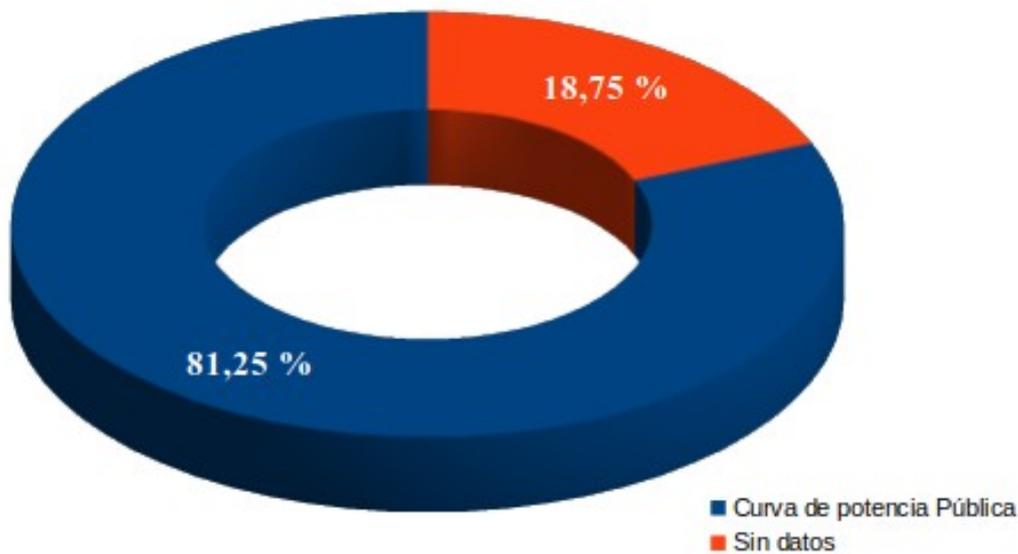


Figura 29: Proporción de aerogeneradores que publican curva de potencia en la muestra de trabajo.

Disponiendo de información relativa al funcionamiento del equipo en términos de la generación de energía carece de sentido esconder esa información salvo que demuestre que el equipo no tiene el desempeño que se promete comercialmente. Los productos que, disponiendo de resultados de ensayo no publican la curva de potencia, son potenciales fraudes y por esta razón se los penaliza en el método propuesto por este trabajo.

Se espera que un aerogenerador alcance su velocidad nominal a la velocidad de diseño, que le corresponde según su curva de potencia (clase determinada a partir del método propuesto en este trabajo). Como se detalla en 3.4.1, se penalizan las situaciones en las que no se alcanza la potencia nominal a 11 m/s, o no se alcanza nunca la potencia nominal, y en menor medida, cuando se observan desvíos por encima de la nominal. La Figura 30 detalla la influencia que tiene en la valoración de los aspectos de comunicación, el hecho de que la potencia máxima del equipo no supere a la potencia nominal informada por el fabricante. Contemplando que en esa figura los mejores aerogeneradores están abajo, se puede ver, por ejemplo el caso de Fortis Montana que con un leve desvío de potencia negativo queda por debajo de CF11 (Phase A) aún teniendo una valoración global de comunicación muy similar.

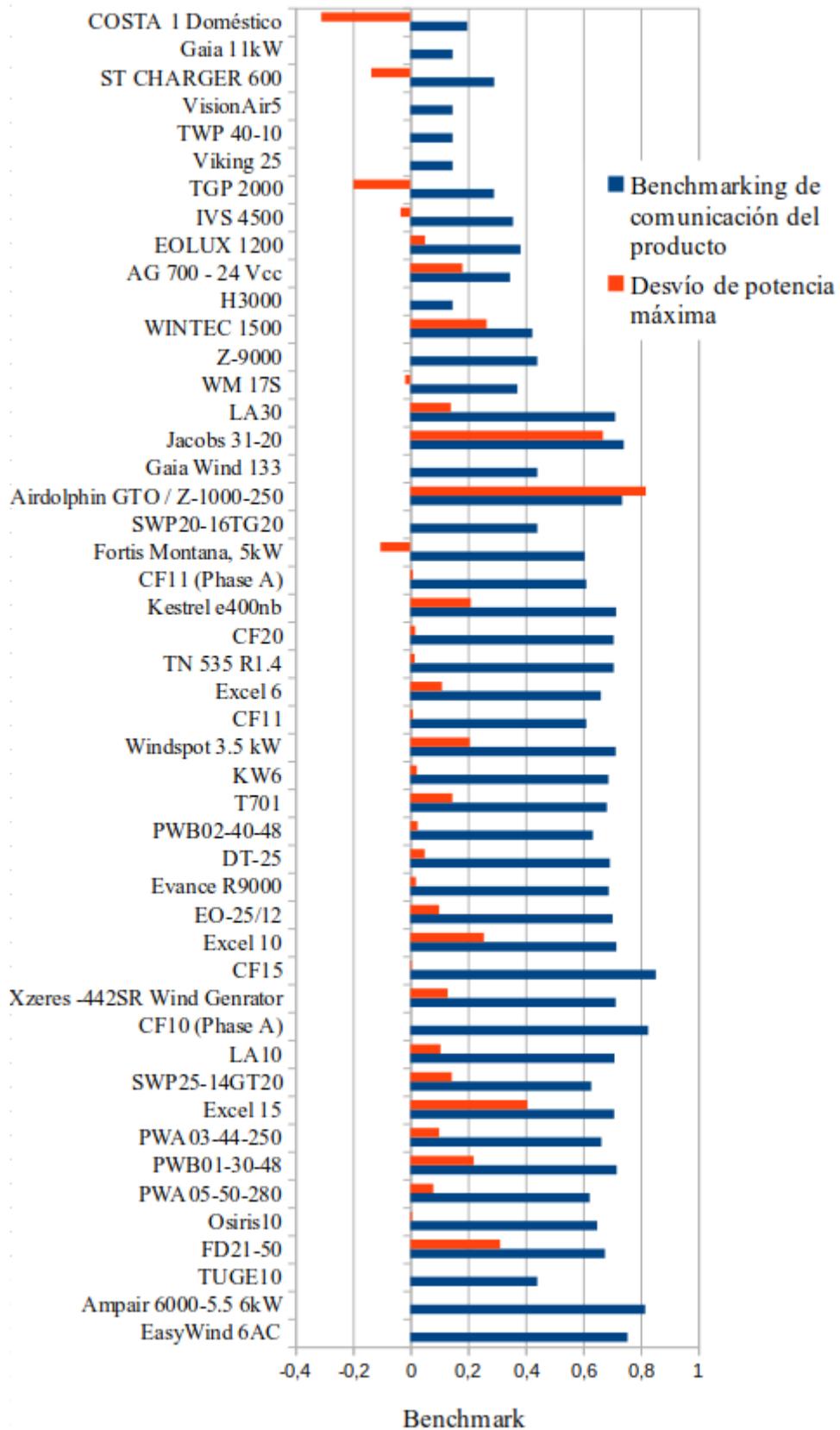


Figura 30: Benchmark de Comunicación del Producto y Desvío de potencia máxima.

4.6 Ponderación total

La ponderación global total abarca los tres ejes de valoración ya expuestos, en función de una suma ponderada como describe la ecuación 10:

$$Benchmark_{Total} = 0,2 \cdot Benchmark_{Comunicación} + 0,4 \cdot Benchmark_{Eficiencia} + 0,4 \cdot Benchmark_{Seguridad} \quad (10)$$

Como se puede observar, el *benchmark* total prefiere los aspectos de eficiencia y seguridad de igual manera, por sobre los de comunicación.

La Figura 31 representa el resultado limpio del *benchmark* total, obtenido para cada uno de los productos de la muestra de trabajo. A partir de estos resultados se han ordenado todas las figuras de las valoraciones parciales en los capítulos precedentes.

La Figura 32 muestra como se integran los aportes de los tres componentes sin ponderación. Así se puede observar que, solo en pocos casos la suma no ponderada podría ordenar de forma diferente a la ponderación total. Estas situaciones se dan por desvíos en la potencia informada y su consecuente merma en el *benchmark* de comunicación (Stcharger 600, Kestrel e 400NB Y Windspot 3,5 kW). Lo que indica que con una modificación mínima de la información que brindan de sus productos, pueden obtener una situación mejor ante esta propuesta de calificación.

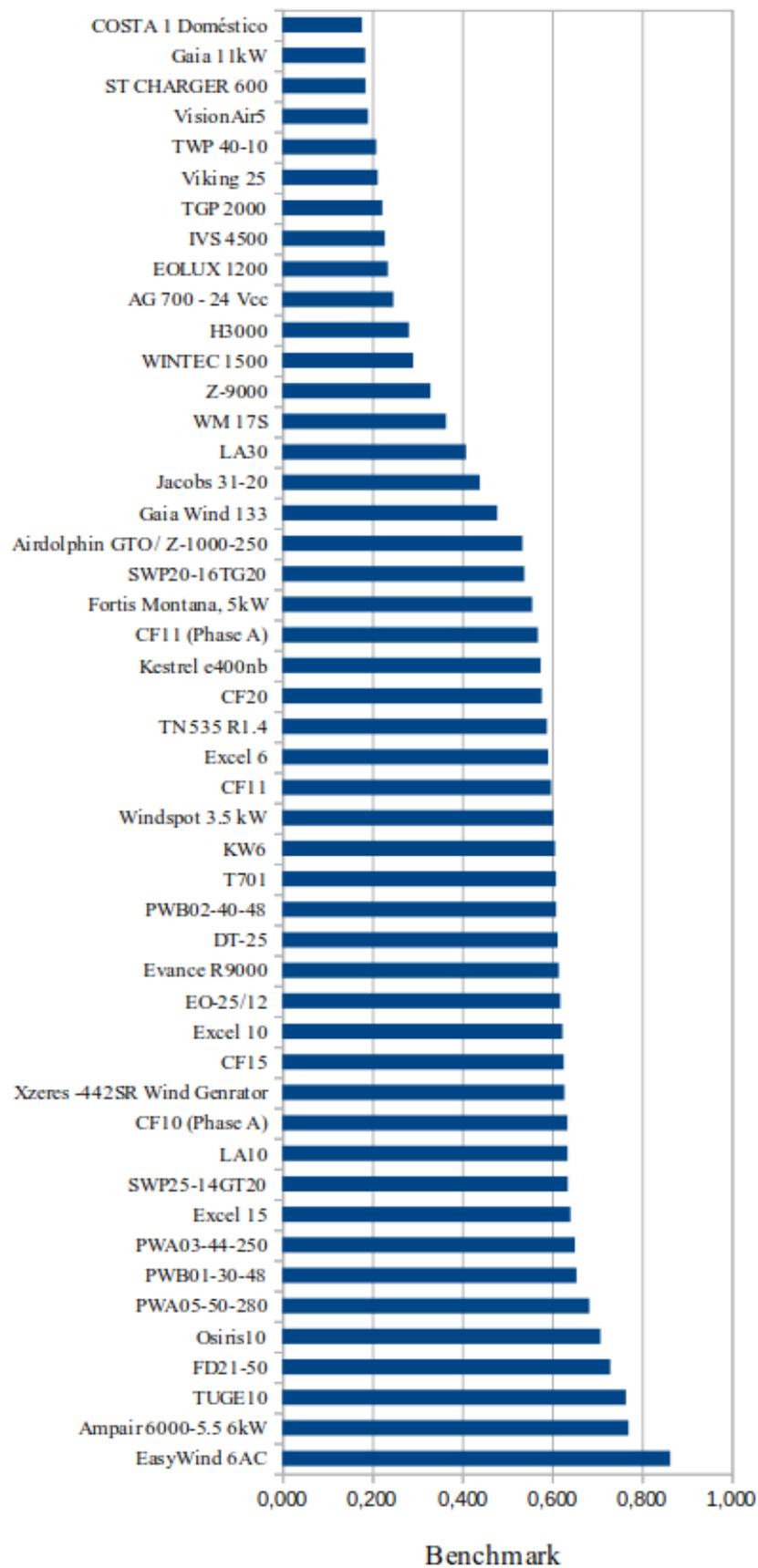


Figura 31: Benchmark total de los aerogeneradores de la muestra.

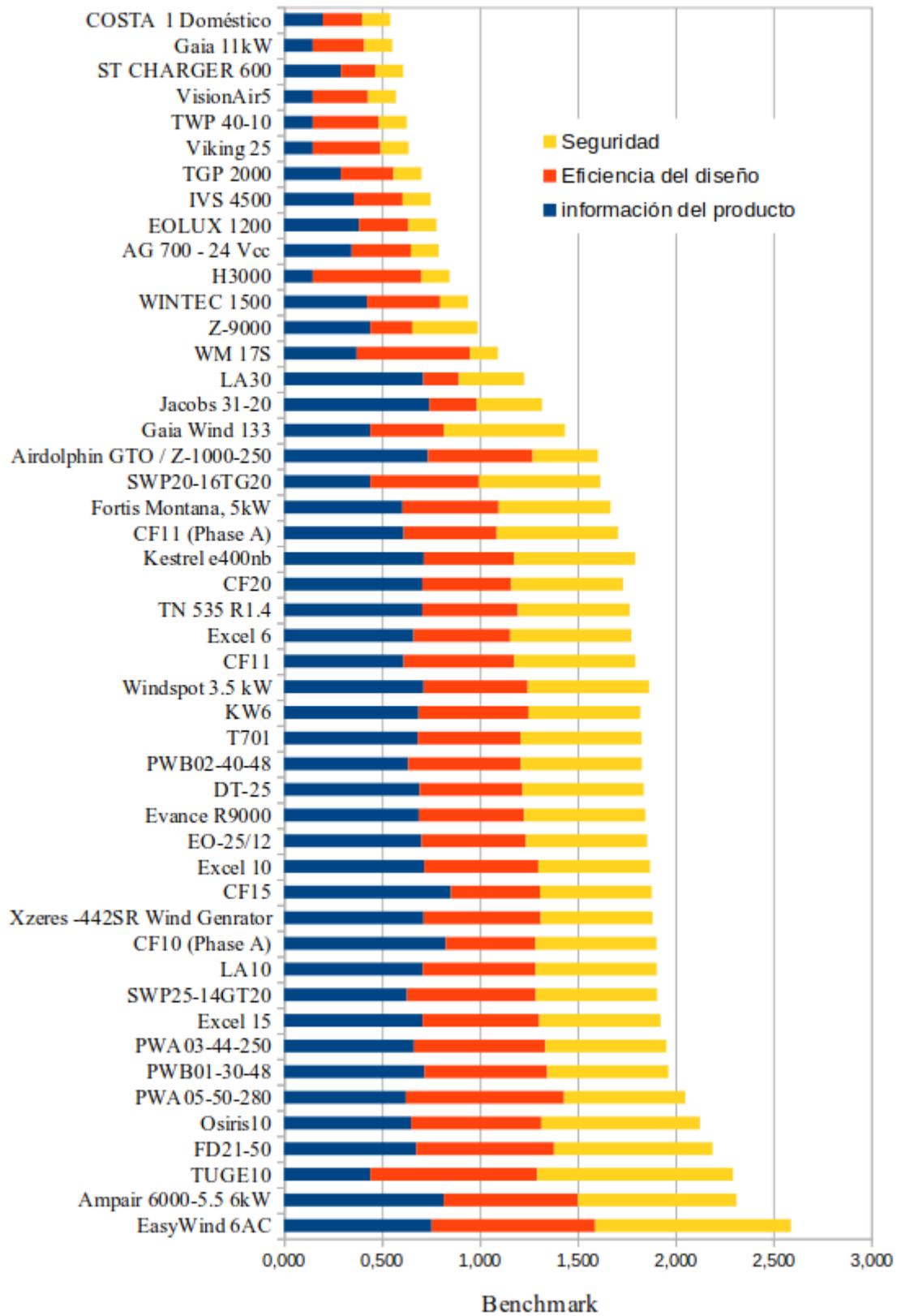


Figura 32: Apilado de los aportes parciales sin ponderación.

5 ETIQUETADO

El etiquetado propuesto por la comisión de IEA Wind Task 27 denominado “12.consumer Label for Small Wind Turbines” [2] contempla el desarrollo de un procedimiento de ensayo internacionalmente aceptado, para mejorar el desarrollo de la industria, fortalecer la confianza en la tecnología y prevenir el caos en el mercado. Este documento considera el formato que se muestra en la Figura 33 para una etiqueta que se pueda agregar en lugares visibles en el embalaje o en la documentación comercial o manual de usuario de los productos.

Test Results	
Manufacturer	Manufacturer
Model	Model
Reference Annual Energy <small>at 5 m/s average wind speed, actual production will vary depending on site conditions</small>	### kWh/yr
Declared Sound Power Level <small>at 8 m/s</small>	## dB(A)
Turbine Test Class <small>(I-IV or S for Special)</small>	II
Tested by	Test Organisation
Published Date <small>(Year-Month-Day)</small>	2011-03-04
<small>For more information, see the Task 27 section of www.ieawind.org</small>	

Figura 33: Etiqueta de muestra en inglés, formato propuesto por IEA Wind Task 27.

Este esquema requiere la realización de tres ensayos:

- Ensayo de duración por IEC 61400-2
- Ensayo de Curva de Potencia por IEC 61400-12
- Ensayo de ruido acústico por IEC 61400-11

La emisión una etiqueta queda refrendada con un informe sumario adjunto que describe los principales resultados de estos ensayos.

Para la información adicionada por este trabajo se propone la incorporación de una figura que admita una lectura comparativa rápida y de un código QR que permita el acceso al informe sumario y otros datos.

En función de los resultados elaborados se propone una ampliación de la información presentada con el formato de barras horizontales, como se ve en la Figura 34, para la comparación visual entre los valores obtenidos (azul) los ideales para cada eje (verde) y los valores promedio sectoriales (gris). Éste es un boceto del diseño que podría tener una pieza a desarrollar por un profesional del diseño gráfico.

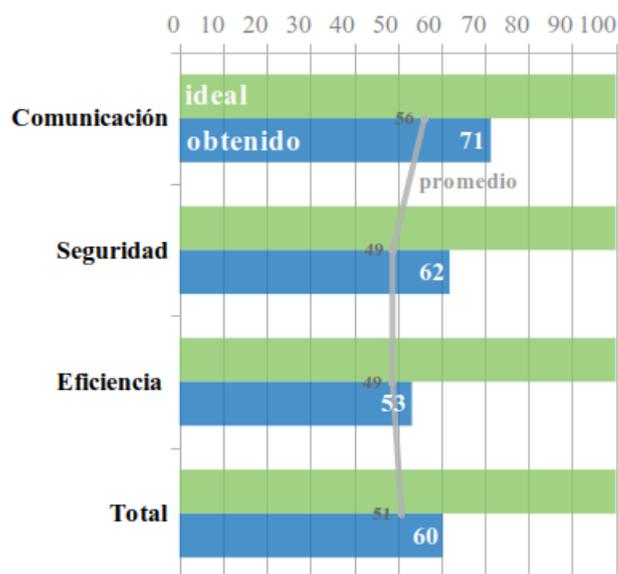


Figura 34: Boceto de gráfica para el Benchmarking de aerogeneradores en diagrama de barras.

La Figura 35 muestra una versión de diagrama de redes a partir de la misma información (si bien omite el eje totalizador) que podría simplificar la lectura.

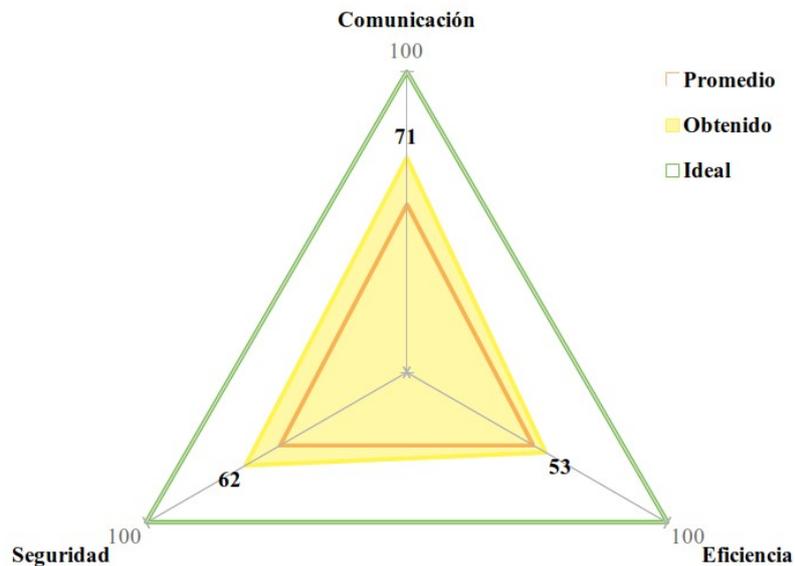


Figura 35: Boceto de gráfica para el Benchmarking de aerogeneradores en diagrama de redes.

Una figura de código QR permitiría acceder a una página *web* determinada, a partir del reconocimiento del patrón con que se puede hacer con la cámara de un teléfono celular. El contenido de dicha *web* debería incorporar de forma visible una imagen de la etiqueta que corrobore el contenido presentado a los fines de eludir posibles fraudes. Asimismo, podría incorporar el informe sumario de ensayo que da origen a la etiqueta.

Las figuras 36 y 37 muestran como se puede integrar estas propuestas a la etiqueta según el formato brindado por la norma. Sin duda, una versión que se lleve adelante en la práctica debería incorporar el trabajo de especialistas en comunicación gráfica, cuyo trabajo no se pretende sustituir.

Resultados de Ensayo	
Fabricante	Fabricante
Modelo	Modelo
Energía anual de referencia <small>a velocidad media del viento de 5 m/s, la producción real puede variar dependiendo de las condiciones del sitio</small>	### kWh/año
Nivel de potencia del Sonido <small>a 8 m/s</small>	## dB(A)
Clase del ensayo <small>(I-IV o S para casos especiales)</small>	II
Ensayado por	Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)
Fecha de publicación <small>(Año-Mes-Día)</small>	2018-10-13
<small>Para mayor información visite</small>	www.inti.gob.ar/neuquen

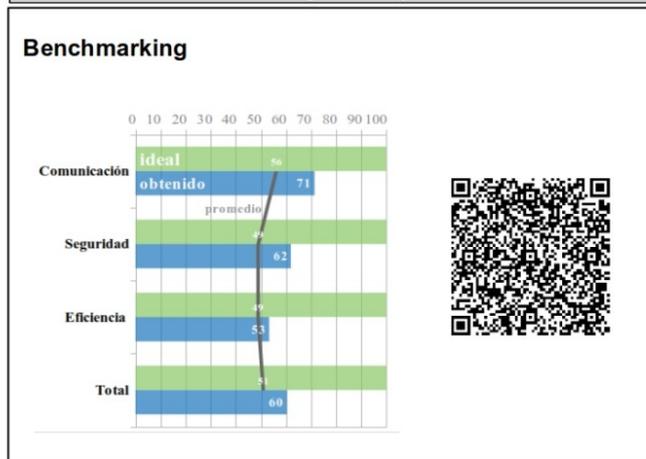


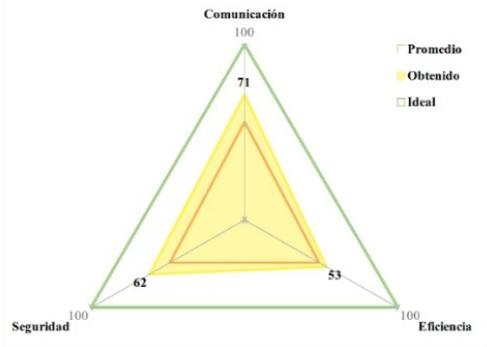
Figura 36: Etiquetado resultante con la incorporación de gráfico de barras y los elementos propuestos por este trabajo.

Resultados de Ensayo	
Fabricante	Fabricante
Modelo	Modelo
Energía anual de referencia <small>a velocidad media del viento de 5 m/s, la producción real puede variar dependiendo de las condiciones del sitio</small>	### kWh/año
Nivel de potencia del Sonido <small>a 8 m/s</small>	## dB(A)
Clase del ensayo <small>(I-IV o S para casos especiales)</small>	II
Ensayado por	Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)
Fecha de publicación <small>(Año-Mes-Día)</small>	2018-10-13
<small>Para mayor información visite</small>	www.inti.gob.ar/neuquen

URL del informe de ensayos



Desempeño de producto



Categoría	Obtenido	Promedio	Ideal
Comunicación	71	~85	100
Seguridad	62	~75	100
Eficiencia	53	~65	100

Figura 37: Etiqueta resultante con la incorporación de diagrama de redes y los elementos propuestos por este trabajo.

6 CASO DE REFERENCIA: Windspot 3.5 kW

Fabricado por la empresa Sonkio, este aerogenerador de eje horizontal, tiene tres aspas fabricadas en fibra de vidrio, generador sincrónico de imanes permanentes y regulación de paso de las aspas por fuerza centrífuga. Este modelo es upwind y se orienta de modo pasivo con veleta de cola, también construida en fibra de vidrio, como se ve en la Figura 38.

El generador eléctrico tiene 250 RPM nominales, lo que garantiza un bajo nivel de emisión de ruido. El área barrida por las aspas tiene un diámetro de 4,05 m y en total pesa 185 kg. El fabricante sugiere alturas de montaje entre 9 y 18 m.

Si bien es INTERTEK el Organismo de Certificación que emite los informes y la etiqueta de consumidor, este equipo fue ensayado por el CEDER-CIEMAT en Soria, España. Cuenta con etiquetado IEA Wind – IEC 61400-2 para clase 1, aunque los resultados del análisis del diseño lo definen para un aerogenerador clase 4. Evidentemente, a pesar de haber sido diseñado para satisfacer los requisitos de velocidades de viento inferiores, distintos factores favorecen que pase un ensayo de Duración exitosamente en un sitio con velocidades de viento mucho mayores. Los factores de seguridad, aplicados a los cálculos de selección de los materiales y a las cargas previstas, podrían garantizar la supervivencia, sumados a otros factores aleatorios relativos al ensayo o a las características de los componentes. Por último, con esa salvedad aclarada en el informe un laboratorio de referencia a nivel global, que trabaja en un sistema de calidad de laboratorios ISO 17025 acreditado, define a partir del conocimiento del criterio técnico de sus especialistas que el equipo cumple con los requerimientos para ser etiquetado como clase 1 por lo que no es necesario validar nuevamente esa definición.



Figura 38: Imágenes Windspot 3.5 kW.

El informe de ensayo presenta una descripción detallada de sus características, como se ve en la siguiente tabla:

INFORMACIÓN GENERAL

Nro. de serie	001761
Fabricante	SONKYO ENERGY
Modelo	WINDSPOT 3.5
Tipo	Eje horizontal
Año de producción	2011
Propietario	SONKYO ENERGY
Fecha de instalación	04/10/2011
Fecha de primer operación	28/10/2011

PARÁMETROS DE DISEÑO

Potencia nominal	3,5 kW
Velocidad del viento a potencia nominal	12 m/s
Velocidad del viento de diseño	14 m/s
Regulación de potencia	Control de paso centrífugo y amortiguado
Cut-in Wind Speed	3 m/s
Cut-out Wind Speed	No

ROTOR

Posición (Upwind o Downwind)	Upwind
Diámetro de rotor	4,1 m
Distancia horizontal desde el centro del rotor hasta el eje de la torre	0,3 m
Velocidad de rotación nominal	250 rpm
Rango de velocidad rotacional	0-300 rpm
Área barrida	13,2 m ²
Orientación	Sistema pasivo: veleta de cola

ASPAS

Numero de aspas	3
Fabricante	Sonkyo energy
Identificación del set	001761
Modelo	Diseñado por el fabricante
Pitch	Pich variable pasivo
Ángulo de Pitch	Fijo
Material	Polyester/Fibra de vidrio
Largo	1,75 m

GENERADOR

Fabricante	GINLONG
Modelo	GL-PMG-3500
Tipo	PMG SINCRÓNICO
Velocidad nominal [r.p.m.]	250
Nro. de fases / V_{out}	3 fases, 400V _{ac}
Nro. de polos	20
Potencia nominal [W]	3500
Inercia del rotor [Kg.m ²]	0.066
Resistencia de fase [Ohms]	2.7

TORRE

Tipo	Tilt-up tubular
Altura	18,15 m

SISTEMA DE CONTROL

Dispositivo	Inversor: Power-one Aurora
-------------	----------------------------

Versión del software	Aurora Installer v.3.1.4
Señales de estado	Ninguna

CONEXIÓN

Interconectado	
Tensión y tolerancia [V]	230 ± 5 %
Frecuencia y tolerancia [Hz]	50 ± 2.5 %

REGULADOR DE TENSIÓN

Fabricante	GINLONG Technologies
Modelo	W4G-20K
Nro. de serie	001761
Tensión Nominal	V _{max} = 500 V AC

INVERSOR

Fabricante	POWER ONE
Modelo	PVI-4.2-OUTD-FR-W
Nro. de serie	655094
Potencia Nominal	4,2 kW
Eficiencia	≈ 95%
Método de ajuste	Algoritmo MPPT
Resistencia entre el inversor y la carga *	0,004 Ohms

* Se ha medido con un multímetro entre los extremos del cable cuya longitud era de alrededor de 1 m.

RESISTENCIA DE DESCARGA

Rango de tensión	400 V _{DC}
Potencia activa	4 kW

AJUSTES DE TENSIÓN

Sobre tensión	245V
Tensión mínima	200V

CONEXIÓN ELÉCTRICA

Tipo	RZ1-K (AS)
Tensión	0,6 / 1 KV
Conductor	Cobre, cable flexible
Aislante	Cross-linked Polyethylene, XLPE
Dimensiones	4x16 mm ² / 52 m de largo

Examinando la curva de potencia normalizada y sus ideales de Betz en la Figura 39 se puede apreciar que en este caso la cercanía con el caso de clase 2 (curva color rojo).

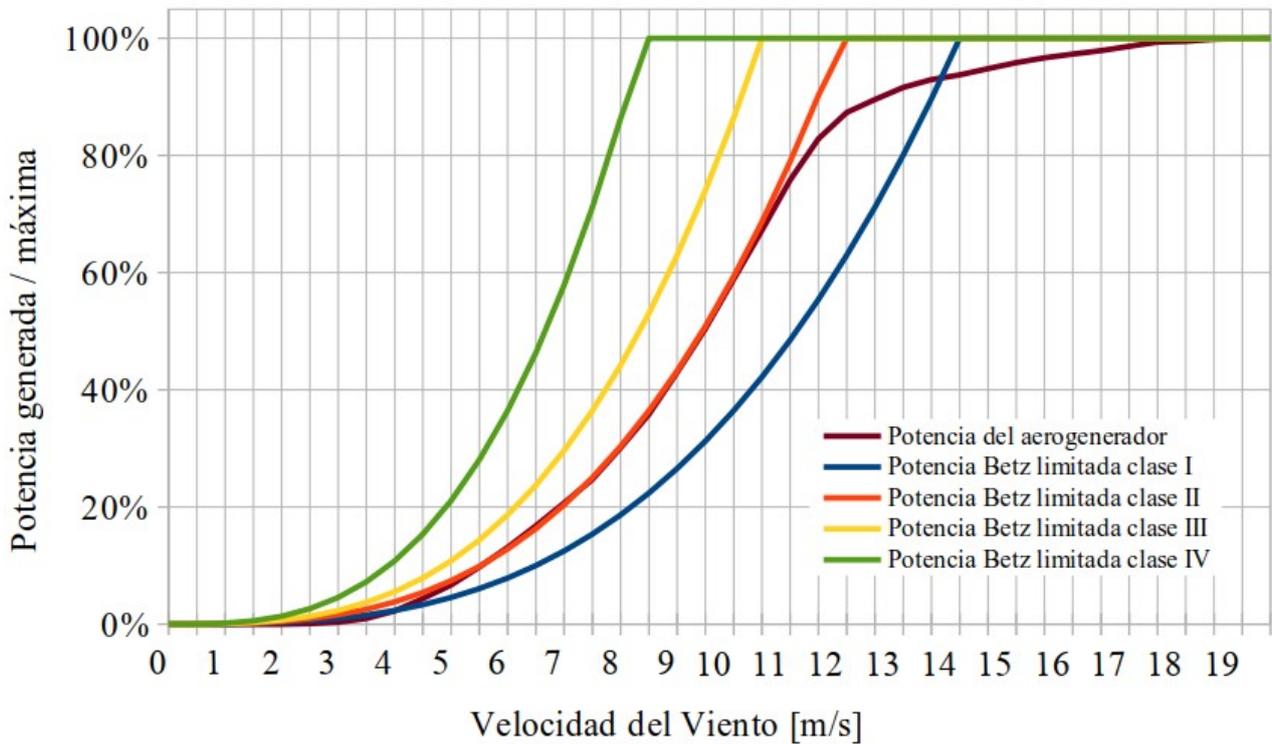


Figura 39: Curva de potencia del Windspot 3.5kW y sus ideales de Betz normalizadas a potencia máxima.

Así mismo se observa en la Figura 40 como el método resulta en resultados coherentes definiéndose como un caso de clase 2 determinada por el método propuesto, por ser el que menor desvío presenta en el barrido lateral.

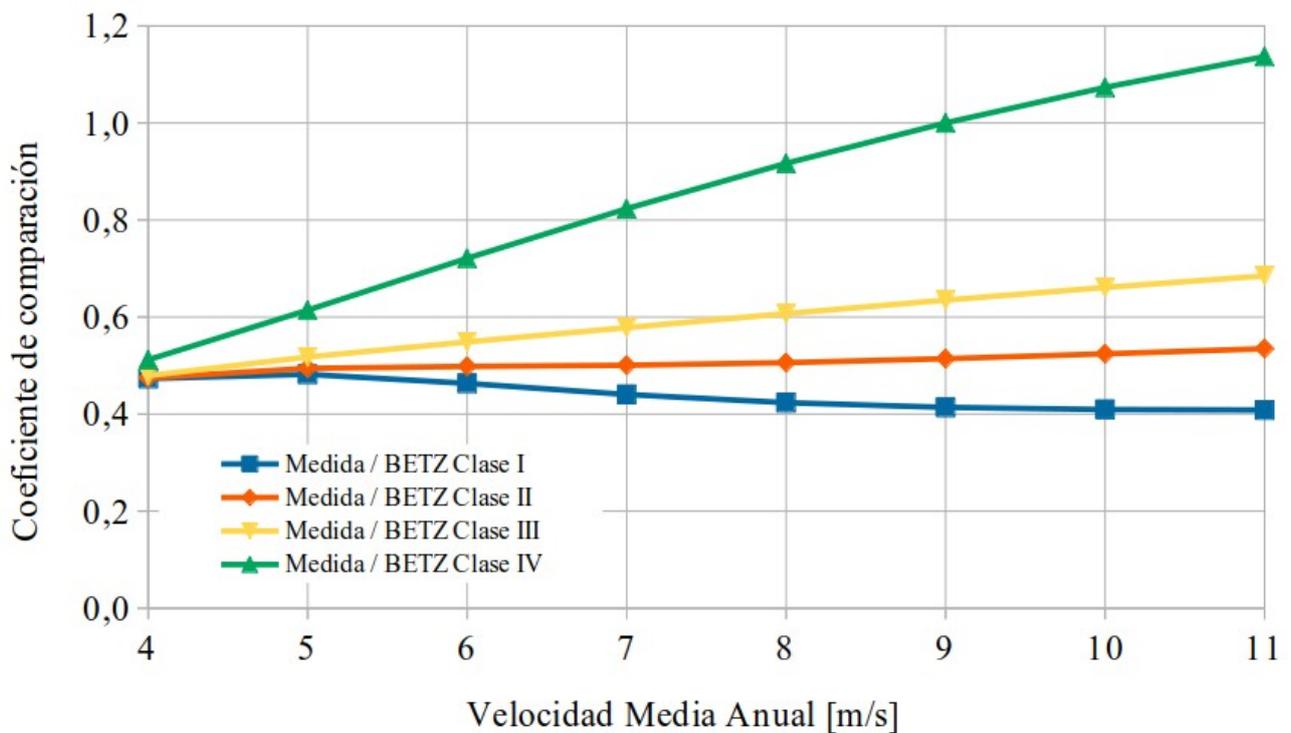


Figura 40: Coeficientes de comparación de clase Windspot 3.5 kW.

Si este aerogenerador hubiera resultado clasificado por su ensayo de Duración como un equipo clase 4, se hubiera dado un caso muy singular de desvío desfavorable, con una diferencia de -2 entre clases. Aquí reside la relevancia que tiene que el equipo cuente con un ensayo de Duración para clase 1, como el que obtuvo. De este modo, queda entonces un equipo con un desvío +2, que requiere de velocidades de viento menores a las que está certificado puede soportar estructuralmente.

Su curva de CP, conforme a lo que se obtuvo de su informe de ensayo muestra un valor máximo de 0,32 a 6,5 m/s, como se puede apreciar en la Figura 41.

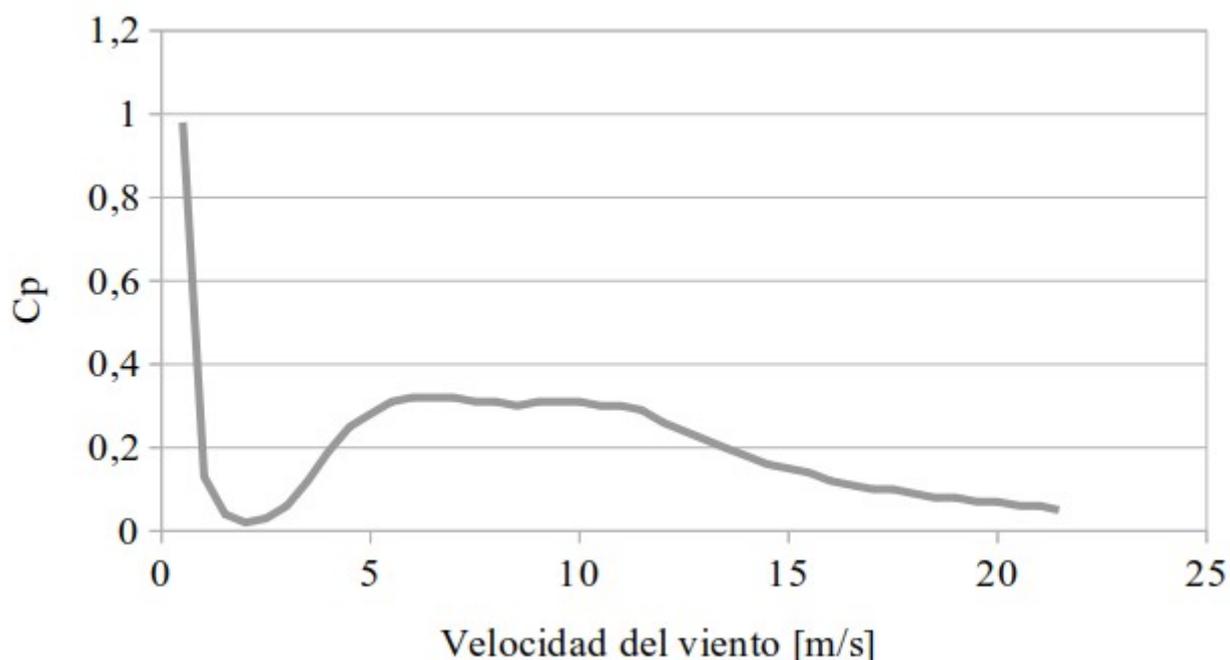


Figura 41: Cp del Windspot 3.5 kW.

La Tabla 19 resume los datos de EAP obtenidos del informe de ensayo de curva de potencia IEC 61400-12 y el equivalente para su ideal de betz para cada clase.

Modelo	Potencia Nominal [kW]	Radio de rotor [m]	Clase según informe	EAP [kWh]							
				4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s
Windspot 3.5 kW	3,5	2,05	1	2.447	4.824	7.748	10.828	13.713	16.151	18.003	19.243

Tabla 19: Energía anual generada Windspot 3.5 kW.

A continuación se reseña el detalle de los cálculos realizados en el marco del método propuesto, para el *Benchmarking* de cada uno de los tres aspectos desarrollados y del global.

La Tabla 20, agrega las EAP obtenidas para los ideales de Betz.

	Velocidad media anual [m/s]							
	4	5	6	7	8	9	10	11
EAP Medida [kWh/año]	2.447	4.824	7.748	10.828	13.713	16.151	18.003	19.243
EAP BETZ Clase I [kWh/año]	5.172	10.008	16.724	24.584	32.374	39.022	43.964	47.117
EAP BETZ Clase II [kWh/año]	5.156	9.758	15.551	21.627	27.105	31.411	34.344	35.983
EAP BETZ Clase III [kWh/año]	5.106	9.320	14.120	18.724	22.590	25.442	27.239	28.100
EAP BETZ Clase IV [kWh/año]	4.779	7.853	10.747	13.151	14.958	16.150	16.775	16.928

Tabla 20: EAP según informe y de los equivalentes ideales de Betz para Windspot 3.5 kW.

Coeficiente de comparación	Velocidad media anual [m/s]								Desvío Estándar	Promedio
	4	5	6	7	8	9	10	11		
Medida / BETZ Clase I	0,473	0,482	0,463	0,440	0,424	0,414	0,409	0,408	0,030	0,439
Medida / BETZ Clase II	0,475	0,494	0,498	0,501	0,506	0,514	0,524	0,535	0,019	0,506
Medida / BETZ Clase III	0,479	0,518	0,549	0,578	0,607	0,635	0,661	0,685	0,071	0,589
Medida / BETZ Clase IV	0,512	0,614	0,721	0,823	0,917	1,000	1,073	1,137	0,222	0,850

Tabla 21: Coeficiente de comparación Windspot 3.5 kW.

La Tabla 21 muestra los valores graficados en la Figura 40 y demuestra que para clase 2 el desvío estándar es menor (0,019) y que, en promedio, el aerogenerador alcanza un 0,506 de su ideal de Betz.

La valorización de los aspectos que dan forma al polinomio de *Benchmarking* para la eficiencia, conforme a lo señalado en 3.2.1, se pueden observar en la Tabla 22

EFICIENCIA			
Situación	Factor de ponderación	Cuantificación	Resultado Ponderado
Clase determinada igual a clase ensayada	10	0,00	0,00
Clase determinada mayor a clase ensayada	20	0,33	6,67
Clase determinada menor a clase ensayada	-1	0,00	0,00
EAP medida vs Betz	50	0,51	25,29

Tabla 22: Cálculo del puntaje para eficiencia energética del Windspot 3.5 kW.

El hecho de que la clase determinada por el método sea mayor que la del ensayo configura un aporte significativo que se agrega a la proporción entre la EAP de Betz y la medida.

EFICIENCIA DEL DISEÑO			
Clase Resultante	Puntaje máximo	Puntaje total	Benchmarking de eficiencia
2	60,00	31,96	0,53

Tabla 23: Componentes del Benchmarking de eficiencia.

La Tabla 23 muestra la composición de los datos de cálculo del *Benchmarking* de eficiencia, el valor total es, como se detalló en 3.2.1, el cociente entre el puntaje obtenido y el máximo posible, para el caso en que la clase determinada es igual a la de ensayo y el coeficiente de comparación igual a uno.

Para seguridad se puede apreciar el aporte central que hace la realización de ensayo de duración y de curva de potencia, junto a, nuevamente, la diferencia de clase positiva. Un aerogenerador de clase 1 por el ensayo de duración que genera energía por clase 2 es una buena situación desde el punto de vista de la seguridad.

SEGURIDAD

Situación	Factor de ponderación	Cuantificación	Ponderado
Ensayó curva de potencia	10	1	10
Ensayó Duración	20	1	20
Clase determinada igual a clase ensayada	10	0,00	0
Clase determinada mayor a clase ensayada	40	0,33	13,33
Clase determinada menor a clase ensayada	-20	0,00	0

Tabla 24: Cálculo del puntaje para el Benchmarking de seguridad del Windspot 3.5 kW.

SEGURIDAD

Clase Resultante	Puntaje máximo	Puntaje total	Benchmarking de seguridad
2	70	43,33	0,62

Tabla 25: Componentes del Benchmarking de seguridad del Windspot 3.5 kW.

La composición final del *benchmark* de seguridad implica, como en los demás casos, el cociente entre el puntaje obtenido en la Tabla 25 y el máximo posible.

La Tabla 26 muestra el cálculo del polinomio de ponderación para la obtención del puntaje de comunicación del producto. Los principales aportes en este equipo lo hacen la disponibilidad de ensayos de duración y curva de potencia, además de la publicación de estos datos. Por otro lado, la obtención de valores de potencia a velocidad de diseño y de potencia máxima por encima de la nominal (ver Tabla 27) lo penalizan con cuantificaciones negativas que al resultado ponderado solo le agregan un valor poco incidente.

Comunicación del producto			
Situación	Factor de ponderación	Cuantificación	Resultado Ponderado
Ensayó curva de potencia	10	1	10
Publica curva de potencia	10	1	10
Publica Curva de potencia tabulada	8	1	8
Potencia a $V_{diseño}$ igual a potencia nominal	10	-0,05	0,5
Potencia a $V_{diseño}$ menor a potencia nominal	20		
Potencia a $V_{diseño}$ mayor a potencia nominal	-10		
Potencia máxima igual a la nominal	10	-0,21	2,06
Potencia máxima menor a la nominal	20		
Potencia máxima mayor a la nominal	-10		
Ensayó Duración	10	1	10
Publica clase	10	1	10

Tabla 26: Cálculo del puntaje obtenido para comunicación del producto para el Windspot 3.5 kW.

La Tabla 27 muestra el resumen de los datos y resultados utilizados en el cálculo del puntaje total y el *Benchmarking* obtenido para el caso de comunicación del producto.

COMUNICACIÓN DEL PRODUCTO									
Curva de potencia pública	Publica Clase	Potencia a $V_{diseño}$	Nominal vs $V_{diseño}$	Potencia Máxima	Nominal vs Máxima	Desvío de potencia declarada	Puntaje máximo	Puntaje total	Benchmarking de comunicación
Si	Si	3,688	105,37%	4,223	120,65%	20,65 %	68,00	50,60	0,74

Tabla 27: Benchmarking de comunicación del producto Windspot 3.5 kW.

El *Benchmarking* global se compone de lo parciales y la Figura 42 presenta estos resultados en contraste con los ideales y los valores promedio de la muestra de trabajo en función de la estructura gráfica propuesta para añadir al etiquetado de consumidor IEC 61400-2. Como se puede apreciar este producto supera al promedio en los tres ejes considerados, pero el factor de eficiencia, dominado por un coeficiente de comparación de clases de 0,506 y con una diferencia de +1 entre clases, domina el puntaje general, mitigando los 0,71 obtenidos para comunicación del producto.

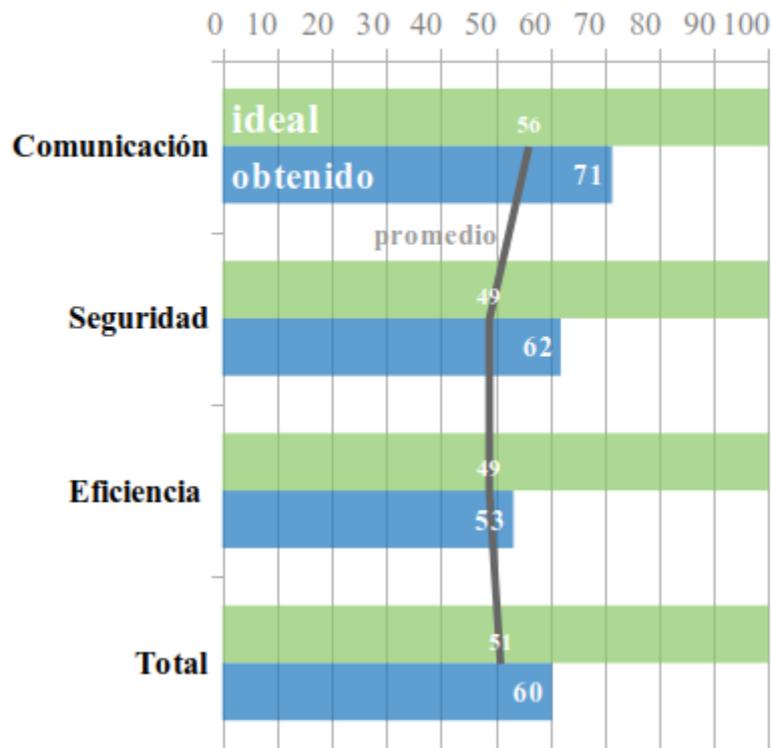


Figura 42: Gráfico con formato para etiquetado complementario Windspot 3.5 kW.

7 DISCUSIÓN

El método hallado para la identificación del desempeño de curva de potencia refleja resultados de los ensayos de Duración según IEC 61400-2 y de curva de potencia según IEC 61400-12. Este aspecto se considera una fortaleza de este método por el hecho de configurarse a partir de datos elaborados independientemente y de forma estandarizada y normalizada. Sin embargo, esto mismo podría considerarse un inconveniente ya que la falta de disponibilidad de datos no implica que los equipos no hayan sido ensayados. Podría incurrirse en errores e injusticias, tanto en la consideración de cada caso en particular como de la posición que adoptan vistos como un ranking.

Para los resultados de eficiencia, se aprecia que es central el aporte que hace el promedio del cociente entre la EAP del ideal de Betz y el valor obtenido en el ensayo, y que la EAP del ideal de Betz tiene una fuerte dependencia del diámetro de rotor considerado. Esto se considera una debilidad puesto que, en eólica de baja potencia no se valora tanto como en alta potencia el tener un rotor de mínimas dimensiones, y es usual (y hasta deseable) el sobredimensionamiento de ciertos componentes del aerogenerador.

El aporte que hacen a la valoración de la eficiencia la diferencia entre las clases de ensayo y obtenida por el método, no es significativo, salvo en el caso de diferencias negativas, esto se considera una fortaleza del método propuesto y por lo tanto se le dio importancia en el resultado ponderado.

Desde el punto de vista de seguridad, la disponibilidad de ensayos de duración y curva de potencia y la publicación de los resultados hace un aporte central en la calificación otorgada, esto es por el enfoque de este trabajo con fuerte apego a la actividad de los laboratorios de ensayo como únicas fuentes de resultados útiles en la valoración de productos en el mercado.

Por otra parte, la situación configurada por diferencias de clase negativas, es de gravedad y se penalizan tales casos con severidad por lo que se entiende podrían poner en riesgo a los bienes y las personas. Aunque no se considera en detalle si en esos casos el resultado informado refleja una decisión de abreviar el plazo de ensayo de duración o algún otro criterio del laboratorio por el cual se emitan resultados que no concuerden con la real capacidad de un equipo para soportar velocidades de viento mayores.

En cuanto a la comunicación del producto, la realización de ensayos y, en este caso, además la publicación de los mismos configuran el principal aporte a este eje. En contra de este criterio podría sostenerse que si no se cuenta con datos no se puede concluir a favor o en contra de un producto, pero desde el punto de vista propuesto es preferible tener datos de medición a no contar con ellos, y

que de tenerlos el hecho de no publicarlos es un hecho grave, puesto que podrían esconderse por deslealtad comercial, para evitar que se conozca que el aerogenerador no aporta energía al nivel de las expectativas que podría generar el precio por el que se paga.

También es relevante desde el punto de vista de la comunicación, que haya diferencias entre la potencia máxima y la obtenida a velocidad del viento de diseño, respecto de la nominal. Se considera significativo y valioso el aporte que hace la AWEA, y luego el mismo etiquetado IEA Wind, al estandarizar la velocidad de viento a la que se informan los principales resultados en 5 m/s. Sin embargo, la incorporación de la velocidad de diseño que le corresponda al equipo por su clase, permite mejorar sensiblemente la valoración del desvío de la potencia nominal para cada caso. A diferencia, de establecer un valor fijo, uno que se adapte a cada clase brindaría al consumidor mejor información y, por otro lado, es más justo con cada producto.

Por otro lado, los casos en que la potencia máxima no alcanza la nominal son los que se penalizan con mayor severidad desde el punto de vista propuesto. Estos casos son pocos, pero configuran en sí un acto de deslealtad comercial grave.

Para el *Benchmarking* global se aplica un coeficiente que pondera a la comunicación del producto por la mitad de lo que pondera a eficiencia y seguridad. Estos coeficientes podrían ser modificados fácilmente para configurarse a la preferencia de un servicio *web* de *Benchmarking* Online. Sin embargo, se considera que esa ponderación es valiosa para la mayoría de los usuarios a la vez que se incorpora información de cada eje por separado.

En el *Benchmarking* global, se observa que los casos de los desvíos más significativos de los promedios de la muestra de trabajo están afectados por el desvío de clases, el coeficiente de comparación de las EAP, el área del rotor informada y en menor medida la potencia nominal declarada por el fabricante. Una corrección de datos de potencia nominal, o el ajuste del área del rotor podrían mejorar el *benchmarking* para esos productos, lo cual estaría bien visto desde el punto de vista de este método, pero podría ser reprochable desde otros enfoques.

8 CONCLUSIONES

Con el objetivo de brindar información necesaria para que un usuario final sin conocimientos técnicos específicos tenga la posibilidad de seleccionar un aerogenerador de baja potencia, en este trabajo se desarrolló una propuesta de etiquetado con información comparativa que complementa a la propuesta por la norma IEC 61400-2, que abarca cuatro ejes: eficiencia, seguridad, comunicación del producto y costo siguiendo un enfoque de *Benchmarking*.

Para ello, se elaboró un método para calificar cuantitativamente el desempeño en base a los tres primeros aspectos y se propuso una etiqueta con esta información para simplificar el proceso comparativo de productos a un potencial consumidor. De esta forma se despliega el valor aportado por los esquemas de *Benchmarking*, brindar herramientas de comparación configurables a las preferencias del usuario que simplifiquen el análisis en un sólo índice o un *ranking*.

Además, se desarrolló una estrategia de definición de la clase del aerogenerador adicional a las definidas por la norma (clase de ensayo y clase de diseño), que favorece el análisis de varios aspectos.

Para la elaboración de resultados se conformó dos listados de productos, en base a fuentes disponibles libremente en la *web* y a listados que se debió generar a partir de datos presentados por especialistas en congresos y reuniones técnicas del sector, y de catálogos que se adquirieron a los fines de este trabajo. De este análisis se obtuvo información de 241 equipos del cual se seleccionaron 48 los cuales cuentan con ensayos elaborados por laboratorios acreditados e independientes. Por fuera de este listado, existen varios casos, como los productos españoles de Enair y Bornay para los cuales no obtuvieron datos de ensayo pero se conoce que han pasado por laboratorios en más de una ocasión. Debe considerarse que la falibilidad en el acceso a la información de ensayo limita el alcance de la herramienta propuesta.

Se aplicó el método desarrollado a los 48 aerogeneradores y se elaboró un *ranking* de basado en el *Benchmarking* que pondera en distinto grado a los tres aspectos antes mencionados: eficiencia, seguridad y comunicación del producto.

A partir de estos resultados, se identifica que los equipos de origen nacional que cuentan con los ensayos que brinda INTI en su laboratorio de la ciudad de Cutral Có, no contando a la fecha con ensayos de duración concluidos e informados públicamente se encuentran por el momento en una situación desfavorable frente a otros productos que se desempeñan similar en otros aspectos.

Asimismo, se puede observar que existen dos productos que se destacan por tener el mayor desvío favorable de clases +3, tres equipos desvío de clases +2, un nutrido grupo de 18 productos con +1 y seis equipos con desvío de clase cero. Solo cuatro con desvío negativo de clases -1.

El *ranking* que elaborado a partir del *Benchmarking* global, muestra una diferencia notable entre los aerogeneradores para los que no se obtuvieron datos de ensayo completos respecto del resto. Cabe destacar, que todos los resultados comparación aquí mostrados tienen el espíritu de mostrar las virtudes y defectos del método y de ningún modo podrían tomarse como base para la descalificación de algún producto bajo ninguna circunstancia. Solo el hecho de solicitar uno por uno a cada fabricante datos de ensayo y sus reportes puede modificar significativamente los resultados mostrados.

La elaboración de cualquier *ranking* concibe injusticias que este trabajo no pretende saldar, y que por el carácter de facilitación de recursos desde la perspectiva del consumidor, de fácil acceso e interpretación para el uso eventual, dejan lugar para asumir que sea admisible el grado de error implicado siempre que se hagan aclaraciones pertinentes a fabricantes y consumidores.

Un esfuerzo posterior en el sentido de este trabajo, podría incluir el desarrollo de una plataforma *web* que admita el cálculo en línea de todo el método, la personalización del perfil de *Benchmarking* y la incorporación de herramientas de comparación de costos de productos.

BIBLIOGRAFÍA

1. World Wind Energy Association (2017). Small Wind World Summary Report. <https://wwindea.org/blog/2017/06/02/wwea-released-latest-global-small-wind-statistics/>
2. IEC 61400-12.1 (2017). Power performance measurements of electricity producing wind turbines.I
3. EA Wind Task 27 (2011). Recommended Practices For Wind Turbine Testing And Evaluation – 12. Consumer Label For Small Wind Turbines. España.
4. INTERTEK (2019). <http://www.intertek.com/wind/directory/>
5. UL (2019). <http://productspec.ul.com/index.php>
6. WWEA (2019). <http://small-wind.org/quality/labels/>
7. INTI (2019). <http://www.inti.gob.ar/neuquen/index.php?seccion=fortalecimiento>
8. SWCC (2019). <https://smallwindcertification.org/certified-small-turbines/>
9. Baring-Gould, Fields (2016). Built-Environment Report Summary. NREL. Small Wind Conference.
10. FOLKECENTER (2019). <http://www.folkecenter.eu/pages/Small-wind-turbine-catalogue.html>
11. EGV (2019). <http://www.vindmoellegodkendelse.dk/certification/type-certificates/>
12. MCS (2019). Microgeneration Certification Scheme. <https://www.microgenerationcertification.org/mcs-standards/product-standards/small-and-micro-wind-turbines/>
13. ClassNK Renewable Energy (2019). https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/authentication/windmill_attestation/en/smallwind/RE-071-03_e.pdf
14. Svend Enevoldsen (2015). Markedsanalyse Europa og B2B markedet. En analyse under WP5 i Small Wind EUDP projekt nr. 64014-061. Dinamarca.
15. Duzdevich (2018). Etiquetado de aerogeneradores. Red CYTED REGEDIS, Soria, España. Octubre.
16. Duzdevich (2018). Relevamiento Sectorial. Red CYTED Micro Eolo, General Sarmiento, Noviembre.
17. NREL (2020). How Do Wind Turbines Work? <https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>
18. INTI PAD MinCyT (2014). Generadores Eólicos. Guía de Divulgación.
19. Wind Energy The Facts (2020). <https://www.wind-energy-the-facts.org/wind-turbine-selection.html>
20. J. Sarja, V. Halonen (2013). Wind Turbine Selection Criteria: A Customer Perspective. University of Oulu, Finlandia.
21. GUANGZHOU HY ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD (2020). http://www.hyenergy.com.cn/a/English/HY_3000/20150902/398.html
22. A. Zappa, R. Oliva, J. Duzdevich, G. Martín (2013). Evaluación de curva de potencia en plataforma de ensayo para aerogeneradores de baja potencia. ASADES2013. AVERMA.ISSN 2314-1433.
23. NREL (2020). Wind Energy Stakeholder Engagement & Outreach – Small Wind Guidebook. https://openei.org/wiki/Small_Wind_Guidebook/What_Size_Wind_Turbine_Do_I_Need
24. Universidad de Calgari, Canadá. Límite de Betz (2020). https://energyeducation.ca/encyclopedia/Betz_limit
25. Windographer (2020). Wind turbine energy output. <https://www.windographer.com/features/perform-advanced-analyses>
26. IEC 61400-2 (2013). WIND TURBINES - Part 2: Small wind turbines.
27. RAE (2018). <http://revistas.rae.es/bilrae/article/view/218/525>

28. The Renewable Energy Website. Cálculo de la potencia del viento (2020).
<http://www.reuk.co.uk/wordpress/wind/calculation-of-wind-power/>
29. WWEA (2016). Small Wind Summary Report 2016.
<http://small-wind.org/download/SWWR2016-SUMMARYR.pdf>
30. D.I. Alicia Fernández Ferreras, D.I. Martha R. Llorente Fernández, D.I. Daniel Fadruga González (2015). La Comunicación en los productos de diseño industrial. Revista de la Universidad Cubana de Diseño Número 3, páginas 99 a 142.
31. Global CCS Institute (2019). Toward a common method of cost estimation for CO2 capture and storage at fossil fuel power plants.
<http://decarboni.se/sites/default/files/publications/85761/toward-common-method-cost-estimation-ccs-fossil-fuel-power-plants-white-paper.pdf>
32. HOMER Pro. Levelized Cost of Energy (2020).
https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/levelized_cost_of_energy.html
33. INTERTEK. J. Spossey, T. Buchal (2012). Wind Turbine Generator System Duration Test Report for the Fortis Wind Energy Montana tested at Intertek Small Wind Regional Test Center. Test Report 100146060CRT-004.
34. INTERTEK. J. Spossey, T. Buchal (2012). Wind Turbine Generator System Summary Test Report for the C&F Green Energy CF15. Test Report No. 100373741CRT-001a
35. GL Garrad Hassan (2012). Power Performance Measurement on a Tozzi Nord TN35 at the GLGH Test Site in Kaiser-Wilhem-Koog, Germany, according to IEC 61400-12-1 and BWEA. GLGH-4285 1007206 258-A-0002-A.
36. Tozzi Nord. F. Tozzi, A. Tozzi (2015). MCS Certification Summary for TN535 SWT. TN-12-57, Issue 2.3.
37. SWCC (2015). SWCC Summary Report, Eveready Diversified Products (Pty) Ltd T/A Kestrel Renewable Energy, Kestrel e400nb 240 VAC, 1-phase, 60 Hz, Certification Number: SWCC-10-16.
38. Luis Cano (2019). Estándares de SWT. CIEMAT.
<http://cms.ciemat.es/documents/1349819/3618750/07+SWT+Standards.pdf/b5f43436-d9a8-4556-ba01-44608de5afbe>

ANEXO 1 AEROGENERADORES RELEVADOS

Nro de orden	Lista	País	Empresa	Producto
1	INTI	Argentina	EOLUX Giacobone	EOLUX 1200
2	INTI	Argentina	EOLUX Giacobone	EOLUX 1100 12 Vcc
3	INTI	Argentina	ALP Group	COSTA 1 Doméstico
4	INTI	Argentina	ST CHARGER	ST CHARGER 600
5	INTI	Argentina	ST CHARGER	ST CHARGER 1100
6	INTI	Argentina	INVAP Ingeniería	IVS 4500
7	INTI	Argentina	GIAFA	TGP 2000
8	INTI	Argentina	TECNOTROL	Tecno 800
9	INTI	Argentina	EBH	WINTEC 1500
10	INTI	Argentina	EOLOCAL	AG 700 - 24 Vcc
11	INTI	Argentina	EOLOCAL	AG 700 - inversor p/GD
12	INTI	Argentina	H2SYSTEMS	H2S 10
13	INTI	Argentina	EÓLICA ARGENTINA	N/D
14	INTI	Argentina	EOLICA SALEZ	N/D
15	INTI	Argentina	WINDERARTH	Elfos 2000
16	INTI	Argentina	GRUPO ÉCOLO	N/D
17	INTI	Argentina	PABLO ALVAREZ	N/D
18	INTI	Argentina	AGROLUZ	N/D
19	INTI	Argentina	PAMPACO	N/D
20	INTI	Argentina	WINDY WEST	N/D
21	INTERTEK	UK	Ampair (Westwind) Ltd	Ampair 6000-5.5 6kW
22	INTERTEK	UK	Ampair (Westwind) Ltd	Ampair 6kW
23	INTERTEK	UK	Ampair (Westwind) Ltd	Ampair 10kW
24	INTERTEK	UK	Ampair (Westwind) Ltd	Ampair 20kW
25	INTERTEK	EEUU	Bergey Windpower Company	Excel 6
26	INTERTEK	EEUU	Bergey Windpower Company	Excel 10
27	INTERTEK	Irlanda	C&F Green Energy	CF10 (Phase A)
28	INTERTEK	Irlanda	C&F Green Energy	CF11 (Phase A)
29	INTERTEK	Irlanda	C&F Green Energy	CF11
30	INTERTEK	Irlanda	C&F Green Energy	CF12 (Phase A)
31	INTERTEK	Irlanda	C&F Green Energy	CF15
32	INTERTEK	Irlanda	C&F Green Energy	CF20
33	INTERTEK	Canadá	Eocycle Technologies Inc	EO-25/12
34	INTERTEK	Países Bajos	Fortis Wind Energy	Montana
35	INTERTEK	China	Geoho Energy Technology	GHFD93-2000/III
36	INTERTEK	EEUU	Ogin Energy	OE20d
37	INTERTEK	UK	Kingspan Renewables	KW-15
38	INTERTEK	EEUU	Northern Power Systems	NPS 100C-24
39	INTERTEK	China	Osiris Energy	Osiris10
40	INTERTEK	China	Osiris Energy	Osiris12
41	INTERTEK	EEUU	QED Wind Power	Phoenix 20kW
42	INTERTEK	España	Sonkyo Energy	Windspot 3.5 kW
43	INTERTEK	China	Sumec Hardware & Tools Co., LTD	PWB01-30-48
44	INTERTEK	China	Sumec Hardware & Tools Co., LTD	PWB02-40-48
45	INTERTEK	China	Sumec Hardware & Tools Co., LTD	PWA03-44-250
46	INTERTEK	China	Sumec Hardware & Tools Co., LTD	PWA05-50-280
47	INTERTEK	China	TUGE Energia	TUGE10
48	INTERTEK	EEUU	Urban Green Energy	Eddy GT
49	INTERTEK	EEUU	Urban Green Energy	VisionAIR (5M)
50	INTERTEK	EEUU	Wind Turbine Industries	Jacobs 31-20
51	INTERTEK	EEUU	Weaver Wind Energy	5 kW

Tabla 28: Listado de aerogeneradores de baja potencia hallados (1-51)

Nro de orden	Lista	País	Empresa	Producto
52	INTERTEK	Suecia	WindEn	WindEn45
53	WWEA	EEUU	Pika Energy	T701
54	WWEA	EEUU	Xzeres Wind Corporation	Skystream 3.7
55	WWEA	Sudáfrica	Eveready Diversified Products (Pty) Ltd.	Kestrel e400nb
56	WWEA	España	InnoVentum AB	Giraffe 2.0/Windspot 3.5
57	WWEA	España	Sonkyo Energy	Windspot 3.5
58	WWEA	UK	EVANCE Wind Turbine Ltd	Evance R9000
59	WWEA	UK	Kingspan Environmental	KW6
60	WWEA	EEUU	Bergey Windpower Co.	Excel 6
61	WWEA	EEUU	Bergey Windpower Co.	Excel 10
62	WWEA	EEUU	Xzeres Wind Corporation	442SR
63	WWEA	Dinamarca	Solid Wind Power A/S	SWP25-14GT20
64	SWCC	EEUU	Bergey Wind power Co.	Excel 10
65	SWCC	EEUU	Bergey Wind power Co.	Excel 15
66	SWCC	Taiwan	Colite Technologies	DS3000
67	SWCC	EEUU	Dakota Turbines	DT-25
68	SWCC	China	Ghrepower	FD21-50
69	SWCC	UK	Kingspan Environmental	KW6
70	SWCC	Holanda	Lely Aircon B. V.	LA10
71	SWCC	Holanda	Lely Aircon B. V.	LA30
72	SWCC	EEUU	Pika Energy	T701
73	SWCC	India	Vaata Smart Ltd.	Vaata Smart 5.5kW
74	SWCC	EEUU	Xzeres Wind Corporation	442SR
75	SWCC	EEUU	Xzeres Wind Corporation	Skystream 3.7
76	MCS	Canadá	Eocycle Technologies Inc.	Eocycle EO20
77	MCS	Canadá	Eocycle Technologies Inc.	Eocycle EO25
78	MCS	UK	Britwind Limited	Evance R9000
79	MCS	UK	Britwind Limited	Evance R9000
80	MCS	UK	Britwind Limited	Evance R9000
81	MCS	UK	Britwind Limited	Evance R9000
82	MCS	UK	Britwind Limited	Evance R9000
83	MCS	UK	Britwind Limited	Evance R9000
84	MCS	Dinamarca	Orbital GFI-320k, 315k, 215k and 115k	H15 Class II
85	MCS	Holanda	Lely Aircon B.V.	Lely Aircon 10
86	MCS	Holanda	Lely Aircon B.V.	Lely Aircon 30
87	MCS	Canadá	Orenda Energy Solutions Inc.	Orenda Skye 49kW
88	MCS	UK	Clyntech Ltd.	Scirocco 5 kW
89	MCS	UK	Clyntech Ltd.	Scirocco 6 kW
90	MCS	UK	Clyntech Ltd.	SD6 - Three phase
91	MCS	Italia	Tozzi Nord s.r.l	TN 535 R1.4
92	MCS	Italia	Tozzi Nord s.r.l	TN 535 R1.4
93	MCS	EEUU	Xzeres Wind Corp	Xzeres -442SR Wind Genr
94	EGV	Dinamarca	Solid Production A/S	SWP25-14TG20
95	EGV	Dinamarca	HSWind ApS	Viking VS25
96	EGV	Dinamarca	Cirkel Energi	Britwind R9000
97	EGV	Dinamarca	Henrik Bøje	Selvbyggermølle
98	EGV	Dinamarca	Zeteco Energy A/S	ZEW25-18
99	EGV	UK	Gaia Wind Energy A/S	Gaia 10kW
100	EGV	Dinamarca	F. Reymond Jensen	Reymo 18,5kW
101	EGV	Dinamarca	Jøn Hagen	Selvbyggermølle
102	EGV	EEUU	Windmatic A/S	WM 17S
103	EGV	Canadá	Eocycle Technologies Ltd.	Eocycle 25

Tabla 29: Listado de aerogeneradores de baja potencia hallados (52-103).

Nro de orden	Lista	País	Empresa	Producto
52	INTERTEK	Suecia	WindEn	WindEn45
53	WWEA	EEUU	Pika Energy	T701
54	WWEA	EEUU	Xzeres Wind Corporation	Skystream 3.7
55	WWEA	Sudáfrica	Eveready Diversified Products (Pty) Ltd.	Kestrel e400nb
56	WWEA	España	InnoVentum AB	Giraffe 2.0/Windspot 3.5
57	WWEA	España	Sonkyo Energy	Windspot 3.5
58	WWEA	UK	EVANCE Wind Turbine Ltd	Evance R9000
59	WWEA	UK	Kingspan Environmental	KW6
60	WWEA	EEUU	Bergey Windpower Co.	Excel 6
61	WWEA	EEUU	Bergey Windpower Co.	Excel 10
62	WWEA	EEUU	Xzeres Wind Corporation	442SR
63	WWEA	Dinamarca	Solid Wind Power A/S	SWP25-14GT20
64	SWCC	EEUU	Bergey Wind power Co.	Excel 10
65	SWCC	EEUU	Bergey Wind power Co.	Excel 15
66	SWCC	Taiwan	Colite Technologies	DS3000
67	SWCC	EEUU	Dakota Turbines	DT-25
68	SWCC	China	Ghrepower	FD21-50
69	SWCC	UK	Kingspan Environmental	KW6
70	SWCC	Holanda	Lely Aircon B. V.	LA10
71	SWCC	Holanda	Lely Aircon B. V.	LA30
72	SWCC	EEUU	Pika Energy	T701
73	SWCC	India	Vaata Smart Ltd.	Vaata Smart 5.5kW
74	SWCC	EEUU	Xzeres Wind Corporation	442SR
75	SWCC	EEUU	Xzeres Wind Corporation	Skystream 3.7
76	MCS	Canadá	Eocycle Technologies Inc.	Eocycle EO20
77	MCS	Canadá	Eocycle Technologies Inc.	Eocycle EO25
78	MCS	UK	Britwind Limited	Evance R9000
79	MCS	UK	Britwind Limited	Evance R9000
80	MCS	UK	Britwind Limited	Evance R9000
81	MCS	UK	Britwind Limited	Evance R9000
82	MCS	UK	Britwind Limited	Evance R9000
83	MCS	UK	Britwind Limited	Evance R9000
84	MCS	Dinamarca	Orbital GFI-320k, 315k, 215k and 115k	H15 Class II
85	MCS	Holanda	Lely Aircon B.V.	Lely Aircon 10
86	MCS	Holanda	Lely Aircon B.V.	Lely Aircon 30
87	MCS	Canadá	Orenda Energy Solutions Inc.	Orenda Skye 49kW
88	MCS	UK	Clyntech Ltd.	Scirocco 5 kW
89	MCS	UK	Clyntech Ltd.	Scirocco 6 kW
90	MCS	UK	Clyntech Ltd.	SD6 - Three phase
91	MCS	Italia	Tozzi Nord s.r.l	TN 535 R1.4
92	MCS	Italia	Tozzi Nord s.r.l	TN 535 R1.4
93	MCS	EEUU	Xzeres Wind Corp	Xzeres -442SR Wind Genr
94	EGV	Dinamarca	Solid Production A/S	SWP25-14TG20
95	EGV	Dinamarca	HSWind ApS	Viking VS25
96	EGV	Dinamarca	Cirkel Energi	Britwind R9000
97	EGV	Dinamarca	Henrik Bøje	Selvbyggermølle
98	EGV	Dinamarca	Zeteco Energy A/S	ZEW25-18
99	EGV	UK	Gaia Wind Energy A/S	Gaia 10kW
100	EGV	Dinamarca	F. Reymond Jensen	Reymo 18,5kW
101	EGV	Dinamarca	Jøn Hagen	Selvbyggermølle
102	EGV	EEUU	Windmatic A/S	WM 17S
103	EGV	Canadá	Eocycle Technologies Ltd.	Eocycle 25

Tabla 30: Listado de aerogeneradores de baja potencia hallados (52-103).

Nro de orden	Lista	País	Empresa	Producto
104	EGV	Dinamarca	F. Reymond Jensen	Reymo 18,5kW
105	EGV	Dinamarca	Solid Wind Power A/S	SWP20-16TG20
106	EGV	Dinamarca	Zeteco Energy A/S	EasyWind 6AC
107	EGV	EEUU	Fortis Wind Energy BV	Fortis Montana, 5kW
108	EGV	Canadá	Eocycle Technologies Ltd.	Eocycle 10
109	EGV	Dinamarca	Solid Wind Power A/S	SWP10-14TG20
110	EGV	Dinamarca	Zeteco Energy A/S	ZEW25-18
111	EGV	Canadá	Eocycle Technologies Ltd.	Eocycle 25 Gen2
112	EGV	Dinamarca	HSWind ApS	Viking VS19.9
113	EGV	Dinamarca	Solid Wind Power A/S	SWP25-14TG20
114	EGV	UK	Gaia-Wind Ltd	GW133 10kW
115	EGV	Dinamarca	Rico Rasmussen	Selvbyggermølle
116	EGV	Dinamarca	KVA Vind A/S	KVA Vind 10-15
117	EGV	Dinamarca	HSWind ApS	Viking 25
118	EGV	Dinamarca	Joint Blade Rotor	V27 with JBRX rotor
119	EGV	Dinamarca	Solid Wind Power A/S	SWP10-14TG20
120	EGV	Dinamarca	KVA Vind A/S	KVA Vind 6-10
121	EGV	Dinamarca	THY møllen Aps	TWP40-10
122	EGV	Dinamarca	Kjeld Reinholdt Møller	T-103
123	EGV	UK	Gaia Wind Energy A/S	Gaia 5.5kW
124	EGV	Dinamarca	THY møllen Aps	TWP40-10
125	EGV	Dinamarca	Cirkel Energi	Britwind R9000
126	EGV	Dinamarca	Solid Wind Power A/S	SWP25-14TG20
127	EGV	Dinamarca	KVA Vind A/S	KVA Vind 10-10
128	EGV	China	Osiris Energy Co., Ltd	Osiris 10
129	EGV	Dinamarca	Frode Frederiksen	Selvbyggermølle
130	EGV	UK	Gaia Wind Energy A/S	Gaia 11kW
131	EGV	Dinamarca	KVA Vind A/S	KVA Vind 10-10
132	EGV	Dinamarca	Vindby ApS	Vindy V1A
133	EGV	Dinamarca	KVA Vind A/S	KVA Vind 10-10
134	EGV	Dinamarca	KVA Vind A/S	KVA Vind 10-15
135	EGV	Alemania	Easywind GmbH	EasyWind 6AC
136	EGV	USA	ASTK - Stig Hessellund	Kliux Dragon
137	EGV	USA	ASTK - Stig Hessellund	Kliux Eagle 5kW
138	FOLKECENTER	Argentina	INVAP Ingenieria	IVS4500
139	FOLKECENTER	Australia	RESA Renewable Energy Solutions	Eco Wisper
140	FOLKECENTER	Australia	RESA Renewable Energy Solutions	Eco Wisper
141	FOLKECENTER	Australia	SOMA Power	
142	FOLKECENTER	Austria	Silent Future Tec	
143	FOLKECENTER	Austria	STEP Energysystems	STEP V2GL
144	FOLKECENTER	Brasil	Enersud Indústria e Soluções Energéticas	
145	FOLKECENTER	Brasil	Alternate Power	
146	FOLKECENTER	Brasil	Endurance Wind Power	
147	FOLKECENTER	Brasil	Wenvor Technologies	
148	FOLKECENTER	China	Anhui Hummer Dynamo	H1.25-400W
149	FOLKECENTER	China	Anhui Hummer Dynamo	H1.25-600W
150	FOLKECENTER	China	Anhui Hummer Dynamo	H2.7-500W
151	FOLKECENTER	China	Anhui Hummer Dynamo	H3.1-1kW
152	FOLKECENTER	China	Anhui Hummer Dynamo	H3.8-2kW

Tabla 31: Listado de aerogeneradores de baja potencia hallados (104-152).

Nro de orden	Lista	País	Empresa	Producto
153	FOLKECENTER	China	First Wind Turbine Manufacturing	
154	FOLKECENTER	China	Guangzhou HY Energy Technology	
155	FOLKECENTER	China	Hohhot Boyang Renewable Energy	
156	FOLKECENTER	China	Hopeful Wind Energy Technology	
157	FOLKECENTER	China	Ningbo Windpower	
158	FOLKECENTER	China	Osiris Energy	Osiris 10
159	FOLKECENTER	China	Qingdao Anhua New Energy	AH-20kW
160	FOLKECENTER	China	Qingdao Anhua New Energy	AH-30kW
161	FOLKECENTER	China	Qingdao Windwings Wind Turbine	
162	FOLKECENTER	China	Shandong Huyae Wind Power	
163	FOLKECENTER	China	Shanghai Forevoo Windpower Technology	
164	FOLKECENTER	China	Shanghai Ghrepower Green Energy	
165	FOLKECENTER	China	Shenzen Typmar Wind Energy	CXF3000W
166	FOLKECENTER	China	Urban Green Energy	VisionAir5
167	FOLKECENTER	China	Yueqing Zohnhan Windpower	
168	FOLKECENTER	Dinamarca	KVA Diesel	KVA 6
169	FOLKECENTER	Dinamarca	KVA Diesel	KVA 10
170	FOLKECENTER	Dinamarca	Solid Wind Power	SWP25-14TG20
171	FOLKECENTER	Dinamarca	Solid Wind Power	SWP10-14TG20
172	FOLKECENTER	Dinamarca	Thy WindPower	TWP 40-6
173	FOLKECENTER	Dinamarca	Thy WindPower	TWP 40-10
174	FOLKECENTER	Dinamarca	Viking Wind	Viking 25
175	FOLKECENTER	UK	Eclectic Energy	
176	FOLKECENTER	UK	Ecotricity Group	R9000
177	FOLKECENTER	UK	Ecotricity Group	H15 Class IV
178	FOLKECENTER	UK	Ecotricity Group	H15 Class II
179	FOLKECENTER	UK	FuturEnergy	
180	FOLKECENTER	UK	VWT Power (Quiet Revolution)	
181	FOLKECENTER	UK	Leading Edge Turbines	
182	FOLKECENTER	UK	Marlec Engineering	
183	FOLKECENTER	Estonia	my!WIND	my!WIND 5
184	FOLKECENTER	Finlandia	Finn Wind Oy	
185	FOLKECENTER	Finlandia	Oy Windside Production	
186	FOLKECENTER	Alemania	AeroCraft	
187	FOLKECENTER	Alemania	Braun Windturbinen	
188	FOLKECENTER	Alemania	EasyWind	EasyWind 6 AC
189	FOLKECENTER	Alemania	EasyWind	EasyWind 6 DC
190	FOLKECENTER	Alemania	FuSystems SkyWind	
191	FOLKECENTER	Alemania	Kessler Energy	
192	FOLKECENTER	Dinamarca	Hagi Vertikalvindkraftog	Ropatev Big Star Vertikal
193	FOLKECENTER	Espania	LS nStoker Lars Sorensen	Sonkyo Winspot 3.5
194	FOLKECENTER	Dinamarca	Zenia Energy	Zenia ZA6
195	FOLKECENTER	Dinamarca	Zenia Energy	Zenia ZA10
196	FOLKECENTER	India	E – Hands Energy	E160i 600W
197	FOLKECENTER	India	E – Hands Energy	E230i 800W
198	FOLKECENTER	India	E – Hands Energy	e300i 1000W
199	FOLKECENTER	India	E – Hands Energy	e400n 3500W
200	FOLKECENTER	India	E – Hands Energy	e400nb3500W
201	FOLKECENTER	India	UNITRON SYSTEMS ENERGY	UE33
202	FOLKECENTER	India	UNITRON SYSTEMS ENERGY	UE42
203	FOLKECENTER	India	UNITRON SYSTEMS ENERGY	UE42plus
204	FOLKECENTER	India	WiSH Energy Solutions	Whsiper 200

Tabla 32: Listado de aerogeneradores de baja potencia hallados (153-204).

Nro de orden	Lista	País	Empresa	Producto
205	FOLKECENTER	India	WiSH Energy Solutions	Whsiper 500
206	FOLKECENTER	India	WiSH Energy Solutions	Windistar 4500
207	FOLKECENTER	Italia	En-ecoSpA	SkyLine One
208	FOLKECENTER	Italia	En-ecoSpA	SkyLine Three
209	FOLKECENTER	Italia	MinventoS.r.l.	m' 1000
210	FOLKECENTER	Italia	MinventoS.r.l.	m' 2500
211	FOLKECENTER	Países Bajos	Fortis Wind Energy	Passaat
212	FOLKECENTER	Países Bajos	Fortis Wind Energy	Montana
213	FOLKECENTER	Países Bajos	Fortis Wind Energy	Montana-Q
214	FOLKECENTER	Países Bajos	Fortis Wind Energy	Alizé
215	FOLKECENTER	Escocia	Gaia Wind	Gaia Wind 133
216	FOLKECENTER	Escocia	Renewable Devices Group	SWIFT Wind Energy
217	FOLKECENTER	Sud Africa	African Wind Power	
218	FOLKECENTER	España	ENNERA	Winderas
219	FOLKECENTER	España	KLIUX ENERGIES	KLIUX ZEBRA
221	ClassNK	Japón	ZEPHYR CORPORATION	Airdolphin GTO / Z-1000
222	ClassNK	Japón	ZEPHYR CORPORATION	Z-9000
223	ClassNK	Taiwan	Hi-VAWT Technology Corp.	DS3000
224	ClassNK	España	Japanlife Co., Ltd.	WINDSPOT3.5KW
225	ClassNK	Japón	NIKKO COMPANY	NWG-1K
226	ClassNK	EEUU	Bergey WindPower Co.	EXCEL10
227	ClassNK	Japón	RIAMWIND	RW3K-JA-01
228	ClassNK	EEUU	Xzeres Corp.	Xzeres 442SR
229	ClassNK	Irlanda	C&F Green Energy Ltd.	CF20
230	ClassNK	UK	Gaia-Wind Ltd.	GW133
231	ClassNK	España	Ennera Energy and Mobility S.L.	Winderas S
232	ClassNK	Taiwan	TECO Electric & Machinery Co., Ltd.	H3000
233	ClassNK	Japón	Loop Inc	LP-H3000
234	ClassNK	China	WinPower Incorporated	GHRE19.8J
235	ClassNK	Italia	TOZZI NORD s.r.l.	TN 535
236	ClassNK	Japón	Life Communication CO., LTD	LC9800
237	ClassNK	Irlanda	C&F Green Energy Ltd.	CF20JAPAN
238	ClassNK	China	HY ENERGY CO., LTD	HY16/19.7
239	ClassNK	China	Ningbo Ginlong Technologies Co.	Osiris10
240	ClassNK	Dinamarca	Solid Wind Power A/S	SWP19.8-14TV20
241	ClassNK	Taiwan	S.B.I CO., LTD.	ANE AH-10kW

Tabla 33: Listado de aerogeneradores de baja potencia hallados (205-243).

PUBLICACIONES

1. M. Amadío, J. Duzdevich, C. Wild Cañón, A. Zappa (2017). Noise measurement on Small Wind Turbine preliminar results. WIND NOISE. INCE EUROPE. ISBN: 978-1-5108-5210-5
2. G. Martín, J. Duzdevich, A. Zappa, J. Caló, F. Oneto, C. Wild Cañón (2015). Sistema de comunicación para la promoción de buenas prácticas del sector de energía eólica de baja potencia. TecnoINTI, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). ISBN 978-950-532-259-6
3. J. Duzdevich, A.Zappa, C.Wild Cañón, M. Amadío (2015). Evaluación de emisiones sonoras en plataforma de ensayo para aerogeneradores de baja potencia. ASADES, AVERMA. ISSN 2314-1433.
4. B. Ramos, L. Cano Santa Barbara, C. Wild Cañón, A. Zappa, J. Duzdevich, M. Amadío, R. Oliva (2015). Intercomparación de procedimiento de evaluación de curva de potencia en aerogeneradores de baja potencia. ASADES, AVERMA. ISSN 2314-1433.
5. M. Perez Zelaschi, A. Cappa, A. Casabona, G. Martin, J. Duzdevich, A. Zappa (2015). Programa de Desarrollo de Proyectos Sustentables de Energía Eólica – TecnoINTI, INTI. ISBN 978-950-532-259-6
6. J. Duzdevich, G. Martin, A. Zappa, C. Wild Cañón, M. Amadio, R. Oliva (2015). Ensayo de aerogeneradores de baja potencia según normas IEC 61400. TecnoINTI, INTI. ISBN 978-950-532-259-6
7. INTI. Proyectos Asociativos de Diseño, MINCYT (2014). Energía Eólica de Baja Potencia - Guía de divulgación. ISBN EN TRÁMITE
8. INTI. Proyectos Asociativos de Diseño, MINCYT (2014). Aspectos generales sobre la instalación de aerogeneradores de baja potencia. ISBN EN TRÁMITE
9. A. Zappa, R. Oliva, J. Duzdevich, G. Martín (2013). Evaluación de curva de potencia en plataforma de ensayo para aerogeneradores de baja potencia. ASADES, AVERMA. ISSN 2314-1433.
10. R. Oliva, G. Martín, J. Duzdevich, A. Zappa (2013). Evaluación de incertidumbres de medición en plataforma de ensayo para pequeños aerogeneradores. ASADES, AVERMA. 2013 ISSN 2314-1433.
11. A. Zappa, J. Duzdevich, G. Martín, L. Álvarez, A. Oses (2013). Fortalecimiento del sector industrial de fabricación de aerogeneradores de baja potencia. TecnoINTI, INTI. ISBN 978-950-532-202-2
12. A. Zappa, J. Duzdevich, G. Martín, A. Oses (2013). Actividades laboratorio aerogeneradores de baja potencia. INTI Neuquén – Municipio de Cutral Có. TecnoINTI, INTI. ISBN 978-950-532-202-2
13. G. Martín, J. Duzdevich, R. Oliva (2012) Instalación y avances en plataforma de ensayo para pequeños aerogeneradores. ASADES, AVERMA. ISSN 2314-1433.
14. J. Duzdevich, G. Martín (2011). Caracterización del sector industrial de fabricantes de aerogeneradores de baja potencia en la argentina. Intervención del INTI para su fortalecimiento. ASADES, AVERMA. ISSN 2314-1433.
15. G. Martín, J. Duzdevich, M. Osés, Angel Casabona, L. Coppis, Alberto Anesini (2011). Fortalecimiento sector fabricantes de pequeños aerogeneradores. Encuentro de Primavera, INTI.
16. A. Anesini, A. Casabona, O. Franco, L. Coppis, J. Duzdevich, L. Álvarez (2010). Intervención integral del INTI en la colonia Pastoril del Michacheo Zapala, Provincia del Neuquén. Encuentro de Primavera, INTI.