

UN METODO NUMERICO PARA ESTIMAR LA FUNCION INTENSIDAD DE PRECIPITACION: SIMULACION A PARTIR DE UN PLUVIOMETRO DE BALANCIN

A. Redaño ¹ y S. Alonso ².

Resumen

A partir de la aproximación de orden cero a la intensidad de la lluvia, proporcionada por los instantes de vuelco de un pluviómetro de balancín, se obtiene una estima de la función intensidad de precipitación. El algoritmo que se presenta, permite obtener una función polinómica a trozos, continua y tal que, en cada intervalo, su valor medio concuerda con la aproximación de orden cero. Se presentan varios ejemplos de aplicación a chubascos caídos en Barcelona, se simula lo que hubiera ocurrido de disponer de capacidad doble del balancín y se indica la posibilidad de simular el comportamiento de un pluviómetro de capacidad mitad del usado.

Abstract

An estimate of the rainfall rate function is obtained from the zeroth order approximation provide by the instants at which the bucket of a tilting-bucket type collector tilts. The algorithm presented here allows us to obtain a piecewise polinomial function, continuous and wich, within each interval, has an average concordant with the zeroth order approximation. Some examples of application to showers fall in Barcelona (Spain) are presented. A simulation of the behaviour of a hypothetical double capacity tilting-bucket collector is dicussed and the possibi-

lity of simulating a half capacity collector is indicated.

Keywords: Rainfall, Rate, Simulation.

1. Introducción

La intensidad de precipitación es una variable que interesa conocer en estudios tanto meteorológicos como climatológicos o de aplicación. Permite, por ejemplo, discriminar la lluvia de origen convectivo de la que no lo es o estudiar la estructura fina de las células tormentosas. En telecomunicación y teledetección está relacionada con los desvanecimientos de la señal y tiene interés conocer el comportamiento climatológico de la intensidad de precipitación para reducir los riesgos al mínimo, o emplear dicho desvanecimiento para obtener información de la estructura espacial de la precipitación. En este caso la medida "in situ" de la intensidad de lluvia se puede usar para calibrar los algoritmos de cálculo que se emplean en técnicas de teledetección.

Como es sabido, existen distintos tipos de instrumentos que permiten determinar la intensidad de precipitación. Entre ellos cabe destacar el pluviógrafo de intensidad diseñado por el profesor Ramón Jardí (Jardí, 1921, 1927; Fontseré, 1922) en el que un flotador de sección variable acciona mecánicamente un sistema de registro que transforma el movimiento del flotador en intensidad de precipitación. Uno de los inconvenientes que presenta el instrumento es la insuficiente resolución en tiempo, pues el mecanismo de relojería que tiene incorporado hace que el tambor que soporta la banda de registro gire a ra-

¹ Dpto. de Física de la Tierra y del Cosmos. Universidad de Barcelona.

² Dept. de Física. Universidad de las Islas Baleares.

zón de una vuelta por día. Además, la sustitución diaria de la banda impide que el instrumento sea operativo en proyectos tales como el establecimiento de redes pluviométricas densas, en las que no son posibles las operaciones diarias de mantenimiento del instrumental instalado.

Más recientemente, se han proyectado y construido otros pluviómetros de intensidad como el propuesto por Semplak (1966) en el que el agua recogida hace variar la capacidad de un condensador en función de la intensidad de la lluvia; o el desarrollado por Norbury y White (1971) que convierte en gotas del mismo tamaño el agua recogida por el colector y mediante un sistema óptico que permite contabilizarlas determina la intensidad de precipitación. Este instrumento sólo es útil para intensidades inferiores a 200 mm/h; mientras que el primero requiere frecuentes operaciones de mantenimiento con el fin de limpiar la suciedad acumulada en las placas del condensador.

Uno de los pluviómetros que por su sencillez mecánica y bajo coste está siendo ampliamente utilizado es el pluviómetro de balancín (Puigcerver y Alonso, 1979; Puigcerver, Alonso y Lorente, 1982), que permite estima de la intensidad de precipitación sin más que calcular la intensidad media entre vuelco y vuelco. Se puede decir que es una aproximación de orden cero a la intensidad de la lluvia I , dando a entender con esto que la curva $I(t)$ sería la yuxtaposición de funciones escalón y por lo tanto de pendiente nula para cualquier valor del tiempo t excepto en los instantes de vuelco. En este trabajo se presenta un algoritmo que permite, a partir de las intensidades medias, calcular de forma sencilla mejores aproximaciones a la curva $I(t)$.

2. Fundamento del método

En la figura 1 puede observarse un esquema de una curva ficticia $P(t)$ en la que en abscisa se representa el tiempo y en ordenadas la precipitación. La derivada de esa curva proporcionaría la función $I(t)$. En un pluviómetro de balancín se conocen como datos los instantes: t^i ($i = 1, 2, \dots$,

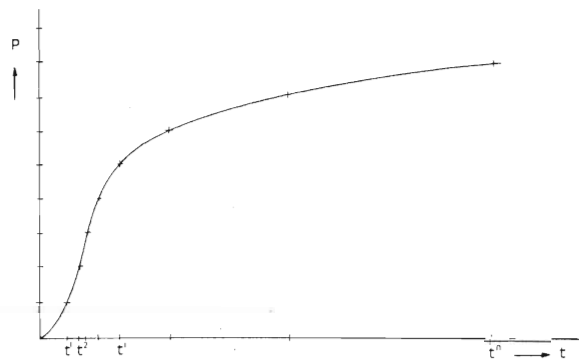


Figura 1.—Esquema de una curva de precipitación $P(t)$.

n) en que se producen los vuelcos que corresponden a una misma precipitación P determinada por la superficie colectora y la capacidad del dispositivo basculante. A partir de ellos se puede obtener la aproximación de orden cero que estaría formada por las intensidades medias

$$\bar{I}_i = P/\Delta_i \quad [1]$$

para $t^{i-1} < t < t^i$ con $\Delta_i = t^i - t^{i-1}$ e $i = 2, 3, \dots, n$ (*)

La propuesta que en este trabajo se hace para la función $I(t)$ es tal que en cada intervalo es un polinomio a lo sumo de cuarto grado cuyo valor medio entre los dos vuelcos coincide con la aproximación de orden cero, es continua y con derivada primera continua en todos los puntos.

Para determinar los valores de la intensidad I^i y su derivada \dot{I}^i en el instante de vuelco t^i se considera un desarrollo en serie en torno a t^i prescindiendo de los términos en tercer grado y superiores en Δ_i y Δ_{i+1} , con lo que

$$\begin{aligned} P &\simeq I^i \Delta_{i+1} + 1/2 \dot{I}^i \Delta_{i+1}^2 \\ P &= I^i \Delta_i - 1/2 \dot{I}^i \Delta_i^2 \end{aligned} \quad [2]$$

de donde

$$I^i = \frac{P(\Delta_i^2 + \Delta_{i+1}^2)}{\Delta_i \Delta_{i+1}(\Delta_i + \Delta_{i+1})} \quad [3]$$

(*) Las variables que corresponden a instantes de vuelco se indican con superíndices, mientras que las correspondientes a los intervalos entre vuelco y vuelco lo están con subíndices.

$$\dot{I}^i = \frac{2P(\Delta_{i+1} - \Delta_i)}{\Delta_i \Delta_{i+1} (\Delta_i + \Delta_{i+1})}$$

Para el primer y último vuelco se admite

$$\begin{aligned} I^1 &= I^2 - \dot{I}^2 \Delta_2 \\ I^n &= I^{n-1} + \dot{I}^{n-1} \Delta_n \end{aligned} \quad [4]$$

Las expresiones [3] se pueden escribir en función de los valores medios de la intensidad en cada intervalo a partir de [1] quedando en la forma

$$\begin{aligned} I^i &= \frac{\bar{I}_i^2 + \bar{I}_{i+1}^2}{\bar{I}_i + \bar{I}_{i+1}} \\ \dot{I}^i &= 2 \frac{I^i - \bar{I}_i}{\Delta_i} = 2 \frac{\bar{I}_{i+1} - I^i}{\Delta_{i+1}} \end{aligned} \quad [5]$$

expresiones en las que se observa la simetría para los valores de I^i e \dot{I}^i en función de los valores medios. Por otra parte la primera de [5] nos indica que I^i es la media ponderada de las intensidades medias en los intervalos anterior y posterior del instante de vuelco t^i con las propias intensidades medias \bar{I}_i e \bar{I}_{i+1} como pesos. La segunda de [5] expresa que los valores de \dot{I}^i indican la diferencia entre los valores de I^i calculados y valores medios a uno y otro lado.

En los $n - 3$ intervalos centrales, los cuatro valores I^{i-1} , \dot{I}^{i-1} , I^i , \dot{I}^i que se deducen de [3] o [5] junto con la condición de coincidencia del valor medio \bar{I}_i determinan los cuatro coeficientes y el término independiente de un polinomio a lo sumo de cuarto grado. En los intervalos extremos Δ_2 y Δ_n de [3] o [5] y [4] sólo se deducen en total cuatro condiciones con lo que se puede determinar un polinomio a lo sumo de tercer grado para cada uno de estos intervalos.

3. Deducción del algoritmo

En cada uno de los $n - 3$ intervalos centrales la función de intensidad de precipitación adoptará la forma

$$I_i(x) = B_{i4} x^4 + B_{i3} x^3 + B_{i2} x^2 + B_{i1} x + B_{i0} \quad [6]$$

en la que

$$0 \leq x \leq \Delta_i$$

siendo B_{ij} ($j = 0, 1, \dots, 4$) los coeficientes a determinar. Imponiendo las condiciones de contorno en los extremos del intervalo se obtienen las ecuaciones

$$\begin{aligned} I_i(0) &= B_{i0} = I^{i-1} \\ \dot{I}_i(0) &= B_{i1} \\ &= \dot{I}^i - 1 \\ I_i(\Delta_i) &= \Delta_i^4 B_{i4} + \Delta_i^3 B_{i3} + \Delta_i^2 B_{i2} + \Delta_i \dot{I}^{i-1} + I^{i-1} = I^i \\ \dot{I}_i(\Delta_i) &= 4\Delta_i^3 B_{i4} + 3\Delta_i^2 B_{i3} + 2\Delta_i B_{i2} + \dot{I}^{i-1} = \dot{I}^i \\ \bar{I}_i(\Delta_i) &= \Delta_i^4 B_{i4} + \Delta_i^3 B_{i3} + \Delta_i^2 B_{i2} + \Delta_i \dot{I}^{i-1} + I^{i-1} = \bar{I}_i \end{aligned} \quad [7]$$

que junto con la condición de que el valor medio de la función intensidad coincida con P/Δ_i , es decir

$$\begin{aligned} 1/2 \int_0^{\Delta_i} I_i(x) dx &= \frac{1}{5} \Delta_i^4 B_{i4} + \frac{1}{4} \Delta_i^3 B_{i3} + \\ &+ \frac{1}{3} \Delta_i^2 B_{i2} + \frac{1}{2} \Delta_i \dot{I}^{i-1} + I^{i-1} \end{aligned} \quad [8]$$

permite obtener los coeficientes B_{ij} del polinomio como sigue

$$\begin{aligned} B_{i0} &= I^{i-1} \\ B_{i1} &= \dot{I}^i - 1 \\ B_{i2} &= -3(8 C_{i1} - C_{i2} \Delta_i - 20 C_{i3})/2 \Delta_i^2 \\ B_{i3} &= 2(14 C_{i1} - 2 C_{i2} \Delta_i - 30 C_{i3})/\Delta_i^3 \\ B_{i4} &= -5(6 C_{i1} - C_{i2} \Delta_i - 12 C_{i3})/2\Delta_i^4 \end{aligned} \quad [9]$$

donde

$$\begin{aligned} C_{i1} &= I^i - I^{i-1} - \Delta_i \dot{I}^{i-1} \\ C_{i2} &= \dot{I}^i - \dot{I}^{i-1} \\ C_{i3} &= (P/\Delta_i) - I^{i-1} - (\Delta_i \dot{I}^i - 1/2) \end{aligned} \quad [10]$$

Para el primer y último intervalo la función $I(t)$ viene dada, como ya se ha dicho, por un polinomio de tercer grado cuyos coeficientes se obtienen, en cada caso, al resolver los sistemas

$$\begin{aligned}
 I_2(0) &= B_{20} = I^1 \\
 I_2(\Delta_2) &= \Delta_2^3 B_{23} + \Delta_2^2 B_{22} + \Delta_2 B_{21} + I^1 = I^2 \\
 \dot{I}_2(\Delta_2) &= 3 \Delta_2^2 B_{23} + 2 \Delta_2 B_{22} + B_{21} = \dot{I}^2 \\
 \bar{I}_2 &= 1/4 \Delta_2^3 B_{23} + 1/3 \Delta_2^2 B_{22} + 1/2 \Delta_2 B_{21} + I^1 = P/\Delta_2
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
 I_n(0) &= B_{n0} = I^{n-1} \\
 \dot{I}_n(0) &= \dot{I} \\
 I_n(\Delta_n) &= \Delta_n^3 B_{n3} + \Delta_n^2 B_{n2} + \Delta_n \dot{I}^{n-1} + I^{n-1} = I^n \\
 \bar{I}_n &= 1/4 \Delta_n^3 B_{n3} + 1/3 \Delta_n^2 B_{n2} + 1/2 \Delta_n \dot{I}^{n-1} + I^{n-1} = P/\Delta_n
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

haciendo en [11]

$$\begin{aligned}
 C_{21} &= I^2 - I^1 \\
 C_{22} &= \dot{I}^2 \\
 C_{23} &= P/\Delta_2 - I^1 = \bar{I}_2 - I^1
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

y en [12]

$$\begin{aligned}
 C_{n1} &= I^n - I^{n-1} - \dot{I}^{n-1} \Delta_n \\
 C_{n2} &= P/\Delta_n - I^{n-1} - 1/2 \dot{I}^{n-1} \Delta_n
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

los coeficientes B_{2j} y B_{nj} se expresan de la forma

$$\begin{aligned}
 B_{20} &= I^1 \\
 B_{21} &= -(6 C_{21} - C_{22} \Delta_2 - 12 C_{23})/\Delta_2 \\
 B_{22} &= 3(5 C_{21} - C_{22} \Delta_2 - 8 C_{23})/\Delta_2^2 \\
 B_{23} &= -2(4 C_{21} - C_{22} \Delta_2 - 6 C_{23})/\Delta_2^3
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

$$\begin{aligned}
 B_{n0} &= I^{n-1} \\
 B_{n1} &= \dot{I}^{n-1} \\
 B_{n2} &= -(3 C_{n1} - 12 C_{n2})/\Delta_n^2 \\
 B_{n3} &= (4 C_{n1} - 12 C_{n2})/\Delta_n^3
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Las ecuaciones [9], [15] y [16] proporcionan el valor de los coeficientes de la función $I(t)$ para cada uno de los $n - 1$ intervalos y permiten por tanto, determinar el valor de la intensidad de precipitación en cualquier instante t a partir de los datos de un pluviómetro de balancín.

4. Tratamiento de los intervalos singulares

Cualquier función que represente la variación de la intensidad de precipitación con el tiempo en un chubasco deberá estar acotada en todo su dominio. Por ser funciones polinómicas las que se proponen lo estarán en los $n - 1$ intervalos de definición. Sin embargo, esto no asegura el buen comportamiento de la función en todo el dominio; ya que, mientras el máximo de la función no se puede determinar a priori a partir de los datos del pluviómetro de balancín y, como es evidente, varía de un chubasco a otro, el mínimo de la función debe ser necesariamente cero. No se podrá, por tanto, admitir valores negativos de la función intensidad en ningún punto del dominio.

En los $n - 2$ instantes de vuelco centrales la intensidad de precipitación calculada a partir de [3] es estrictamente positiva, sin embargo, puede ser negativo en t^1 y t^n (primer y último vuelco). De las expresiones [3] y [4] se deduce

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{(\Delta_2 + \Delta_3)^2 - 2 \Delta_2^2}{\Delta_2 \cdot \Delta_3 (\Delta_2 + \Delta_3)} \\
 I &= \frac{(\Delta_{n-1} + \Delta_n)^2 - 2 \Delta_n^2}{\Delta_{n-1} \cdot \Delta_n (\Delta_{n-1} + \Delta_n)}
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

imponiendo $I_1 \geq 0$ e $I_n \geq 0$ se obtiene

$$\begin{aligned}
 \Delta_3 &\geq (\sqrt{2} - 1) \Delta_2 \\
 \Delta_{n-1} &\geq (\sqrt{2} - 1) \Delta_n
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Si los datos proporcionados por el pluviómetro no cumplieren alguna de las dos condiciones exigidas en [18], se deberá introducir, en cada caso, un dato ficticio Δ_1 o Δ_{n+1} que cumpla

$$\Delta_1 \leq \frac{\Delta_2}{\sqrt{2} - 1}
 \tag{19}$$

$$\Delta_{n+1} \leq \frac{\Delta_n}{\sqrt{2} - 1}
 \tag{19}$$

asegurando de esta forma que la intensidad de lluvia sea positiva en los n instantes del vuelco.

Puede ocurrir también que en algún intervalo (t^{j-1}, t^j) , en el que la intensidad media de precipitación sea pequeña, el polinomio tenga dos ceros en el interior de dicho intervalo (figura 2), en tal caso la intensidad sería menor que cero en el intervalo limitado por las dos raíces del po-

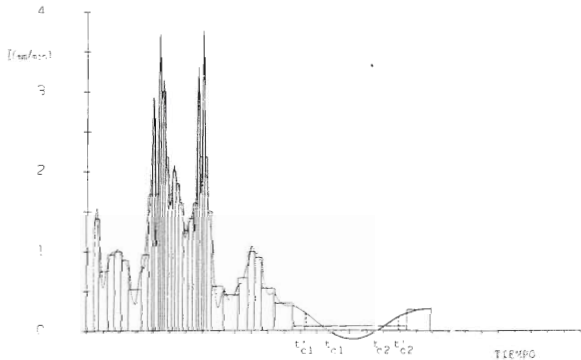


Figura 2.—Ejemplo de un intervalo singular.

linomio. Si t_{c1} y t_{c2} son los instantes en los que la intensidad se anula, se cumplirá que

$$\int_0^{\Delta_{c1}} I_j(x) dx + \int_{\Delta_{c2}}^{\Delta_j} I_j(x) dx > P \quad [20]$$

siendo $\Delta_j = t^j - t^{j-1}$, $\Delta_{c1} = t_{c1} - t^{j-1}$ y $\Delta_{c2} = t_{c2} - t^{j-1}$.

No es posible, por tanto, aceptar como solución los intervalos positivos del polinomio $I_j(x)$ y suponer intensidad cero en el negativo, puesto que entonces el valor medio de la función no coincidiría con el proporcionado por el pluviómetro.

La solución que se propone para estos casos consiste en modificar la función $I_j(x)$ de forma que conserve el valor medio \bar{I}_j de la intensidad en el intervalo j , imponiendo además la condición de que sea mayor o igual que cero en todos los puntos del intervalo.

Para ello, se determinan los instantes t'_{c1} y t'_{c2} de forma que se cumpla

$$\int_0^{\Delta'_{c1}} I_j(x) dx + \int_{\Delta'_{c2}}^{\Delta_j} I_j(x) dx = P \quad [21]$$

con la condición adicional de que se mantenga la relación entre las áreas limitadas por la fun-

ción $I_j(x)$ con los intervalos (t^{j-1}, t_{c1}) y (t_{c2}, t^j) y las obtenidas al integrarla entre t^{j-1}, t'_{c1} y t'_{c2}, t^j (figura 2), es decir

$$\frac{\int_0^{\Delta_{c1}} I_j(x) dx}{\int_{\Delta_{c2}}^{\Delta_j} I_j(x) dx} = \frac{\int_0^{\Delta'_{c1}} I_j(x) dx}{\int_{\Delta'_{c2}}^{\Delta_j} I_j(x) dx} \quad [22]$$

siendo $\Delta'_{c1} = t'_{c1} - t^{j-1}$ y $\Delta'_{c2} = t'_{c2} - t^{j-1}$

La solución $I(x)$ adoptada (figura 2) en el intervalo j será entonces

$$I(x) = \begin{cases} I_j(x) & \text{si } 0 < x \leq \Delta'_{c1} \\ 0 & \text{si } \Delta'_{c1} < x < \Delta'_{c2} \\ I_j(x) & \text{si } \Delta'_{c2} \leq x < \Delta_j \end{cases} \quad [23]$$

Se trata, pues de intervalos singulares ya que aunque la función intensidad adoptada como solución en dicho intervalo conserva la intensidad media dada por el pluviómetro, presenta dos puntos de discontinuidad. Hay que señalar, sin embargo, que estos casos se presentan esporádicamente: sólo cuando la intensidad de precipitación es muy pequeña en comparación con la de los intervalos colindantes. Posiblemente se trata de intervalos en los que ha dejado de llover durante algún tiempo.

5. Ejemplos de aplicación

Lo anteriormente expuesto se ha aplicado a dos chubascos registrados con un pluviómetro de balancín calibrado de forma que vuelca al recoger el equivalente a 0,2 mm de precipitación. En la figura 3 se presenta la aproximación de orden

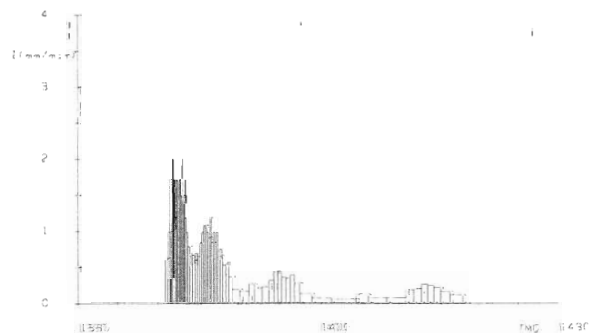


Figura 3.—Chubasco del 27 de agosto de 1984. Aproximación cero.

cero correspondiente al chubasco ocurrido el 27 de agosto de 1984 mientras que en la figura 4 se tiene la solución proporcionada por el método introducido en este trabajo. Obsérvese, como es lógico, que quedan acentuados los máximos relativos de intensidad de precipitación.

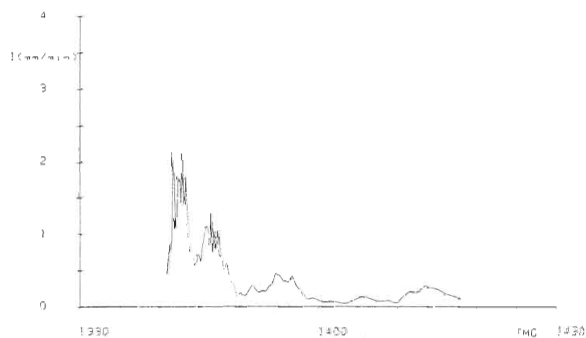


Figura 4.—Chubasco del 27 de agosto de 1984. Solución de este trabajo.

El segundo chubasco estudiado corresponde al día 5 de noviembre del mismo año. En la figura 5 se presenta la aproximación de orden cero y en la 6 la solución obtenida en este caso. Nótese la existencia de un intervalo en el que la fun-

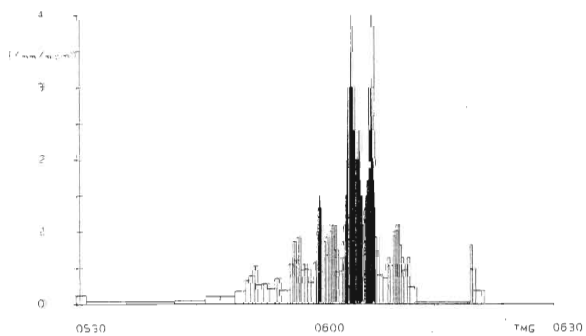


Figura 5.—Chubasco del 5 de noviembre de 1984. Aproximación cero.

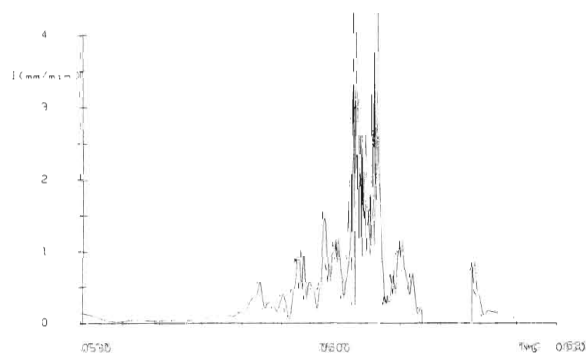


Figura 6.—Chubasco del 5 de noviembre de 1984. Solución de este trabajo.

ción intensidad obtenida por el método general no ha podido ser adoptada como solución, siendo necesario entonces modificarla según se ha descrito en el apartado anterior. Este ha sido, sin embargo, el único intervalo singular que se ha presentado.

Con el fin de estudiar la influencia de la capacidad del balancín, se ha prescindido, en los dos casos, de la mitad de los datos simulando de esta forma lo que hubiera ocurrido de tener instalado en el mismo lugar un pluviómetro de capacidad equivalente a 2P en lugar de P. Los resultados se muestran en las figuras 7 y 8 en las que se han representado también las aproximacio-



Figura 7.—Chubasco del 27 de agosto de 1984. Solución obtenida prescindiendo de la mitad de los datos y comparación con la correspondiente aproximación de orden cero.

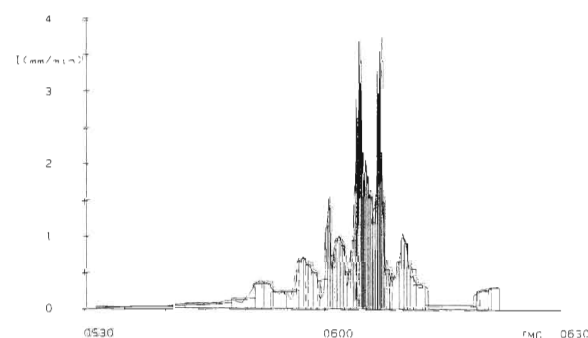


Figura 8.—Chubasco del 5 de noviembre de 1984. Solución obtenida prescindiendo de la mitad de los datos y comparación con la correspondiente aproximación de orden cero.

nes de orden cero. Como es lógico se pierde, en ambos casos, parte de la estructura fina de la intensidad de precipitación.

Puesto que el conocimiento de la función $I(t)$ nos permite simular numéricamente el registro que se obtendría con un pluviómetro de balancín de ca-

pacidad elegida P , sin más que anotar los instantes t_i en los que la precipitación obtenida al integrar $I(t)$ coincida con P ; se ha calculado la aproximación de orden cero a la intensidad (con $P = 0,2$ mm) a partir de la solución $I(t)$ (figuras 7 y 8) hallada prescindiendo de la mitad de los datos. Los resultados se presentan en las figuras 9 y 10. Para su análisis se ha procedido a la comparación entre los valores de la intensi-

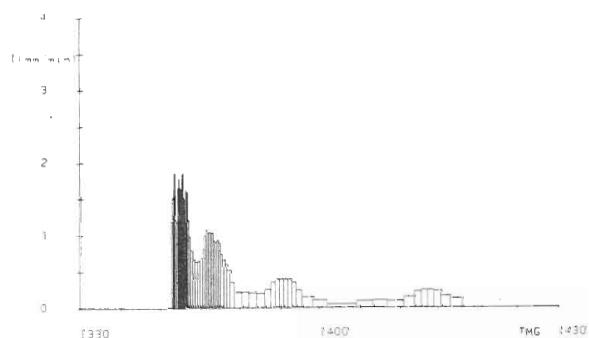


Figura 9.—Chusbasco del 27 de agosto de 1984. Aproximación de orden cero obtenida mediante simulación numérica a partir de la solución $I(t)$ hallada al prescindir de la mitad de los datos.

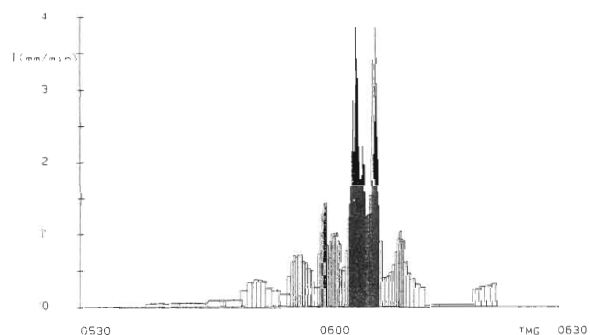


Figura 10.—Chusbasco de 5 de noviembre de 1985. Aproximación de orden cero obtenida mediante simulación numérica a partir de la solución $I(t)$ hallada al prescindir de la mitad de los datos.

dad media obtenidos en los $n - 1$ intervalos con los proporcionados originalmente en el pluviómetro (figuras 4 y 5), las desviaciones calculadas son en más del 80 % de los intervalos menores que las que se obtienen cuando se compara el registro original con el generado al prescindir de la mitad de los datos. Ello indica que es posible, en general, mejorar el conocimiento de la intensidad de precipitación a partir del algoritmo descrito.

Por último, se ha aplicado el método presentado en este trabajo a la aproximación de orden cero obtenida mediante simulación numérica, determinando de esta forma una nueva función intensidad (figuras 11 y 12), para repetir de nue-

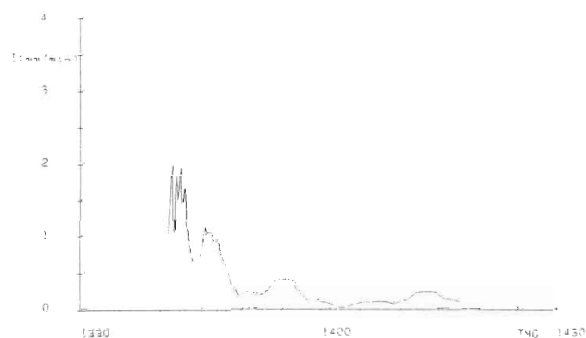


Figura 11.—Chusbasco del 27 de agosto de 1984. Solución obtenida a partir de la aproximación de orden cero simulada numéricamente.

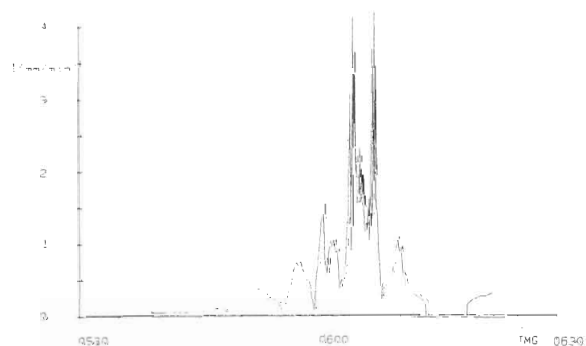


Figura 12.—Chusbasco del 5 de noviembre de 1984. Solución obtenida a partir de la aproximación de orden cero simulada numéricamente.

vo el proceso eligiendo ahora una capacidad $P/2$, es decir, simulando el registro que se obtendría con un pluviómetro que volcara al recoger el equivalente a 0,1 mm de precipitación. La figura 13 muestra el resultado para el chusbasco

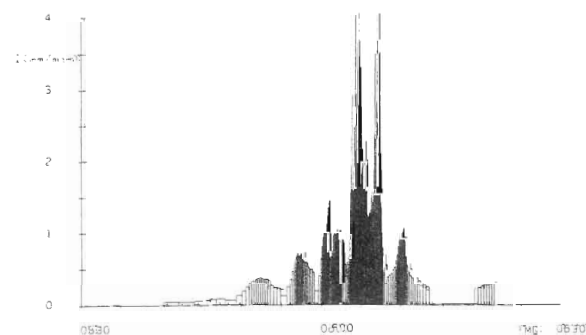


Figura 13.—Chusbasco del 5 de noviembre de 1984. Aproximación de orden cero simulada eligiendo una capacidad $P/2$ (0,1 mm).

del 5 de noviembre. Es destacable el hecho de que "reconstruye" la intensidad media máxima, que fue de 4 mm/min en dos intervalos, a partir de los datos que se presentan en la figura 8 y en los que se parte de un valor medio de 3,4 mm min en cada uno de los dos intervalos.

6. Conclusiones

El método descrito permite, a partir de los instantes de vuelco un pluviómetro de balancín, obtener mejor información sobre la intensidad de lluvia que con el simple cálculo de las intensidades medias entre vuelco y vuelco. Incluso se logra una cierta mejora si se parte de un pluviómetro con capacidad doble aunque, como es lógico, se pierde parte de la estructura fina del chubasco.

Es posible, además, lograr una mejor estima de los valores máximos de la intensidad y se podría precisar tanto las horas de ocurrencia de dichos máximos como los tiempos en que se superan ciertos valores de la intensidad de lluvia.

Se puede mejorar el conocimiento de la estructura de un chubasco, a partir de su intensidad de precipitación, simulando mediante nuevas particiones lo que podría ocurrir con un pluviómetro de capacidad de balancín menor de la que posee, sin más que calcular los instantes en que se

conseguiría precipitación $P/2$ y repitiendo el proceso para los nuevos tiempos así calculados.

Por último, los programas desarrollados para la aplicación del método propuesto también (conectando el pluviómetro a un microprocesador) obtener en tiempo real la variación de la intensidad de precipitación durante el chubasco.

Bibliografía

- FONTSERÉ, E. (1922): "Intensitätspluviograph nach Jardí". Meteor. Zeits., 39, 89.
- JARDÍ, R. (1921): "Un pluviógraf d'intensitats". Notes d'Estudi, Servei Meteorologic de Catalunya, I, 2, 3-10, Barcelona.
- JARDÍ, R. (1927): "Estudis de la intensitat de la pluja a Barcelona". Memòries de l'Institut d'Estudis Catalans, I, Fasc. II, 51-56, Barcelona.
- NORBURY, J. R. y WHITE, W. J. (1971): "A rapid response rain gauge". Jour. Physics. Sci. Instr., Vol. 4, 601-602.
- PUIGSERVER, M.; ALONSO, S. (1979): "Un pluviómetro de intensidad de lluvia". III Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, III, 951-960. Madrid.
- PUIGSERVER, M.; ALONSO, S.; LORENTE, J. (1982): "Un pluviómetro automático de balancín". Rev. de Geofísica, 38, 2, 139-148.
- SEMPER, R. A. (1966): "Gauge for continuously measuring rate of rainfall". Rev. Sci. Instrum., 37, 11, 1554-1558.