

La importancia de dimensionar correctamente los sistemas de frenado en aerogeneradores residenciales.

La instalación de aerogeneradores en entornos urbanos requiere la implementación de importantes medidas de seguridad que garanticen la integridad de personas y bienes a lo largo de la vida útil de la máquina. Para ello resulta necesario controlar la velocidad del aerogenerador en todo momento, evitando sobrepasar sus límites mecánicos.

Algunos aerogeneradores incorporan elementos mecánicos o sistemas aerodinámicos de frenado que limitan la velocidad de giro. Otros requieren de un freno eléctrico externo, constituido por resistencias eléctricas que se conectan a la salida del aerogenerador, para controlar su velocidad. Independientemente del método de frenado utilizado, resulta conveniente la implementación de un sistema de frenado eléctrico que además de limitar la velocidad máxima de giro permita la parada del aerogenerador en cualquier momento o circunstancia (reparación, pérdida de red, motivos de seguridad, etc.).

La ausencia de freno eléctrico, un dimensionamiento incorrecto del sistema de frenado o una deficiente estrategia de control puede tener consecuencias fatales en el funcionamiento del aerogenerador, así como en la vida útil del sistema. El correcto dimensionamiento del sistema de frenado de aerogeneradores residenciales es por lo tanto uno de los aspectos más importantes a evaluar para realizar una instalación robusta, eficiente y segura.

Cuerpo

Las instalaciones micro-eólicas de conexión a red están formadas por un aerogenerador, que transforma la energía eólica en energía eléctrica, y una etapa electrónica que acondiciona la energía eléctrica generada inyectándola a la red eléctrica.

La tensión generada por un aerogenerador presenta una amplitud y frecuencia variable en función de la velocidad de giro de las palas, que a su vez depende de la velocidad del viento. Por ello, la corriente generada en el aerogenerador debe ser acondicionada antes de ser inyectada a la red eléctrica.

La manera de proceder es primero rectificar esta corriente alterna con frecuencia variable y transformarla en continua, mediante un rectificador AC/DC. A continuación se convierte esta corriente continua en alterna con características adecuadas para poder ser inyectada a la red eléctrica por medio de un inversor (DC/AC).

Aunque existen diferentes soluciones en el mercado, tradicionalmente el rectificador AC/DC aparece integrado en un interfaz que se instala entre el aerogenerador y el inversor. Estos interfaces suelen incorporar protecciones del inversor mediante resistencias de frenado, que se colocan en paralelo con el aerogenerador o a la salida del rectificador y disipan mediante calor los excesos de potencia generados en situaciones de viento excesivo, regulando así la potencia además de la tensión de entrada al inversor.

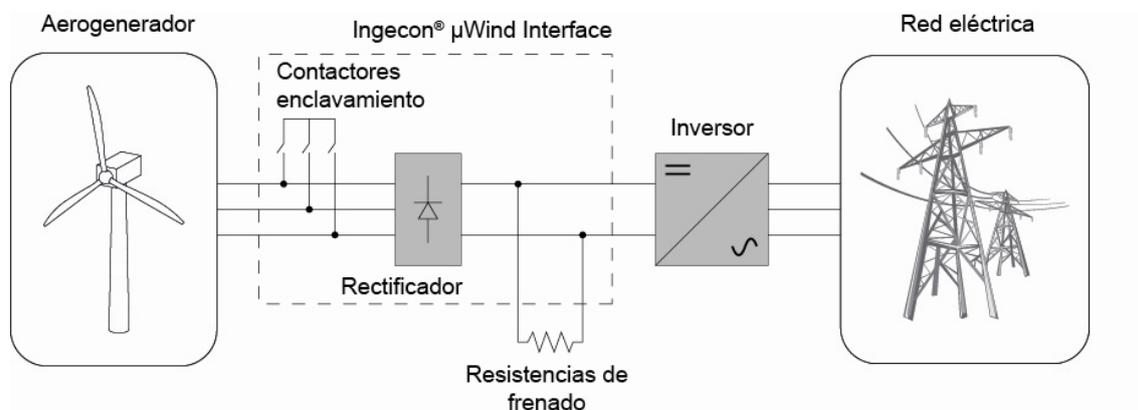


Figura 1: Sistema aerogenerador + Ingecon μWind Interface + Inversor

La potencia entregada por el aerogenerador (P_T) viene determinada por la siguiente expresión:

$$P_T = k \cdot C_p \cdot V^3$$

Siendo,

P_T : Potencia generada

k : Constante

C_p : Coeficiente de rendimiento aerodinámico de la turbina, dependiente de la relación entre la velocidad del viento y la velocidad de giro de la turbina.

V : Velocidad del viento

La potencia extraída por el aerogenerador depende de la velocidad del viento (proporcional al cubo de la velocidad) y de la relación entre la velocidad del viento y la velocidad de giro de la turbina. Asimismo, para una velocidad del viento determinada, la potencia extraída de la turbina varía en función de la velocidad de giro de la misma, tal como muestra la Figura 2.

Los inversores Ingecon μ Wind incorporan un algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia MPPT que hace girar al aerogenerador en todo momento en el punto óptimo (máximo de la curva característica P_T - n para cada velocidad del viento) hasta que se alcanza la potencia máxima del inversor. Una vez alcanzada la potencia máxima del inversor la resistencia de frenado del Ingecon μ Wind Interface comienza a disipar el exceso de potencia.

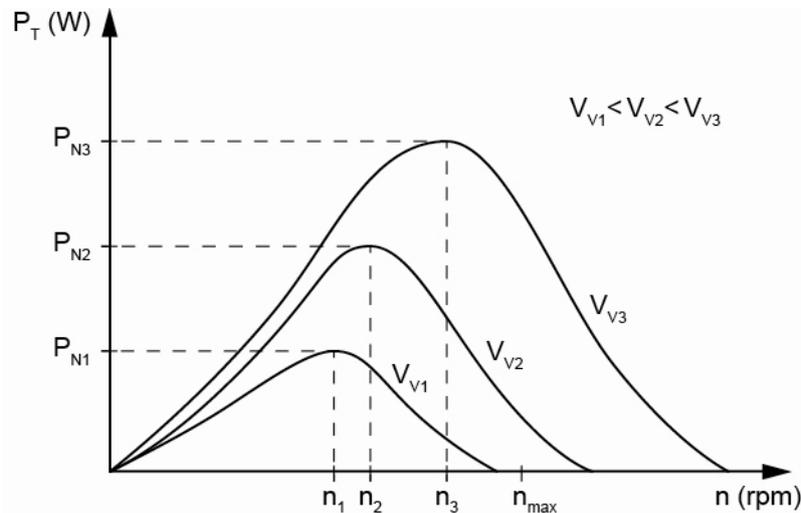


Figura 2: Curva P_T - n característica de un aerogenerador

Frenado, parada y control del aerogenerador.

El balance entre potencia eléctrica (P_E) -entendiendo como tal la suma de la potencia inyectada en la red (P_I) más la potencia disipada por las resistencias (P_R)- y la potencia generada por el aerogenerador (P_T), determina la variación de la velocidad de giro del aerogenerador. Si la potencia eléctrica es menor que la potencia generada por el aerogenerador, la velocidad del aerogenerador aumenta; mientras que si es mayor, disminuye.

El giro descontrolado de las palas de los aerogeneradores por encima de sus límites de funcionamiento puede poner en peligro la seguridad de las personas y bienes situados en las cercanías del aerogenerador, así como la electrónica asociada al aerogenerador (la tensión de salida es proporcional a la velocidad de giro). Debido a esto, el correcto dimensionamiento del sistema de frenado y su estrategia de control es uno de los aspectos más importantes a evaluar para realizar una instalación segura (especialmente en entornos urbanos).

Solo en el caso de que la potencia eléctrica (P_E) sea mayor que la potencia generada por el aerogenerador (P_T), el sistema es capaz de parar completamente el aerogenerador o controlarlo en situaciones desfavorables de viento.

En el mercado existen interfaces equipados con resistencias de frenado que permiten proteger la electrónica del inversor, limitando la tensión generada. Sin embargo, estos sistemas son incapaces de parar completamente el aerogenerador.

El Ingecon μ Wind Interface incorpora un sistema de protección mediante resistencias de frenado que permite la parada completa del aerogenerador (siempre que las resistencias se diseñen correctamente), tal y como puede verse en la Figura 1. Las resistencias de frenado se colocan en paralelo con la salida del rectificador y su activación se controla mediante un IGBT, a través de un PWM (Pulse Width Modulation), dotando de gran precisión y suavidad a la regulación del sistema. De esta manera se suavizan los golpes de par en el sistema mecánico, incrementando su vida útil y reduciendo las operaciones de mantenimiento del mismo.

Además, el Ingecon μ Wind Interface incorpora un sistema de enclavamiento capaz de bloquear el aerogenerador cuando esto resulte necesario. Este sistema de enclavamiento cortocircuita los terminales de salida del aerogenerador, lo que provoca un bloqueo y una parada segura del sistema sin riesgos a su realimentación. Esto resulta muy adecuado para operaciones de mantenimiento o en situaciones meteorológicas muy adversas de carácter transitorio, en las que las velocidades del viento puedan superar los límites de diseño del conjunto. La posibilidad de activar de manera remota el sistema de enclavamiento, permite realizar paradas del aerogenerador sin la necesidad de desplazarse hasta la instalación.

El dimensionamiento de las resistencias de frenado debe realizarse de manera particularizada a cada sistema, teniendo en cuenta las características del aerogenerador (potencia y tensión de salida), los límites funcionales del Ingecon μ Wind Interface (corriente máxima y rango de valor resistivo) y las velocidades máximas de viento del emplazamiento. Hay que tener en cuenta que ante una pérdida de red las resistencias de frenado deben ser capaces de disipar toda la potencia extraída del aerogenerador.

La potencia disipada por las resistencias de frenado del Ingecon μ Wind Interface se rige por la siguiente ecuación:

$$P_R = \frac{V^2}{R}$$

Siendo,

P_R : Potencia disipada por las resistencia de frenado.

V : Tensión rectificadora, proporcional a la velocidad de giro del aerogenerador.

R : Resistencia de frenado.

El valor de resistencia debe dimensionarse para que la potencia en la resistencia sea mayor a la generada por el aerogenerador en todo su rango de funcionamiento (para diferentes velocidades de giro y de viento). Cuanto menor sea la resistencia de frenado, mayor será la potencia de frenado. Sin embargo, a la hora de dimensionar la resistencia hay que tener en cuenta el límite de corriente del interfaz utilizado. El Ingecon μ Wind Interface permite gobernar resistencias de un bajo valor óhmico, con una corriente máxima de resistencia de 80 Amperios.

En función del valor resistivo seleccionado en la instalación se obtendrán las siguientes áreas de operación segura, dentro de las cuales el Ingecon μ Wind Interface es capaz de frenar el aerogenerador bajo cualquier condición de viento. Si la turbina trabaja fuera del área establecida en la gráfica, la capacidad de frenado del Ingecon μ Wind Interface no está garantizada.

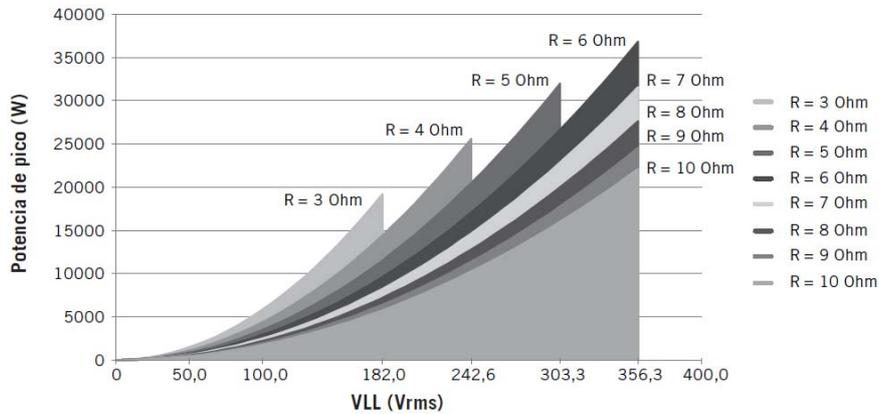


Figura 3: Área de frenado seguro

Una vez alcanzada la potencia máxima del inversor, el sistema de frenado del Ingecon μ Wind Interface comienza a disipar el exceso de potencia en las resistencias. Para ello, el Ingecon μ Wind Interface permite seleccionar una de las dos estrategias de limitación de velocidad que tiene implementadas (Figura 4):

- Control a velocidad de palas constante
- Control óptimo

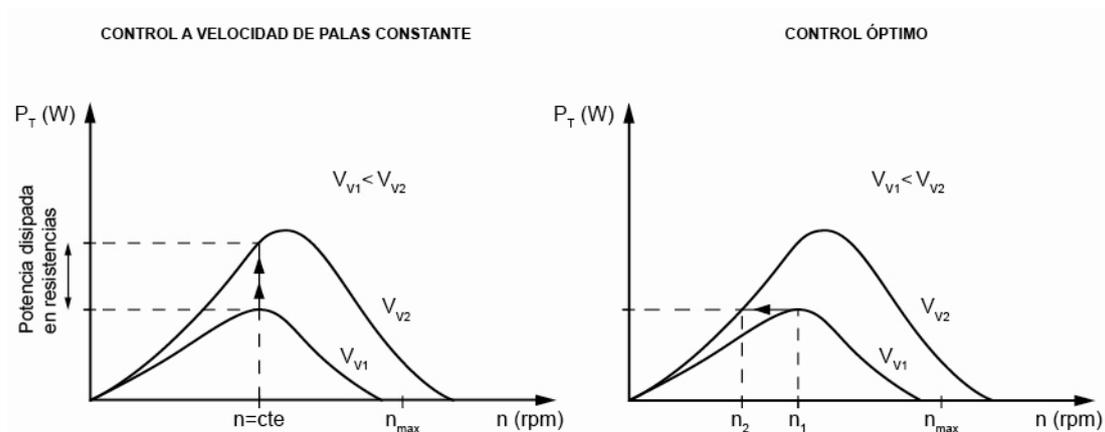


Figura 4: Estrategias de control

La primera de la estrategias tiene como objetivo limitar la velocidad de giro de las palas del aerogenerador a una velocidad constante por debajo de la máxima permisible (n_{MAX}). En condiciones de velocidades de viento superiores a la nominal, el inversor inyecta en la red su potencia nominal, por tanto el excedente de potencia captada por la turbina ha de ser disipada en las resistencias de frenado. Dado que la potencia asociada a un caudal de viento es directamente proporcional al cubo de la velocidad del viento, la potencia a disipar en las resistencias podrá alcanzar valores elevados. Por tanto, dicha estrategia resulta idónea cuando el calor disipado en las resistencias pueda ser recuperado en otros procesos como calentamiento de agua o aire.

La segunda estrategia de control, denominada control óptimo, tiene por objeto limitar la velocidad de giro de la turbina disipando en las resistencias de frenado la menor cantidad de energía posible. De esta manera se limita la potencia extraída por el aerogenerador a valores próximos a la potencia nominal del inversor, lo que permite reducir la potencia disipada en la resistencia. Esta estrategia resulta interesante para aquellos casos en los que se puedan presentar elevadas velocidades de viento y se precise una pequeña disipación de energía a través de la resistencia de frenado.

Utilizando la estrategia de control óptimo implementada en el Ingecon μ Wind Interface se obtiene un mejor rendimiento energético del sistema puesto que se reducen el número de paradas por vientos elevados, el sistema trabaja siempre en una zona de equilibrio dinámico y es requerida una resistencia de frenado de menor potencia nominal. A modo de analogía, la estrategia de control óptima se asemeja a la estrategia de control del pitch de palas en los aerogeneradores de grandes potencias con la ventaja de que se incrementa la velocidad de corte a valores muy superiores a los observados en otras aplicaciones. La nueva velocidad de corte es variable y dependerá de la capacidad de disipación de energía de las resistencias y del nivel de sobrecarga admisible del generador, aspectos que contempla la estrategia de control.

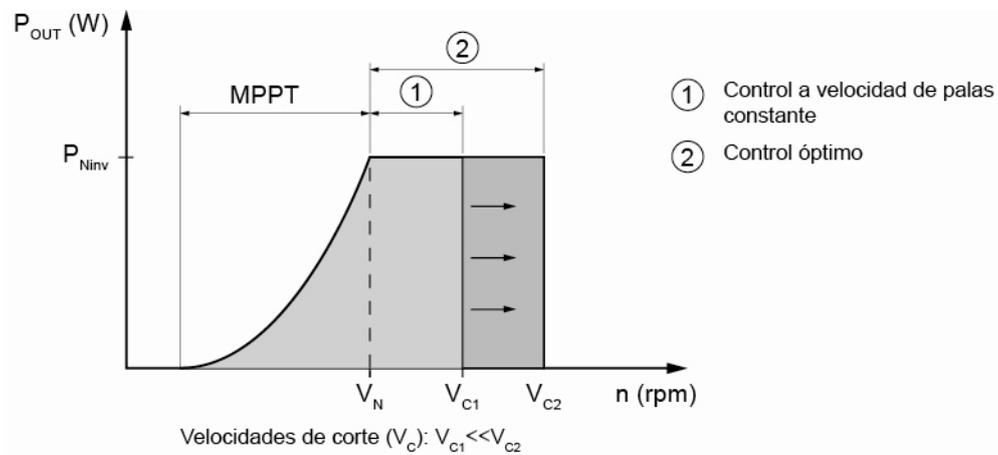


Figura 5: Evolución de la velocidad de corte con Control Optimo

En conclusión, el Ingecon μ Wind Interface, en combinación con los inversores Ingecon μ Wind y un correcto dimensionamiento de las resistencias de frenado, permite maximizar la energía de la instalación, proporcionando un control óptimo del aerogenerador.