

Influencia de la intensidad de la precipitación en las medidas de los pluviómetros de balancín en las Islas Baleares

José A. Guijarro

Instituto Nacional de Meteorología, Centro Meteorológico en Illes Balears (pmd@inm.es)

(Recibido: 16-Dic-2002. Publicado: 27-Dic-2002)

Resumen

Se han comparado las medidas de los pluviómetros de balancín de ocho estaciones meteorológicas automáticas de las Islas Baleares con las de sendos pluviómetros convencionales (tipo Hellmann) ubicados en las mismas. La influencia de la precipitación en los errores de los primeros se ha contrastado mediante ajustes de regresión lineal simple y polinómica, haciendo intervenir diferentes potencias en las cantidades de precipitación. La escasa mejora del modelo polinómico respecto a la regresión simple, junto con una selección poco coherente de los términos más significativos de unas estaciones a otras, indican que la intensidad de la precipitación no modula de una manera clara la magnitud de los errores, que en promedio son de entre el -4 y el 22 %, según la estación.

Palabras clave: pluviómetro de balancín, errores de medida, intensidad, precipitación, Islas Baleares.

1. Introducción

Las medidas pluviométricas se han venido efectuando en nuestro país mediante pluviómetros Hellmann, que recogen el agua precipitada en un recipiente para su posterior cuantificación, mediante una probeta graduada, en l/m^2 (o mm de precipitación). Estas medidas se realizan según el programa de observación de cada tipo de estación: cuatro veces al día en los observatorios de la red principal (a las 00, 07, 13 y 18 horas UTC), y una en los de la red secundaria (a las 08 horas UTC), mantenidos éstos generalmente por colaboradores voluntarios, y que constituyen, con mucho, la mayor parte de la red pluviométrica.

Por tanto estos pluviómetros no permiten evaluar la intensidad de la precipitación, dada la baja frecuencia de las medidas, y se ha de recurrir para ello al análisis de los registros de los pluviógrafos analógicos (como los de sifón) en bandas de papel.

No obstante, a estos instrumentos tradicionales se han unido en los últimos años los sensores pluviométricos de las estaciones meteorológicas automáticas (EMAs en lo sucesivo), constituidos por un pequeño recipiente en forma de balancín y con un tabique que lo divide en dos compartimentos iguales (fig. 1). El agua de la precipitación, recogida por un embudo similar al de los pluviómetros Hellmann, cae en uno de los compartimentos hasta que su peso hace bascular el recipiente, con lo que se evacúa el agua que contenía, mientras el agua que sigue cayendo por el embudo empieza a llenar el otro compartimento, que es el que ahora ha quedado debajo. Cada vez que bascula el balancín, un pequeño imán produce una señal eléctrica en un sensor, que se traduce en una cuenta transmitida a un acumulador de datos. Esta cuenta se corresponde, en los modelos usados hasta ahora por el Instituto Nacional de Meteorología de España, con una décima de mm de precipitación, aunque hay otros modelos en el mercado que basculan cada 0,2 mm. (En los países anglosajones suelen estar calibrados en fracciones de pulgada).

De este modo estos sensores ofrecen un registro continuo en el tiempo (aunque discretizado en cuentas de 0,1 mm), y con la ventaja añadida de su adquisición electrónica, que permite su inmediato tratamiento informático sin la tediosa tarea del análisis y grabación manual de los datos de un registro analógico.

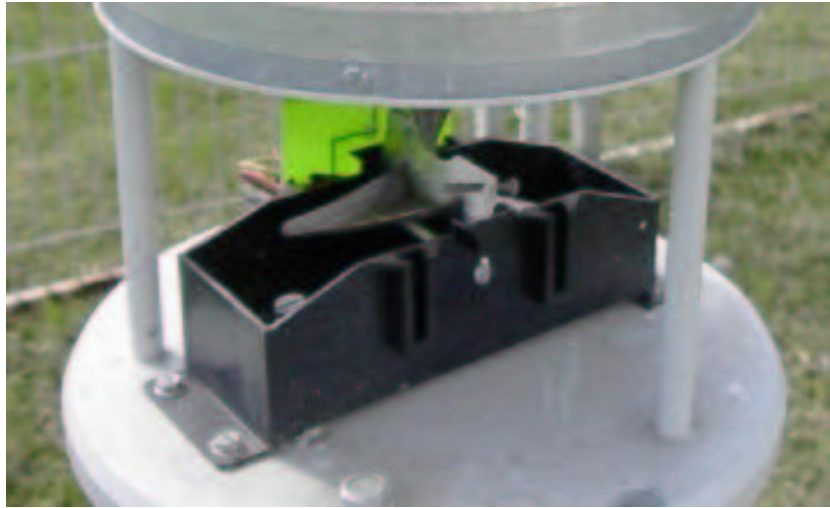


Figura 1: Detalle de un pluviómetro de balancín

No obstante, estos instrumentos están aquejados de los mismos errores que el resto de pluviómetros (especialmente de subestima de la precipitación por turbulencias del viento en la boca recolectora, enormemente importantes con precipitaciones de nieve, pero también con llovizna o lluvia fina) y pluviógrafos. En éstos se persigue tener un registro temporal de la ocurrencia de precipitación, y también poder realizar evaluaciones de su intensidad, pero con elevadas intensidades el tiempo de descarga del sifón en los pluviógrafos analógicos se alarga, perdiendo cantidades significativas de precipitación. El efecto análogo en los pluviómetros de balancín sería la tendencia del mismo a bascular demasiado pronto durante las lluvias intensas.

Los errores de este tipo de pluviómetros han sido estudiados por diversos autores (Sevruk, 1996; Fankhauser, 1998; Habib *et al.*, 2001). Aquí se estudiarán las diferencias entre las medidas de los pluviómetros Hellmann y de balancín en las ocho EMAs de Baleares que cuentan con registros más largos, aprovechando el hecho de que están instaladas junto a estaciones pluviométricas convencionales, y se tratará de evaluar hasta qué punto estas diferencias se ven afectadas por la intensidad de la precipitación.

2. Metodología

En primera aproximación, la relación entre la precipitación *verdadera* (y_i) y la medida por un pluviómetro de balancín (x_i), en intervalos de 10 minutos, puede expresarse mediante la relación $y = bx$ (con lo que b sería el coeficiente de corrección a aplicar a las x_i). No obstante, si pensamos que la intensidad de la precipitación puede influir en las medidas, el coeficiente b no será una constante, sino que dependerá a su vez de la cantidad de precipitación recogida en cada intervalo. La expresión más sencilla sería nuevamente una relación lineal: $b = c + dx$, y así la ecuación de corrección de las medidas quedaría: $y = cx + dx^2$

Para comprobar la validez de estas relaciones vamos a usar las medidas de los pluviómetros Hellmann como valores de referencia *verdaderos*, puesto que cabe esperar que las demás fuentes de error afecten de manera similar a ambos tipos de pluviómetro. El problema es que esas medidas se hacen una o, como mucho, cuatro veces al día, contra las 144 observaciones cada diez minutos de los de balancín. Para comparar las medidas efectuadas en 24 horas procederemos entonces a realizar acumulaciones diarias de los datos de las EMAs, obteniendo: $Y = cX_1 + dX_2$, siendo Y la precipitación diaria (medida de 07 a 07 horas UTC en las estaciones principales y de 08 a 08 en las de la red secundaria), y $X_1 = \sum x$, $X_2 = \sum x^2$, las acumulaciones de las medidas cada diez minutos y sus cuadrados. De modo más general, se puede ensayar la expresión: $Y = b_1X_1 + \dots + b_nX_n$, donde los X_k representan acumulaciones diarias de

Tabla 1: Relación de estaciones utilizadas, con sus coordenadas y datos utilizados

N	Indic.	Nombre	Coordenadas		Altitud (m)	Periodo	Días seleccionados
			Lat. norte	Lon. este			
1	B013	Lluc	39°49'26"	2°53'08"	490	1993-02	269
2	B228	Palma Portopí	39°33'18"	2°37'35"	3	1989-02	329
3	B346A	Porreres Poliesportiu	39°31'10"	3°01'24"	120	1989-02	258
4	B434	Far de Portocolom	39°24'53"	3°16'19"	17	1993-02	230
5	B569	Far de Capdepera	39°43'00"	3°28'42"	66	1989-02	253
6	B780	Port de Pollença A.M.	39°54'38"	3°06'02"	2	1989-02	360
7	B893	Aeroport de Menorca	39°52'01"	4°13'35"	85	1993-02	230
8	B954	Aeroport d'Eivissa	38°52'38"	1°22'12"	11	1994-02	205

precipitaciones en diez minutos elevadas a diversas potencias arbitrarias. La bondad de estas relaciones se ha contrastado mediante análisis de regresión múltiple paso a paso, efectuados mediante el paquete estadístico R corriendo en un PC GNU-Linux.

Debido tanto al desfase de una hora entre las medidas de precipitación diaria de ambos tipos de estaciones como a la relativa incertidumbre en la hora real en que un observador (humano) realiza la medida, para la comparación de los datos se seleccionaron los días en que la precipitación total fue de al menos 1 mm, y que al mismo tiempo no presentaran precipitación superior a 0,1 mm entre las 07 y 08 horas de ese día y del día siguiente. De este modo se contó con un total de entre 205 y 360 días, según las estaciones, como se puede observar en la tabla 1, en la que se encuentran relacionadas, junto con sus coordenadas y periodos de observación. Su distribución geográfica aparece en la figura 2.

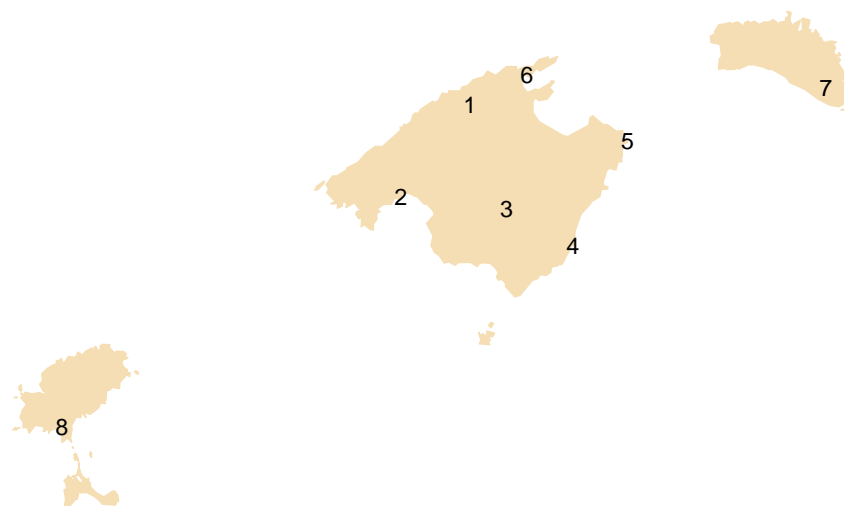


Figura 2: Localización de las ocho EMAs utilizadas en este trabajo

3. Resultados y discusión

Primeramente se realizó un análisis exploratorio con los datos de Palma Portopí, ajustando la relación lineal simple $Y = bX$ y la binomial $Y = cX + dX^p$, con potencias p alrededor del valor 2 (1,6, 1,8, 2,0, 2,2 y 2,4). Los coeficientes de determinación múltiple de los ajustes fueron 0.9917 para la ecuación lineal y 0.9921 para todas las binomiales, independientemente de la potencia p usada. La mejora de R^2 es

Tabla 2: Resultados de los análisis de regresión simple y múltiple: coeficientes de regresión y determinación tras retener las variables significativas al nivel $\alpha = 0,05$.

Ind.	b	r^2	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	R^2
B013	1.0105	0.9832	1.063	-1.959e-1	–	–	–	0.9838
B228	1.2174	0.9917	1.198	–	1.347e-3	–	–	0.9921
B346a	1.1444	0.9589	–	–	–	–	–	–
B434	1.0237	0.9647	1.067	-1.750e-1	4.957e-2	-3.995e-3	9.679e-5	0.9765
B569	1.0752	0.9146	1.266	-4.691e-1	1.817e-1	-1.961e-2	5.842e-4	0.9232
B780	1.0284	0.9678	1.080	–	-8.411e-3	6.081e-4	–	0.9697
B893	0.9607	0.9780	0.970	–	–	-1.996e-5	–	0.9784
B954	1.0384	0.9947	1.031	–	–	-1.723e-4	1.344e-5	0.9964

pues muy pequeña, pero la significación del ajuste era elevada, y progresivamente mayor al aumentar la potencia de 1,6 a 2,4. Esto sugirió que potencias superiores a 2,4 podrían ofrecer mejores resultados, por lo que se prepararon, para cada una de las ocho estaciones, ficheros de datos con los totales diarios de precipitación en el pluviómetro convencional y las acumulaciones de las correspondientes precipitaciones en diez minutos y sus potencias 2, 3, 4 y 5. La ecuación polinómica que se ajustó mediante regresión múltiple fue entonces:

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5$$

donde el subíndice se corresponde con la potencia empleada en las acumulaciones de precipitación. La tabla 2 nos muestra los resultados de los ajustes, para cada estación, de la expresión lineal simple y de la polinómica. Para esta última se comenzó usando las cinco variables independientes, para luego proceder a eliminaciones sucesivas de la variable menos significativa, hasta que todas lo fueron a un nivel mínimo de $\alpha = 0,05$.

Todos los coeficientes de regresión simple resultaron superiores a la unidad excepto uno, indicando una tendencia general de los pluviómetros de balancín a subestimar la precipitación. Cinco de los ocho pluviómetros estudiados mantienen sus errores medios por debajo del umbral del 5 %, mientras que en dos de ellos son superiores al 10 %, con un notable máximo del 21,7 % (en Palma Portopí). Los coeficientes de determinación muestran porcentajes de varianza explicada por encima del 95 %, con excepción del faro de Capdepera, que sólo alcanza a explicar el 91,5 %.

Las figuras 3 y 4 muestran los ajustes de las estaciones que dieron el mejor y peor resultado. En ambas estaciones, la mayor parte de los puntos se sitúan en las proximidades de la línea de regresión, si bien se observan varios valores anómalos en la parte superior (indicando una subestima de la precipitación). La línea de trazos muestra la relación de identidad ($Y = X$), como referencia del grado de bondad del ajuste.

Por su parte, los análisis de regresión múltiple arrojaron resultados diversos, desde la nula mejora (respecto a la regresión simple) en la estación de Porreres (B346a) hasta la elevada significación de los cinco términos del polinomio en otras dos estaciones (B434 y B569). Los coeficientes de determinación múltiple, ajustados para tener en cuenta el diferente número de grados de libertad, sólo presentan ligeras mejoras respecto a la varianza explicada por las regresiones simples.

La figura 5 muestra los residuos de ambos modelos (simple y múltiple) frente a los valores estimados, para la estación del faro de Portocolom (B434), que es la que presenta una mayor mejora en la varianza explicada, desde el 96,47 % del modelo simple hasta el 97,65 % del polinómico. Pero esta diferencia sigue siendo muy pequeña y, en la figura, únicamente se observan dos residuos de la regresión simple que sean mayores que los de la polinómica.

B954 – Aeropuerto de Ibiza

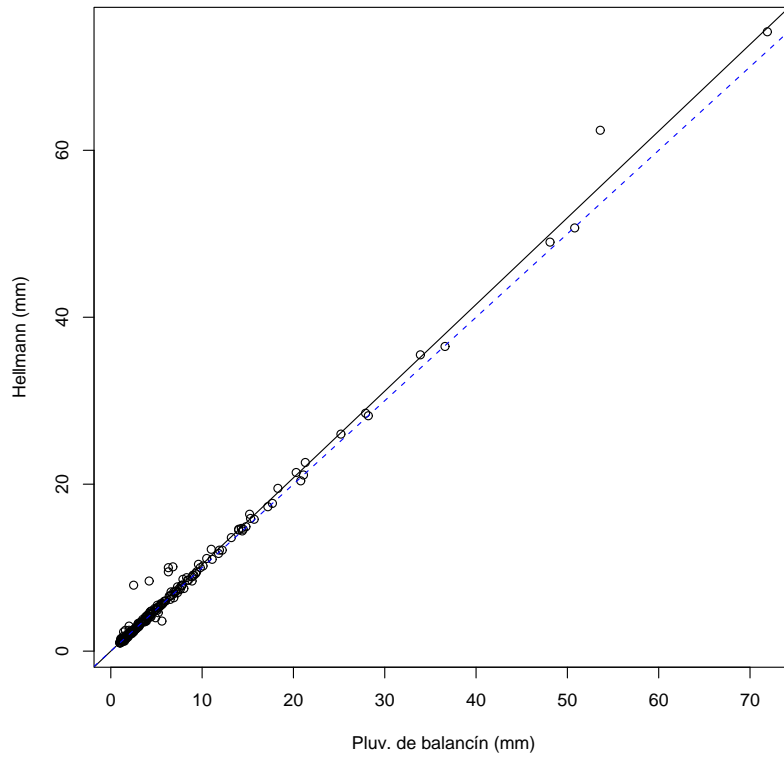


Figura 3: Mejor ajuste de regresión lineal simple

B569 – Faro de Capdepera

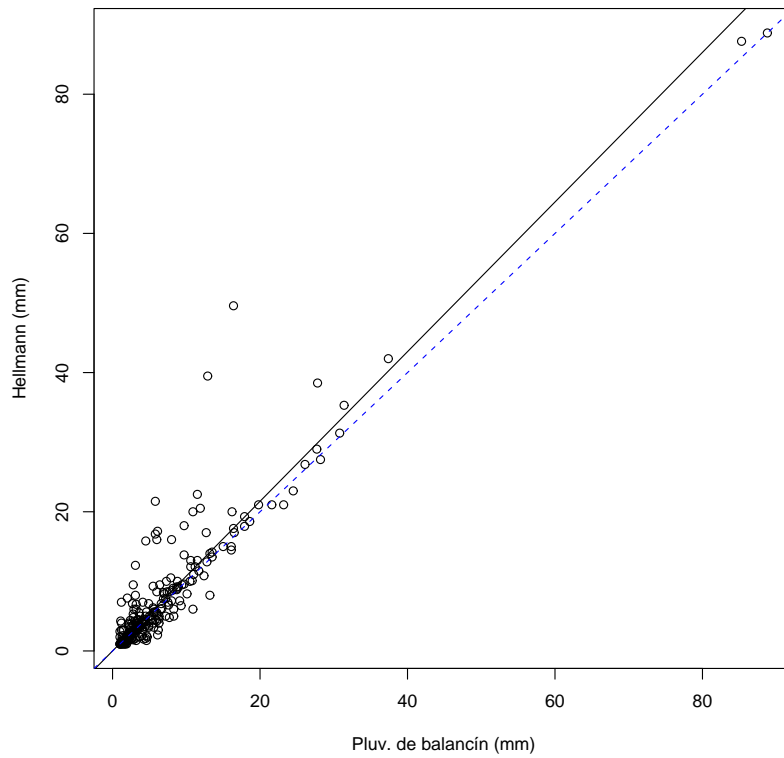


Figura 4: Peor ajuste de regresión lineal simple

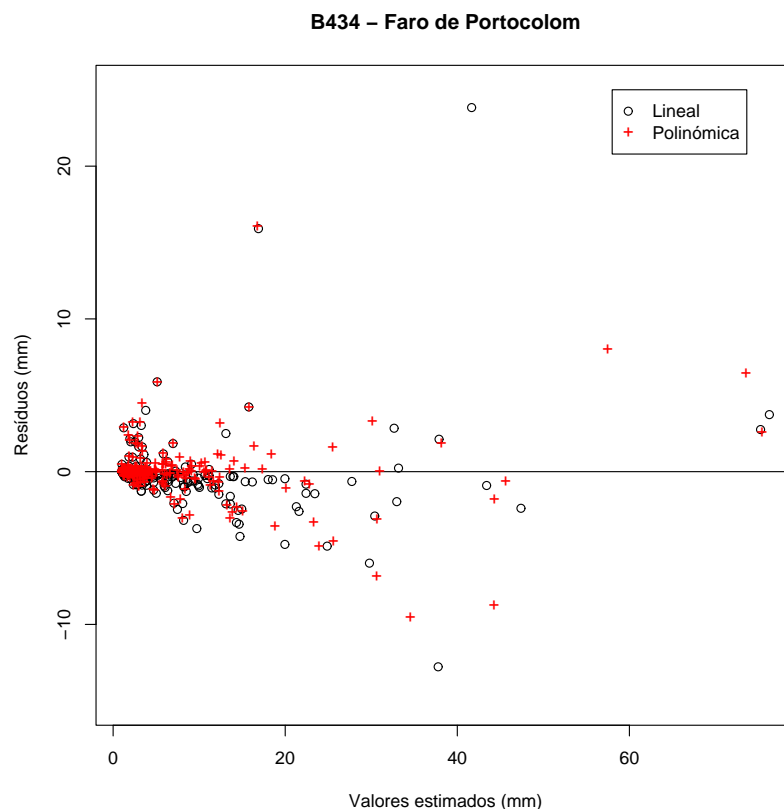


Figura 5: Residuos de las regresiones simple y múltiple, frente a los valores estimados, en la estación con mayor mejora en la varianza explicada.

Así pues, la intensidad de la precipitación no parece influir decisivamente en los errores de medida: algunos de los términos del modelo polinómico resultan estadísticamente significativos, pero con resultados poco coherentes de unas estaciones a otras. Si se tratase de una relación causal real, debería observarse un patrón más regular en las potencias seleccionadas en las diferentes estaciones. Y, además, los niveles de significación hay que tomarlos aquí con grandes reservas, puesto que los datos que manejamos distan mucho de seguir una distribución normal de probabilidad.

4. Conclusiones

Los pluviómetros de balancín de las estaciones meteorológicas automáticas de las Islas Baleares tienden a subestimar la precipitación, en comparación con los pluviómetros convencionales.

Sin embargo, la intensidad de la precipitación no parece tener una influencia clara en la magnitud de estos errores, puesto que los modelos de regresión ensayados haciendo intervenir la intensidad, arrojan resultados poco coherentes y de dudosa significación estadística.

Referencias

Fankhauser R (1998): Influence of systematic errors from tipping bucket rain gauges on recorded rainfall data. *Water Science and Technology*, 37:121-129.

Habib E, Krajewski WF, Kruger A (2001): Sampling errors of tipping-bucket rain gauge measurements. *Journal of Hydrologic Engineering*, 6:159-166.

Sevruk B (1996): Adjustment of tipping-bucket precipitation gauge measurements. *Atmospheric Research*, 42:237-246.