

Uso del Modelo Meteorológico MM5 para la predicción energética del parque eólico del ITER

Rafael Vernière Ferrer.

Instituto Tecnológico y de Energías Renovables, ITER.

Polígono Industrial de Granadilla, s/n. 38611 San Isidro. Granadilla de Abona.

S/C de Tenerife (España).

rverniere@iter.es

1.- Introducción.

Hoy en día las herramientas de predicción meteorológica pueden servirnos para poder realizar el uso de las energías renovables. En el caso de la energía eólica, para poder optimizar el mantenimiento de aerogeneradores y la eficacia económica en la generación de la energía procedente del viento. Mediante el desarrollo de una herramienta integrada de software a partir de un modelo meteorológico que permita conocer una estimación fiable de la energía prevista en función de la predicción del viento, vamos a poder establecer una estrategia de riesgo coste/beneficio en función de dicha estimación y su incertidumbre.

Para ello se puede hacer uso de uno de los modelos más fuertemente implantados en centros universitarios y de investigación a nivel mundial. El modelo MM5 del PSU/NCAR va a ser probado para llevar a cabo la predicción del viento a alta resolución hora a hora en el entorno del parque eólico del ITER con una configuración de 4 dominios anidados y una resolución final de 2km para el último. Los resultados de este último dominio son evaluados y analizados con los datos meteorológicos disponibles de una de las estaciones (“euclides”) en el entorno del parque. Una primera evaluación de estos datos nos va a permitir el calibrar la física del modelo con una serie de configuraciones obtenidas al modificar aquellas partes de las parametrizaciones físicas del MM5 que más influyen en la predicción del viento en la capa límite planetaria (PBL). A partir de una primera aproximación con los datos de viento de la estación, vamos a poder estimar la producción energética del parque a través de una “curva parque” que represente al conjunto de aerogeneradores. Esta primera estimación nos va a permitir tener una idea de la bondad de las predicciones del modelo meteorológico frente a los datos de la estación para llevar a cabo estas predicciones energéticas. El siguiente paso necesario y fundamental en este estudio será el de poder disponer de datos de viento a la altura de buje y eliminar cualquier posible fuente de error debido a la posición del sensor de viento, para hacer un análisis más real de la calibración del MM5, de la “curva parque” y de la estimación coste/beneficio al hacer uso de esta herramienta.

Una primera calibración de la “curva parque” (Fig.1), se podrá hacer por tanto partiendo de los datos de producción horaria disponibles junto con los datos de la estación, pudiendo hacer una predicción de la producción energética del parque a partir de los datos de viento del MM5.

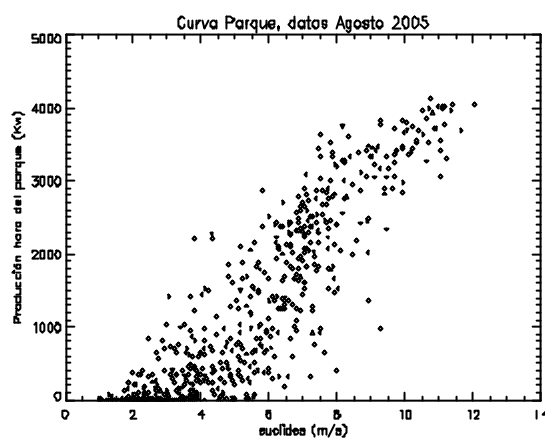


Fig 1.- Curva de potencia del parque eólico, calibrada por medio de los datos de referencia tomados por la estación ubicada en el ITER.

Todo esto tan sólo nos permitirá hacer una primera evaluación y estimación de la parte económica, como objetivo final del uso del modelo de predicción meteorológico como herramienta básica para poder cumplir la legislación vigente de venta de energía en régimen especial dentro de unos ciertos márgenes de penalización. Las pruebas hechas hasta hoy nos han permitido comparar los datos de los períodos comprendidos entre los días del 1 al 10 y del 18 al 29 de agosto de 2005. La física del modelo ha sido modificada para poder obtener la mejor configuración posible que ajuste lo más posible los datos del modelo frente a los de la estación. En concreto, hemos seguido dos líneas de trabajo: la primera ha sido la de intentar afinar las predicciones al dato de viento de la estación modificando las principales partes de la física del MM5 que influyen en estas. La segunda, la de calibrar una “curva parque” al fin de encontrar una relación entre el viento medido y la energía generada.

El fin último como hemos indicado, es conseguir una predicción de energía generada la más fiable posible para cobrar una factura sin penalizaciones.

Es por esto que hay que tener en cuenta, que este trabajo y los futuros se basan en un análisis estadístico. Por ello, para que sus resultados sean concluyentes, se necesita un número grande de datos independientes. Estimamos que un año de toma de datos pueda representar una buena muestra estadística, de hecho en este plazo temporal nos esperamos encontrar todos los regimenes de viento que afectan a la isla de Tenerife y para cada régimen se tendría un número suficiente de datos para el estudio.

Las pruebas hechas hasta ahora contemplan esta física:

Configuración base:

- 1.-Esquema de cúmulos (ICUPA): Grell
- 2.-Esquema de la Capa Límite Planetaria (IBLTYP): MRF
- 3.-Microfísica de Nubes (IMPHYS): Mixe d-Phase (Reisner 1)
- 4.-Esquema de Radiación (IFRAD): Cloud radiation scheme
- 5.-Esquema de Suelo (ISOIL): Noah land surface scheme

Configuración modificada 2:

Igual que la configuración base pero con la opción *Shallow Convection (ISHALLO)* activada.

Configuración modificada 3:

- 1.- Esquema de cúmulos (ICUPA): Grell
- 2.-Esquema de la Capa Límite Planetaria (IBLTYP): High Resolution Blackadar
- 3.-Microfísica de Nubes (IMPHYS): Mixed-Phase (Reisner 1)
- 4.-Esquema de Radiación (IFRAD): Cloud radiation scheme
- 5.-Esquema de Suelo (ISOIL): Five layer soil model

2.-Predicción del viento.

Utilizando el MM5 en las tres configuraciones descritas en anteriormente, hemos obtenido las predicciones de viento para el siguiente grupo de días: del 18 al 29 de Agosto de 2005. Hemos comparado las predicciones con los datos tomados por la estación "euclides" (Fig2-7) con el fin de determinar la configuración con mayor acierto y, a partir de esta, averiguar si cambiando otros parámetros del modelo se pueden conseguir grados de aciertos mejores.

Para comparar las predicciones con el dato de viento tomado a los 10 m de altura haremos uso de dos gráficos de diagnóstico. El primero es la simple superposición de las curvas velocidad de viento v. tiempo. El segundo pone en relación la velocidad pronosticada frente a velocidad observada. El primer

grafico, nos da idea cualitativamente de los problemas del modelo, si es capaz de predecir variaciones repentinas de velocidad, etc. y sirve de cierto modo como instrumento para decidir qué parámetros cambiar en las siguientes pruebas. El segundo cuantifica directamente el grado de acierto, puesto que al ser totalmente verídica la predicción los puntos en este gráfico deberían distribuirse sobre de una recta de pendiente uno.

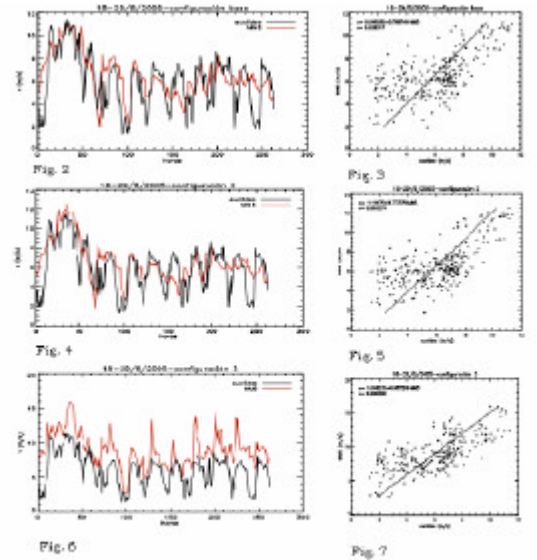


Fig.-2-7 Se comparan las observaciones con las predicciones de viento obtenidas, por medio de diferentes configuraciones del MM5. A pesar de que la configuración 3 presenta los mayores desvíos con respecto a las observaciones (fig. 6), para esta configuración se encuentra una relación mejor con los datos (fig. 7).

En las figuras 2 y 3 ponemos los resultados que hemos obtenidos para la configuración básica del MM5, aplicada a los días del 18 al 29. En la figura 3 está puesta en evidencia la ecuación de la recta que mejor interpola los puntos y el coeficiente de correlación lineal que da cuenta de la dispersión de los puntos alrededor de la recta. En las figuras 4 y 5, 6 y 7, repetimos los mismos gráficos para las dos configuraciones alternativas. Se observa que la configuración 3 es la que presenta el mejor coeficiente de correlación lineal, es decir la menor dispersión de puntos. No obstante, la pendiente de la recta que interpola los puntos es diferente de uno. Esto se traduce en el hecho que las predicciones siguen la tendencia de los datos medidos, salvo que en valor absoluto son generalmente mayores (fig 6). A posteriori es posible corregir este efecto normalizando las predicciones según la ecuación:

$$\text{nueva_pred} = a + b \cdot \text{pred} \quad (1)$$

En donde a y b son los coeficientes expresados en la figura 7. En figura 8 y 9 proponemos los gráficos de

las predicciones corregidas. Sin embargo, para que esta corrección tenga alguna utilidad práctica tiene que poderse aplicar a priori. Para averiguar esta posibilidad hemos calculado las predicciones, con la tercera configuración, para los primeros diez días de Agosto, que, además, corresponden a una temporada de baja intensidad de viento, en general por los gráficos presentados es posible averiguar que el MM5 tiene un menor grado de acierto para bajas velocidades. En figura 10 y 11 proponemos el resultado del cálculo sin correcciones y en figura 12 y 13 los resultados corregidos por medio de la ecuación (1). Observamos que la corrección es efectiva ya que la recta que mejor interpola los nuevos puntos se acerca más a la recta ideal de pendiente uno y constante cero.

Esta es una de las posibles estrategias que se pueden seguir a la hora de afinar las predicciones. Sin embargo, tenemos que subrayar que se basa en cálculos estadísticos cuya fiabilidad se puede comprobar solo sobre la base de un número grande de datos independientes. En otras palabras, se necesita comparar los datos de viento con las predicciones relativas a varios meses, con y sin presencia de alisios, con y sin bonanzas. Estas comparaciones son necesarias también para establecer otras eventuales estrategias de cálculo, es posible, de hecho, que algunas configuraciones del MM5 proporcionen mejores predicciones para vientos de baja intensidad, y viceversa que otras proporcionen mejores predicciones para vientos de alta.

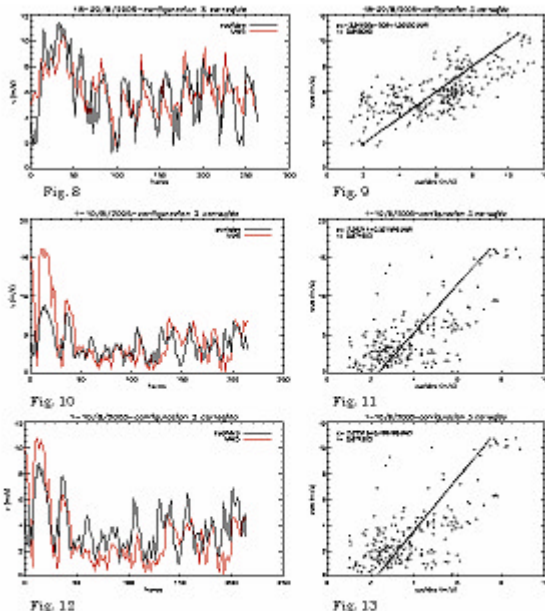


Fig.8-13 En las figuras 8 y 9 mostramos las predicciones obtenidas en configuración 3 corregidas por medio de la relación lineal encontrada en el gráfico de figura 7. No obstante, se trata de un resultado a posteriori. En las figuras 10 y 11 representamos las predicciones obtenidas en configuración 3 para los primeros 10 días de Agosto. En figuras 12 y 13 presentamos las mismas predicciones corregidas a priori por medio de la relación lineal encontrada en figura.7.

3.-Calibración “Curva Parque”.

Para predecir la producción de energía por hora de los parques existentes y de los eventuales nuevos parques, se precisa de una curva de calibración que ponga en relación el dato de viento, tomado en un punto de referencia para todo el parque, con la correspondiente producción energética. Es decir, una curva $C(v)$ tal que, definiendo ‘E’ la energía producida en una hora por el parque, y ‘v’ la velocidad promedio del viento en la misma, resulte: $E=C(v)$.

La precisión temporal no inferior a una hora está determinada, en primer lugar, por los propios datos de producción de energía, que facilitan la potencia generada integrada en una hora, y en segundo lugar, por la propia resolución temporal del MM5, que no es inferior a la hora, de tal manera que aún definiendo $C(v)$ por medio de intervalos temporales más breves, esta no sería utilizable a la hora de generar las predicciones de producción.

Actualmente disponemos de unos pocos datos para trazar una primera curva de calibración para el parque de MADE, del cual conocemos la producción hora de todo el mes de Agosto de 2005 y de los datos de viento tomados por el “euclides” de la mayoría de los días del mes. En concreto disponemos de 595 horas de observación. A partir del gráfico presentado en fig. 1 que pone en relación la velocidad promedio del viento en una hora, con la correspondiente producción en KW, es posible estimar la curva $C(v)$ de la manera que especificamos a continuación

Dividimos el eje de los viento en 12 intervalos regulares de 1 m/s, de tal manera que el centro de cada intervalo caiga en 1, 2,...m/s. Por cada intervalo calculamos la media de la producción hora de tal forma obtenemos la curva de calibración mostrada en fig. 14

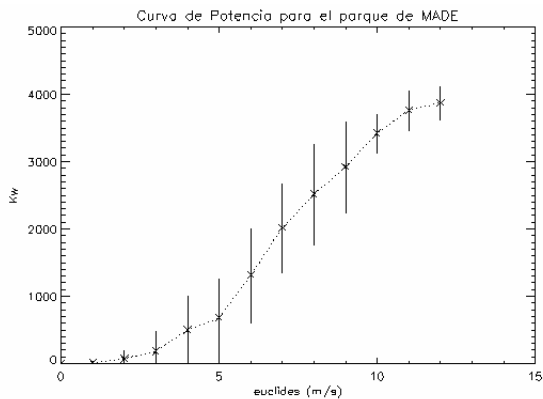


Fig 14.- Curva de Potencia promedio para el parque de Made

Los errores asociados a la curva de la fig. 14 son de tipo estadístico (1s), a pesar de que todavía no tenemos un número suficiente de datos para que la estadística sea fiable. De hecho, por cada intervalo de vientos tenemos desde un máximo de 91 datos (para valores de viento alrededor de 7 m/s) y un mínimo de 2 datos (para valores de viento alrededor de 12 m/s), siendo el promedio 46 datos por intervalo. Resulta evidente entonces que en primer lugar hay que mejorar la estadística alcanzando por lo menos un promedio de 100 datos por intervalo que correspondería a otro mes completo de observaciones.

Sin embargo, utilizando la información de la cual disponemos podemos hacer un primer breve análisis. Se observa que la dispersión de los puntos que definen la curva de calibración aumenta para bajos valores de la velocidad del viento. Esto se puede atribuir a tres hechos:

A un mayor error en la determinación de la velocidad del viento por parte del “euclides” cuando las velocidades son pequeñas, debido a la misma estructura sobre la cual está montado el anemómetro.

A una relación variable entre el viento medido a 10 m de altura y el viento a 45m que corresponde a la altura del buje. Es posible que esta relación dependa de las condiciones meteorológicas puntuales.

Para subsanar ambos tipos de errores se hace necesario el utilizar un anemómetro en la torre. Desde el momento de su puesta en marcha se necesitarían por lo menos dos meses de datos para obtener una curva fiable.

La tercera fuente de error puede deberse a la orientación del viento, puesto que según el ángulo de incidencia sobre la línea de los aerogeneradores los efectos de sombra son diferentes, para calibrar este tipo de error se necesitaría generar una curva para cada dirección significativa es decir, dividir el horizonte en un número oportuno de sectores

angulares y por cada sector tomar los datos correspondientes.

Es difícil a priori discriminar cual de los tipos de error determina la mayor dispersión. Sin embargo, este último necesita para ser caracterizado un intervalo temporal más amplio.

4.-Predicción de la producción hora y factura.

El Real Decreto 436/2004 establece las normas para ceder a una empresa distribidora la producción eléctrica a precio fijo, se determina la necesidad de facilitar a la empresa una previsión de producción hora, debiéndose pagar una penalización en el caso que las previsiones tengan un error mayor que el 20%. En resumen la producción eléctrica se cobrará según la siguiente regla:

$$F=P (e-0.1 d) R \quad (2)$$

Donde P es la producción total del mes en KW, e es una fracción de la tarifa de referencia (R) que vale 0.9 durante los primeros 5 años de la existencia del parque y se establece en mismo RD. 436/2004, Pd es la suma de todos los desvíos horarios mayores del 20%, siendo un desvío el módulo de la diferencia entre la energía declarada y la producida. R es la tarifa de referencia que se establece por real decreto, para el año 2005 vale 7.3304 céntimos de euro (RD. 2392/2004).

En esta sección utilizando la formula (2) haremos unas simulaciones de predicción de la factura para el parque de Made, del mes de Agosto de 2005, que al día de hoy es el primero, y el único, del cual conocemos la producción hora.

Para efectuar las predicciones disponemos de dos métodos, utilizar la curva deducida en la sección anterior y calcular el viento a 10 m, o bien utilizar la curva teórica proporcionada por el fabricante y la predicciones del viento a la altura del buje (45 m). A continuación discutiremos las diferentes posibilidades.

A.- Predicción por medio de la curva calibrada.

En la sección anterior hemos proporcionado una curva C(v) con sus errores relacionados. En este caso, el mejor resultado que se podría obtener sería conociendo exactamente la velocidad del viento a 10 m, de tal manera que el error sobre la predicción de producción derivaría sólo de las incertidumbres en la calibración de C(v). En otras palabras, para el mes de Agosto la mejor estimación de producción se puede obtener utilizando los mismos datos de viento proporcionados por el “euclides”. En este caso, sumaríamos un error relativo d sobre el total de la producción de alrededor 0.25 que corresponde a cobrar el 97% de la producción. En cifras: se perderían 1601.84 euros sobre la factura sin errores y 625.67 euros sobre la factura actual. Puesto que

este es el mejor resultado posible, dada una predicción de viento a 10 m de altura no cabría esperar un resultado mejor.

En esta sección estimaremos la factura que cobraríamos por medio de las predicciones obtenidas con las tres configuraciones del MM5 que disponemos, los resultados se muestran en la siguiente tabla 1:

Config	Porcentaje cobrado	Pérdida relativa a la factura con error cero	Pérdida relativas a la factura actual
B (18-29)	95.02%	2913.46	1937.30
2 (18-29)	95.09%	2871.07	1894.91
3 (18-29)	92.02%	4667.23	3691.07
3 (18-29) corregida	94.55%	3186.40	2210.24
3 (1-10)	82.28%	10356.8	9380.61
3 (1-10) corregida	92.25%	4532.26	3556.10
3(1-10/18-29) corregida	93.40%	3507.03	2530.88

Tabla 1.- Estimación de facturas con las 3 configuraciones

Con la configuración básica (B) disponemos de predicciones para los días entre el 18 y el 29 de agosto, se trata entonces de extrapolar las estimaciones a todo el mes de Agosto. El resultado del cálculo indica que cobraríamos el 95% de la producción, correspondiente a una pérdida de 2913.46 euros con respecto a la factura con error cero y a 1937.30 con respecto a la factura actual. Para leer correctamente este resultado hay que considerar que el periodo temporal analizado corresponde a una temporada de alta intensidad de viento. En este caso, tanto la curva de calibración como las estimaciones del modelo presentan errores pequeños. Es decir, en general hay que esperarse resultados peores. Para la configuración con la capa límite modificada (3) disponemos de diez días adicionales, que corresponden a los días entre el 1 y el 10 de Agosto, extrapolando el resultado de solo estos diez días cobraríamos el 82% de la producción, sin embargo aplicando la corrección analizada en la sección de predicción de vientos, el resultado mejora hasta el 92%.

B.- Predicción por medio de la curva teórica.

En falta de la curva de potencia calibrada con los vientos medidos a 45 m (altura del buje), podemos utilizar la curva teórica proporcionada por el fabricante de los aerogeneradores. Disponemos de 8 aerogeneradores, de tal manera que habría que multiplicar por 8 la energía obtenida por medio de la curva teórica. No obstante, no todos los aerogeneradores poseen el mismo rendimiento debido, a sus propias características o bien al sitio del emplazamiento. Es posible tener en cuenta estas

diferencias analizando la producción total de un mes por cada aerogenerador particular. Suponiendo que el aerogenerador que proporciona la máxima producción es el que más se acerca al teórico podemos calibrar el entero parque en número de aerogeneradores equivalentes. Por medio de la base de datos de Made es posible obtener el resumen de la producción diaria por aerogenerador. Utilizando el mes de Agosto de 2005, hemos podido deducir el número de aerogeneradores equivalentes, que resulta ser: 6.3. Por lo general, utilizando el número equivalente, en lugar del número real de aerogeneradores (8), se obtienen predicciones mejores que expondremos a continuación.

Utilizando las tres configuraciones para la predicción de los vientos se consiguen los siguientes resultados:

- Configuración base (18-29 Agosto): 92.67% de la producción
- Configuración 2 (18-29 Agosto): 92.68% de la producción
- Configuración 3 (1-10 Agosto): 84.79% de la producción
- Configuración 3 (18-29 Agosto): 94% de la producción
- Configuración 3 (todos los días): 91% de la producción

En el caso de utilizar la predicción a 50 m al día de hoy no tenemos la posibilidad de corregir las predicciones por medio de una calibración similar a la fórmula (1), puesto que no disponemos de datos de viento de referencia.

5.-Conclusiones.

El objetivo principal de este trabajo ha sido el de evaluar la posibilidad de disponer de predicciones de viento fiables a alta resolución, por medio del modelo de predicción atmosférica MM5, al fin de planificar la producción de energía eléctrica del parque eólico actual de MADE del ITER y en previsión de la instalación del nuevo parque.

En concreto, hemos seguido dos líneas de trabajo: la primera ha sido la de intentar afinar las predicciones al dato de viento de la estación "euclides" modificando las principales partes de la física del MM5 que influyen en la predicciones. La segunda la de calibrar una curva parque al fin de encontrar una relación entre el viento medido y la energía generada.

El fin último, es conseguir una predicción de energía generada la más fiable posible para cobrar una factura sin penalizaciones. Utilizando los datos disponibles hasta el momento hemos hecho una simulación de factura para el mes de Agosto de 2005. Resulta que en las condiciones actuales

costraríamos con el mejor resultado el 95% de la factura ideal. Para ejecutar esta simulación ha sido imprescindible usar el dato de producción horaria disponible para el parque de MADE desde el mes de Agosto. Por otro lado, se hace necesario conocer también el dato de viento en altura, que en el mejor de los casos sería el que se encuentra a la altura de buje a 45m.

Hay que tener en cuenta, que este trabajo y los futuros se basan en un análisis estadístico. Por ello, para que sus resultados sean concluyentes, se necesita un número grande de datos independientes. Estimamos que un año de toma de datos pueda representar una buena muestra estadística, de hecho en este plazo temporal nos esperamos encontrar todos los regimenes de viento que afectan a la isla de Tenerife y para cada régimen se tendría un número suficiente de datos. .

REFERENCIAS.

Terrain and Land User for The Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Modeling System (MM5), by Young-Run Guo and Sue Chen.

A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), by Georg Grell, Jimmy Dudhia, and David Stauffer.

The Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5) Source Code Documentation, by Philip Haagenson, Jimmy Dudhia, David Stauffer, and Georg Grell.

Notas sobre análisis meteorológicos mesoescalar en niveles atmosféricos bajos. Agustín Jansá Clar, INM.