

Anexo I – Evaluación estadística de los resultados obtenidos a partir del campo de ajuste

A lo largo del desarrollo de la fase de comparación entre datos medidos y observados, varias versiones de campos de ajuste (o mapas de ajustes) fueron obtenidas. Para que hubiese una comparación cuantitativa de las diversas versiones, se adoptó el uso de herramientas estadísticas que mostraron una evolución de la tasa de acierto de los resultados del modelo Brams, cuando comparados a datos medidos. Las herramientas estadísticas utilizadas son presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1 – Herramientas estadísticas utilizadas en el estudio

Descripción	Fórmula
<u>Error medio</u>	$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n}$ Donde: P_i es el valor previsto; O_i el valor observado y n es el número total de observaciones.
<u>Desvío estándar del error</u>	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{(n-1)}}$ Donde: $\varepsilon_i = P_i - O_i$ $\bar{\varepsilon}$ = error medio
<u>Error absoluto medio (MAE)</u>	$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - O_i }{n}$
<u>Raíz del error medio cuadrático (RMSE)</u>	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$

La visualización de los resultados se realiza a través de un histograma de distribución del error y también por un gráfico del tipo xy, teniendo en la abscisa el valor previsto por el modelo y en la ordenada el valor observado. A través de los resultados obtenidos también es presentada la mejor recta obtenida por el método de los mínimos cuadrados, que busca correlacionar los puntos observados y medidos. La ecuación de esta recta y el coeficiente de correlación (R^2) también son presentados en el gráfico.

Para cada versión obtenida de campo de ajuste, fueron realizados estudios estadísticos que evaluaron el histograma del error, la distribución en el gráfico xy (incluyendo la correlación entre datos observados y previstos), el error medio, el desvío estándar del error, el MAE, y el

RMSE, siendo, este último, considerado el parámetro más riguroso por aplicar mayor peso a los errores de mayor magnitud (CHAI, 2014; SAVAGE et al., 2013; MCKEEN, 2005).

La primera evaluación consistió en la comparación de los resultados del modelo Brams con la climatología del Inmet. El valor de la raíz del error medio cuadrático (RMSE) fue de aproximadamente 1,6 m/s. La reducción del valor del RMSE a lo largo de varias versiones puede ser observada en la Figura 1. El mejor valor encontrado para el RMSE fue obtenido durante la sexta versión del campo de ajustes, presentando una MAE de 0,44 m/s y un RMSE de 0,57 m/s.

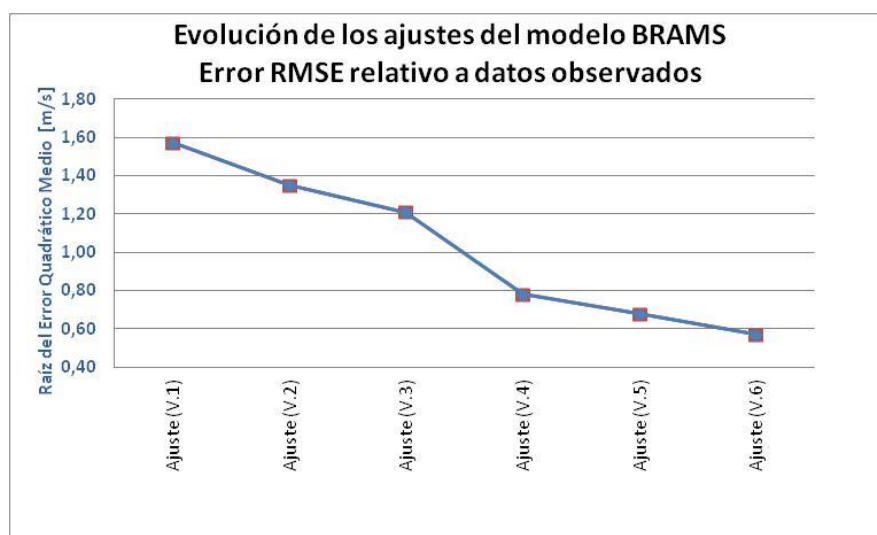


Figura 1 – Reducción del error RMSE observada con progresión de los ajustes del modelo

La última etapa de ajuste (versión 6) analizó valores de velocidades medias anuales previstas por el modelo y observadas en una base de datos compuesta de 138 estaciones, de las cuales fue utilizado un conjunto de 84 estaciones METAR y 29 estaciones anemométricas para ajuste y un segundo conjunto de 15 estaciones METAR y 10 estaciones anemométricas para el control de calidad del resultado del ajuste sobre el modelo. Las figuras 2 y 3 muestran el esparcimiento y el histograma del error entre valores previstos y observados del conjunto de datos separado para ajuste.

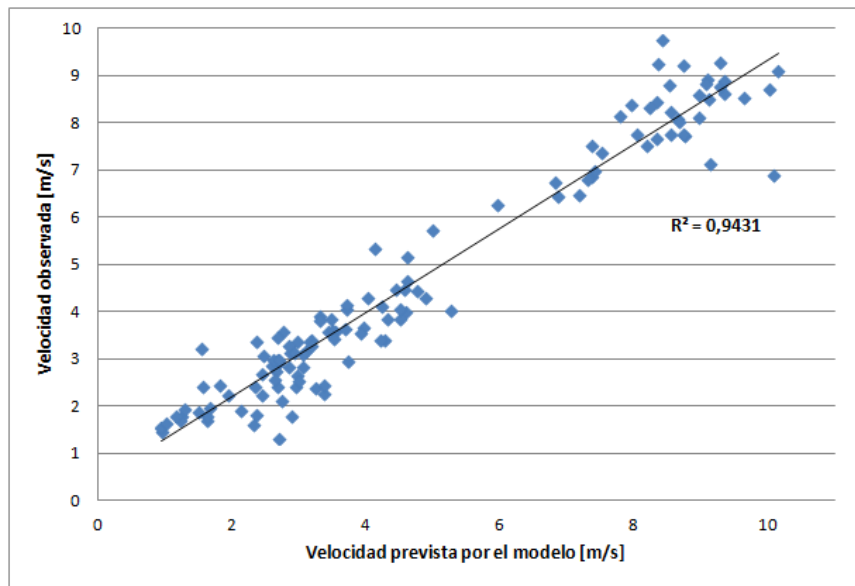


Figura 2 – Dispersión de los datos para realización de la versión 6 del ajuste de los datos del modelo Brams

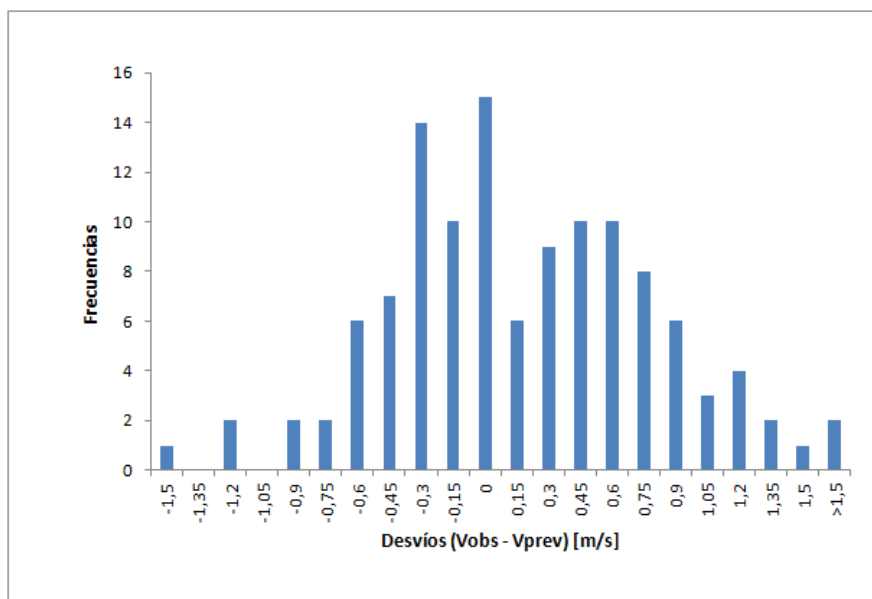


Figura 3 – Histograma de la distribución del error (*Previsto – Observado*) para los datos del ajuste V6

Las figuras 4 y 5 muestran el esparcimiento y el histograma del error entre valores previstos y observados del conjunto de datos separado para el control de calidad tras el ajuste. La Tabla 2 presenta diversos parámetros estadísticos obtenidos a través de la evaluación de los dos conjuntos de datos utilizados en la última versión de ajuste.

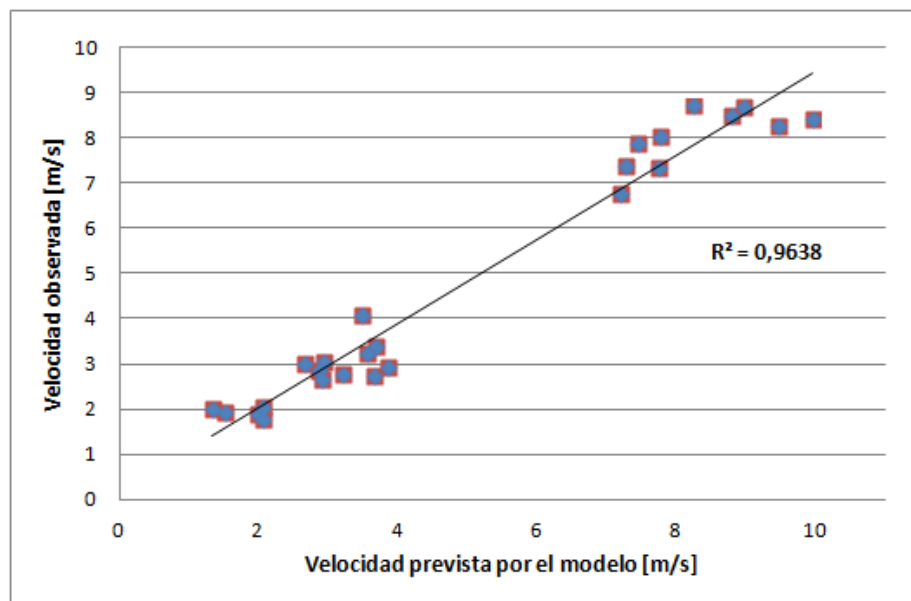


Figura 4 – Dispersión de los datos previstos (tras el ajuste) y observados para el conjunto utilizado en el control de calidad.

Tabla 2 – Principales valores estadísticos obtenidos en la versión 6 de ajuste de los datos simulados

	Comparación de los datos previstos y observados antes del ajuste (versión 6) 113 estaciones	Control de calidad después del ajuste (versión 6) 25 estaciones
Desvío Estándar	0,673	0,559
MAE [m/s]	0,518	0,442
RMSE [m/s]	0,678	0,570
R ²	0,943	0,964

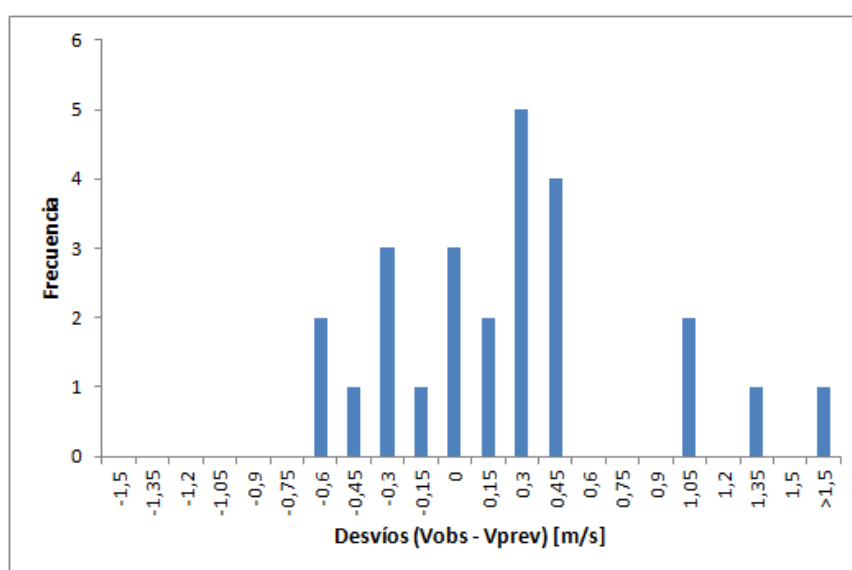


Figura 5 - Histograma de la distribución del error (*Previsto – Observado*) del control de calidad

Como fue presentado en la Figura 1, hubo una mejoría en el desempeño de los ajustes realizados en los resultados del modelo. La última versión de ajuste presentó una media de error absoluto (MAE) de 0,44 m/s y un RMSE de 0,57 m/s lo que representa una mejoría de 64% del valor de RMSE cuando comparado a la primera versión de ajuste. Los valores alcanzados en la última versión de ajuste son compatibles con las variabilidades de mediciones anemométricas teóricamente calculadas por la norma IEC 61400-12-1 (IEC, 2005) o inclusive cuando determinadas experimentalmente (NEIVA et al., 2016).

Bibliografía

CHAI, T., e DRAXLER, R.R. , 2014. **Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature**, Geosci. Model Dev., 7, 1247–1250, 2014

IEC, 2005 - Norma IEC 61400-12-1, first edition 2005-12, **Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines**.

MCKEEN, S. A., WILCZAK, J., GRELL, G., et al, 2005. **Assessment of an ensemble of seven realtime ozone forecasts over eastern North America during the summer of 2004**, J. Geophys. Res., 110, D21307.

NEIVA, A.C.B., RAMOS, D.A., GUEDES, V.G., WALTER, A., e MELO, S.R.F.C., 2016. **Estudo Comparativo Teórico e Experimental da Variabilidade de Dados de Velocidade de Vento em Estações Anemométricas** – Brazil Windpower 2016 Conference and Exhibition – 30/08/2016 – disponível em: Pasta 1, ID208 (acessado em 14/12/2016): <https://www.dropbox.com/sh/2vux66jiicslyu6/AADlJ2XOXtgLzW35w9lg43ZYa?dl=0>.

SAVAGE, N. H., AGNEW, P., DAVIS, L. S., ORDÓÑEZ, C., THORPE, R., JOHNSON, C. E., O’CONNOR, F. M., e DALVI, M. 2013. **Air quality modelling using the Met Office Unified Model (AQUM OS24-26): model description and initial evaluation**, Geosci. Model Dev., 6, 353–372.