

CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF) DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DEL CIM-FICH. SERIE 1986–2016

Ramiro Marcus, María del Valle Morresi^(*), Esteban Elizalde Carrillo, José Macor e Ignacio Cristina

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Santa Fe. Argentina

^(*)email: valle@fich.unl.edu.ar

RESUMEN

El estudio de la precipitación, su distribución y evolución temporal son de interés para proyectos de diseño hidrológico. Las curvas IDF es la metodología más utilizada para definir la tormenta de diseño en base a la relación entre la intensidad de la lluvia, la duración y la recurrencia. Su construcción muchas veces se ve limitada por la escasa disponibilidad de datos pluviográficos, referente a la cobertura espacial de las estaciones y a la longitud insuficiente de los registros. El presente trabajo tiene por objetivo actualizar las curvas IDF del Centro de Informaciones Meteorológicas (CIM) "Lic. Enrique B. Rodríguez", Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral (FICH-UNL). Las curvas IDF fueron calculadas por el método de Sherman y se verificó que la intensidad de precipitación decrece cuando aumenta la duración y para una misma duración, la intensidad aumenta con el periodo de retorno. Las intensidades menores e iguales a 10 minutos superan los 100 mm.h⁻¹ para todas las recurrencias. Las curvas IDF determinadas para la estación del CIM presentan intensidades de lluvia menores a las definidas para las localidades de Rafaela y Paraná, con diferencias porcentuales que aumentan con la recurrencia.

Palabras clave: IDF, intensidad, precipitación, CIM

ABSTRACT

The study of the rainfall distribution and temporal evolution is interesting in hydrological design projects. The IDF curves is most useful methodology to define the design storm based on rain intensity, duration and recurrence. Its construction has often been limited by the availability of pluviographic data, in relation to the spatial coverage of the stations and the insufficient length of the records. The objective of this work is to update the curves of the IDF of the Meteorological Information Center (CIM) "Lic. Enrique B. Rodríguez", Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral (FICH-UNL). The IDF curves was determined by Sherman methodology and was verified that the rain intensity decreases when the duration increases and, during the same duration, the rain intensity increases with the return period. The rain intensities less than and equal to 10 minutes exceed 100 mm/h for all recurrences. The IDF curves for the CIM station show a lower rain intensity and those defined for the cities of Rafaela and Paraná, with percentage differences that increase with recurrence.

Keywords: IDF, intensity, rainfall, CIM

INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida y constituye un bien de consumo indispensable en todas las actividades que desarrolla el hombre, ya que posibilita la expansión demográfica y los progresos de la producción, pero en cantidades extremas y no controladas: excesivas (inundación) o reducidas (sequía), puede provocar un desastre.

Si bien como recurso hídrico es la necesidad más urgente para el ser humano, son muy pocas las poblaciones que disponen de este elemento en cantidad suficiente, ya que su distribución en el mundo es desigual. El aumento de la población y el crecimiento tecnológico han potenciado la variedad e intensidad de los usos del agua, incrementando su importancia estratégica y evidenciando su vulnerabilidad.

Es indispensable realizar tareas de planificación y gestión a mediano y largo plazo que tiendan al uso racional del recurso, preservando tanto su cantidad como calidad. Estas tareas no son factibles de realizar si no se dispone del conocimiento de las variables que cuantifican la existencia y movimiento del agua dentro de una cuenca. Para los profesionales que estudian el recurso hídrico es de fundamental importancia la caracterización de las lluvias intensas que se utilizan para estimar indirectamente los caudales de diseño (Bertoni y Tucci, 2003).

Debido a que la disponibilidad de información de caudales es escasa, se han desarrollado metodologías para realizar la estimación indirecta de caudales a partir de la precipitación, que es una variable cuyo registro es más sencillo, más extenso y frecuente; a pesar de ello, en ocasiones se presentan problemas frente a registros poco extensos y/o incompletos. Es así como el conocimiento de las características de las precipitaciones intensas es importante para el diseño de obras hidráulicas, para evitar daños de inundaciones o sequías y preservar la calidad del agua.

Las relaciones entre intensidad-duración-recurrencia (curvas IDF) de las precipitaciones intensas deben ser deducidas a partir de observaciones de precipitaciones ocurridas durante un período largo de tiempo suficientemente representativo de los eventos extremos del lugar. De allí parte la necesidad de disponer de registros pluviográficos suficientemente extensos para establecer claramente patrones de comportamiento de las lluvias que

permitan diseños racionales, confiables y efectivos para la ingeniería hidráulica y que constituyan a su vez una herramienta de análisis y planificación a largo plazo (Varela et al., 2004).

Según Collazos y Cazenave (2015), para la longitud de los registros pluviográficos, se suele considerar que aunque no se disponga de series superiores a 20-25 años (OMM, 2011) para un cálculo riguroso, con una cierta cantidad de años (superior a 10 años de registro) pueden realizarse –con prudencia– extrapolaciones e inferencias que permitan disponer de valores provisionales a utilizar (los mejores posibles de momento) mientras se continúa recogiendo y procesando nueva información.

Las curvas IDF con que se dispone actualmente en el CIM fueron determinadas en el año 2003 para una serie de registros pluviográficos de 17 años (1986–2002) y fueron luego actualizadas con nuevos registros en el año 2010, contabilizándose una extensión total de la serie de 25 años (1986–2010).

En este trabajo, realizado en el marco de una Pasantía de Investigación, se extendió la serie de intensidades máximas hasta el año 2016 (totalizando 31 años de registros) que incluye los eventos extremos de los últimos 6 años. En consecuencia, según Bertoni et al. (2009), la extensión de las series utilizadas permite afirmar que los resultados de aplicar las relaciones propuestas resultan confiables hasta un tiempo de recurrencia de 25 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recopilación de la información pluviográfica

La información pluviográfica necesaria para el desarrollo del presente trabajo fue suministrada por el Centro de Informaciones Meteorológicas (CIM) “Lic. Enrique B. Rodríguez”, Foto 1, perteneciente a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral (FICH-UNL).

El CIM es una Unidad Operativa de Servicios de la Facultad en la que se realizan actividades de: actualización diaria y horaria de la información en la página web; operación y mantenimiento de la Estación Hidrometeorológica, de la Ciudad Universitaria; procesamiento y actualización de datos meteorológicos e hidrológicos básicos en un banco único de datos; aplicación de nuevas tecnologías en el desarrollo de instrumental para

captura de información hidrometeorológica de bajo costo; asesoramiento a diversos grupos de investigación y a organismos provinciales y/o

municipales en lo referente a nuevo equipamiento y sistemas de comunicaciones; apoyo didáctico a profesores y alumnos de diferentes estamentos.



Foto 1. Detalle de la estación meteorológica del CIM.

Como antecedente de este trabajo se consideran:

- El trabajo de Investigación realizado por Piccoli (2003): “Determinación de las curvas intensidad-duración-frecuencia a partir de los datos pluviométricos obtenidos en la estación meteorológica El Pozo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas”, que utilizó la información pluviográfica de las fajas semanales para el período 1986–1999 y diarias del período 2000–2002.
- El trabajo de Investigación desarrollado por Marcus (2010): “Actualización de las curvas intensidad-duración-frecuencia a partir de los datos pluviométricos obtenidos en la estación meteorológica El Pozo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas” se utilizó la información de las fajas diarias para el período 2003–2009 y los registros digitales de la estación automática Pegasus para el período 2007–2009.

La información pluviográfica utilizada en este trabajo se compone de:

- series de fajas semanales, período 1986–1999.
- series de fajas diarias, período 2000–2016.
- información pluviográfica digital, período 2007–2016.

Series de intensidades máximas para distintas duraciones

De acuerdo a la información recopilada, se seleccionó para cada año de la serie 1986–2016, la máxima precipitación registrada para distintas duraciones.

Para el período 1986–1999, se seleccionaron de las fajas semanales, por cada año de la serie, las máximas precipitaciones registradas en 1, 2, 4, 6, 12, 18 y 24 horas. Debido a la precisión en el paso de tiempo de los instrumentos de registro disponibles en dicho período, no fue posible determinar la precipitación máxima para duraciones menores a una hora (Piccoli, 2003).

Para el período 2000–2016, se seleccionaron de las fajas diarias, por cada año de la serie, las máximas

precipitaciones registradas en 10, 20 y 30 minutos y en 1, 2, 4, 6, 12, 18 y 24 horas. A partir del año 2007 se contrastó la información pluviográfica con la

digital. En función de las series de precipitaciones máximas se obtuvieron las series de intensidades máximas para cada duración (Tabla 1).

Tabla 1. Intensidades máximas (mm.h^{-1}) de la serie para cada duración.

Año	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h	4 h	6 h	12 h	18 h	24 h
1986	n/c	n/c	n/c	34.0	20.5	12.5	11.7	6.5	4.4	3.3
1987	n/c	n/c	n/c	14.0	10.0	9.5	9.2	7.2	5.3	4.3
1988	n/c	n/c	n/c	21.8	17.4	9.6	7.5	5.6	3.7	2.8
1989	n/c	n/c	n/c	29.0	19.5	12.5	9.8	7.3	4.9	3.7
1990	n/c	n/c	n/c	25.0	23.3	17.5	15.9	8.5	5.7	4.3
1991	n/c	n/c	n/c	17.0	12.0	7.8	6.0	4.6	3.3	2.5
1992	n/c	n/c	n/c	23.0	20.0	15.8	11.3	6.2	4.1	3.1
1993	n/c	n/c	n/c	33.0	28.5	20.8	16.5	10.5	7.6	6.8
1994	n/c	n/c	n/c	21.3	19.6	9.8	8.0	4.0	2.7	2.0
1995	n/c	n/c	n/c	21.0	17.5	14.5	13.0	7.5	5.8	5.2
1996	n/c	n/c	n/c	63.0	46.5	25.4	16.9	8.5	5.6	4.2
1997	n/c	n/c	n/c	42.0	33.8	18.1	12.1	11.3	7.5	5.6
1998	n/c	n/c	n/c	61.5	35.8	21.1	19.3	10.6	7.8	5.9
1999	n/c	n/c	n/c	20.0	16.5	16.0	12.8	9.2	6.9	6.3
2000	108.0	93.0	76.0	49.0	44.0	33.5	27.5	13.8	9.2	6.9
2001	36.0	30.0	24.0	21.0	18.3	14.9	13.5	7.1	4.8	3.6
2002	90.0	84.0	76.0	58.0	35.3	23.3	18.0	9.2	6.2	4.6
2003	90.0	75.0	75.0	61.5	37.8	20.2	13.9	7.1	4.7	3.5
2004	57.0	52.5	49.0	40.0	27.5	19.6	14.7	7.5	5.0	3.8
2005	63.0	55.5	46.5	41.3	33.1	20.1	16.0	10.9	7.4	5.6
2006	120.0	81.0	75.0	63.0	33.4	17.6	11.8	5.9	3.9	2.9
2007	84.0	56.3	45.5	45.0	27.0	17.1	14.2	12.9	8.8	6.6
2008	90.0	75.0	70.0	57.5	33.6	18.0	12.0	6.0	4.0	3.0
2009	118.5	99.8	89.5	62.8	35.6	21.9	16.3	11.1	7.5	5.6
2010	91.5	74.3	56.5	42.8	31.9	25.4	18.7	12.3	8.6	6.5
2011	124.5	102.8	80.5	60.8	34.5	23.0	18.0	10.6	7.2	5.4
2012	180.0	125.3	98.5	67.8	41.1	23.2	16.3	8.5	5.7	4.3
2013	112.5	90.8	82.5	65.0	48.0	29.8	20.7	11.3	7.5	5.6
2014	120.0	93.8	71.5	40.3	33.1	23.6	16.6	9.4	6.3	4.7
2015	148.5	113.3	91.5	59.8	43.1	26.8	21.8	12.9	8.8	6.6
2016	132.0	90.0	79.5	63.5	38.3	21.3	15.4	8.2	5.4	4.0

n/c: no calculado.

Análisis de frecuencia de intensidades máximas

El siguiente paso consistió en ajustar las series de intensidades de precipitación máximas a funciones de distribución de probabilidad mediante la aplicación del modelo de Análisis de Frecuencia Múltiples AFMULTI (Cacik y Paoli, 1996), para recurrencias de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

El modelo AFMULTI utiliza el método de máxima verosimilitud para realizar el análisis de frecuencia

con 6 distribuciones estadísticas: Log Gauss, Gumbel, Valores Extremos Generalizados (GEV), Pearson, Log Pearson y Exponencial y la expresión de frecuencia empírica de Hazen (1930), Weibull (1951), Blom (1958) o Gringorten (1963), que se selecciona según el criterio del profesional.

Con las anteriores expresiones se halla la distribución empírica de una muestra, que se puede ajustar a una de las distribuciones teóricas presentadas anteriormente. Los resultados se dibujan en el papel de probabilidad y se puede verificar si la

secuencia de datos experimentales se ajusta a la distribución probabilística (teórica).

De acuerdo a Torres et al. (2012), la verosimilitud consiste en otorgar a un estimador/estimación una determinada "credibilidad" o una mayor apariencia de ser el cierto valor (estimación) o el cierto camino para conseguirlo (estimador).

En términos probabilísticos se puede hablar de que la verosimilitud es la probabilidad de que ocurra una determinada muestra si es cierta la estimación que se ha efectuado o el estimador que se ha decidido plantear. Evidentemente, la máxima verosimilitud, será aquel estimador o estimación que arroje la mayor credibilidad.

Para seleccionar la distribución estadística que mejor ajusta a las series de intensidades máximas el programa realiza la bondad de ajuste de cada distribución y calcula los errores cuadráticos medios en valores (ECMV) y en frecuencia (ECMF).

Determinación de las curvas IDF

La relación que liga o vincula la intensidad de la precipitación, su duración y su recurrencia se estudia mediante las curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF), también llamadas curvas intensidad – duración – recurrencia (Témez, 1978 y Chow, 1994). Estas curvas muestran la probabilidad de ocurrencia de intensidades de lluvia en períodos cortos para distintas duraciones. A menudo se trata de un conjunto de curvas, cada una indicando una determinada frecuencia de ocurrencia o un período de retorno expresado en años (Varela et al., 2004).

Una definición más detallada es la propuesta por Mintegui y López (1990), quienes señalan que las curvas IDF representan a las duraciones en las abscisas y a la altura o intensidad de precipitación en las ordenadas. Cada curva representada corresponde a una frecuencia (o periodo de retorno), de tal forma que las gráficas de estas curvas representan la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondiendo todos los puntos de una misma curva a un idéntico periodo de retorno.

Según Paoli et al. (2009), la recurrencia o tiempo o período de retorno (denotado con la letra T) de una magnitud dada de un determinado evento hidrológico es el intervalo de tiempo promedio, medido en años, entre eventos que igualan o exceden

dicha magnitud, al menos una vez, en una serie suficientemente larga.

Si se considera que la variable denotada como x representa el valor máximo anual de una determinada variable (por ejemplo, la precipitación), entonces la expresión $F(x)$ representa la probabilidad anual de que el valor de x no sea superado y la expresión $1 - F(x)$ representa la probabilidad anual de que el valor de la variable x sea alcanzado o superado.

En consecuencia, el período de retorno T resulta igual a la inversa de la probabilidad de excedencia que se expresa como $1 - F(x)$ (ecuación 1):

$$T = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (1)$$

Si la muestra de la variable se refiere a un año, un mes, o una estación, la recurrencia T estará referida a ese período y se cuenta en años, meses o estaciones climáticas.

Considerando los valores de período de retorno recomendados por la Dirección Nacional de Vialidad de la República Argentina para el diseño de obras civiles viales (Fattorelli y Fernández, 2011), se decidió adoptar para el diseño de las curvas IDF recurrencias de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

Asimismo, la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés, 2008) de los Estados Unidos de Norteamérica, recomienda una recurrencia de 100 años como base para la toma de medidas de gestión y/o control de agua en llanuras o planicies de inundación. También recomienda un tiempo o período de retorno de 500 años para áreas circundantes con alto riesgo de vulnerabilidad.

La construcción de la familia de curvas IDF se puede realizar a partir de diferentes ecuaciones analíticas. Entre las más difundidas se encuentra la propuesta por Sherman (1931) (ecuación 2) que relaciona simultáneamente la intensidad, la duración y el período de retorno en una familia de curvas, pudiéndose extrapolar las mismas a zonas que carecen de registros pluviográficos y que se encuentran relativamente próximas entre sí:

$$I = \frac{kT^m}{(d + c)^n} \quad (2)$$

Donde I es la intensidad de la precipitación (en mm.h^{-1}), T es el período de retorno o recurrencia (en años), d es la duración de la tormenta (en minutos) y k, m, n y c son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación o regresión lineal múltiple. Para ello la ecuación (2) es linealizada a través de la transformación logarítmica:

$$\log I = \log k + m \log T - n \log(d + c) \quad (3)$$

La cual puede re-expresarse como:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (4)$$

Donde: $y = \log I$, $a_0 = \log k$, $a_1 = m$, $x_1 = \log T$, $a_2 = -n$ y $x_2 = \log(d+c)$.

En esta última ecuación a_0 representa la ordenada al origen, a_1 es el espaciamiento entre curvas y a_2 corresponde a la pendiente.

Los datos de intensidad, duración y frecuencia obtenidos de la función de distribución de probabilidad con menores errores si se dibujan en un papel bilogarítmico generalmente se agrupan en torno a líneas rectas. En algunas situaciones las líneas resultan ligeramente curvas, lo cual se puede corregir agregando a las duraciones un valor constante del parámetro c (Aparicio, 1992).

Luego, al hacer un ajuste de correlación lineal múltiple de una serie de tres tipos de datos, se obtiene un sistema de ecuaciones como el siguiente:

$$\sum y = N a_0 + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2$$

$$\sum (x_1 y) = a_0 \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum (x_1 x_2) \quad (5)$$

$$\sum (x_2 y) = a_0 \sum x_2 + a_1 \sum (x_1 x_2) + a_2 \sum x_2^2$$

En la primera ecuación N es número total de datos y las incógnitas son a_0, a_1, a_2 . Mientras que de acuerdo a (3) y (4) x_1, x_2 e y representan, respectivamente, los logaritmos del período de retorno, el binomio $(d+c)$ y la intensidad de la precipitación de la función de distribución de probabilidad adoptada.

En la segunda ecuación del sistema (5) $x_1 y$ es el producto de los logaritmos de la recurrencia T y de la intensidad de lluvia, x_2^2 es el cuadrado del logaritmo

de la recurrencia T y $x_1 x_2$ es el producto de los logaritmos de la recurrencia T y del binomio $(d+c)$.

En la tercera ecuación del sistema (5) $x_2 y$ es el producto de los logaritmos del binomio $(d+c)$ y de la intensidad de lluvia, x_2^2 es el cuadrado del logaritmo del binomio $(d+c)$.

El tamaño de la matriz de cálculo N se obtiene multiplicando las recurrencias T por las duraciones d , quedando así conformada una matriz de tamaño $T = N.d$.

La resolución del sistema de ecuaciones (5) se realizó utilizando el método de eliminación gaussiana, mientras que el valor c del binomio $(d+c)$ se determinó mediante tanteos sucesivos, adoptándose aquel valor para el cual se verificó el menor error entre la intensidad de lluvia obtenida de la distribución de probabilidad adoptada y aquella intensidad de lluvia calculada por la ecuación analítica ajustada.

Una vez calculados los coeficientes a_0, a_1 y a_2 se evaluaron los parámetros k, m y n de la ecuación analítica de ajuste (Aparicio, 1992).

RESULTADOS

Distribuciones Estadísticas representativas de las series de intensidades máximas

Se seleccionó la frecuencia de Hazen ($B = 0.5$) y luego de aplicar el programa AFMULTI a las series de intensidades máximas de diferentes duraciones (Tabla 1) se obtuvieron los estadísticos de las series (Tabla 2).

Tabla 2. Características estadísticas de las intensidades máximas.

Duración (minutos)	Media (mm/h)	Desvío (mm/h)	Coeficientes		
			Asimetría	Variación	Curtosis
10	103.70	34.78	0.13	0.34	2.71
20	81.60	23.77	-0.36	0.29	2.51
30	69.50	19.34	-0.86	0.28	2.62
60	42.30	16.83	-0.05	0.40	1.55
120	29.60	-10.06	0.19	-0.34	2.10
240	19.10	6.10	0.04	0.32	2.51
360	14.60	4.59	0.51	0.31	3.08
720	8.50	2.67	0.26	0.31	1.84
1080	5.70	1.85	0.39	0.32	2.16
1440	4.40	1.48	0.27	0.33	2.16

Considerando los valores de los errores cuadráticos medios de las frecuencias y de las variables, se seleccionó la distribución que permitió la mejor representación de los datos experimentales. En consecuencia, para duraciones de 10, 20, 30 minutos, 2, 4 y 6 horas se adoptó la distribución de Pearson y para

duraciones de 1, 12, 18 y 24 horas se seleccionó la distribución de los Valores Extremos Generalizados (Tabla 1 del Anexo).

La Tabla 3 muestra los valores de intensidad máxima obtenidos con la distribución de Pearson y de GEV para cada duración y recurrencia.

Tabla 3. Intensidad máxima (mm.h⁻¹) del análisis de frecuencia.

Período de retorno (años)	Duración (minutos)									
	10	20	30	60	120	240	360	720	1080	1440
2	103.0	83.0	72.3	42.1	30.0	19.0	14.3	8.3	5.5	4.3
5	132.7	101.9	86.1	57.4	38.2	24.1	18.3	10.8	7.2	5.7
10	148.7	111.0	91.8	65.2	42.3	26.8	20.6	12.3	8.3	6.4
25	166.1	120.1	97.1	73.1	46.6	29.7	23.3	14.0	9.5	7.3
50	177.5	125.7	99.9	77.8	49.3	31.6	25.1	15.2	10.3	7.8
100	187.9	130.5	102.2	81.7	51.6	33.3	26.7	16.3	11.1	8.3
200	197.5	134.7	104.0	84.9	53.8	34.8	28.3	17.2	11.8	8.7
500	206.4	138.6	105.6	88.3	55.7	36.3	29.8	18.4	12.7	9.2

Obtención de la expresión analítica de las curvas IDF

Los parámetros k , m , n y c de la ecuación analítica propuesta por Sherman y que permite relacionar simultáneamente la intensidad, la duración y el período de retorno en una familia de curvas IDF, se determinaron a partir de los parámetros x_1 , x_2 e y , de sus sumas, cuadrados y productos, obteniendo la Tabla 2 del Anexo con 80 datos (resultado del producto de las 10 duraciones y las 8 recurrencias consideradas).

Sustituyendo los resultados de las sumatorias y luego de iteraciones sucesivas de c para obtener el menor error promedio global para todas las recurrencias y duraciones se adoptó un valor del parámetro c igual a 24.43, mientras que el sistema de ecuaciones (5) resultó igual a:

$$\begin{aligned} 124.1 &= 80.0a_0 + 121.0a_1 + 184.8a_2 \\ 193.0 &= 121.0a_0 + 230.0a_1 + 279.4a_2 \quad (6) \\ 266.2 &= 184.8a_0 + 279.4a_1 + 452.4a_2 \end{aligned}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones (6) por eliminación gaussiana:

$$a_0 = 3.21, a_1 = 0.11, a_2 = -0.79 \quad (7)$$

En consecuencia, los valores de los parámetros de la ecuación analítica (2) resultaron:

$$\begin{aligned} k &= 10^{a_0} = 10^{3.21} = 1632.27 \\ m &= a_1 = 0.11 \\ n &= -a_2 = 0.79 \end{aligned} \quad (8)$$

Finalmente, la ecuación analítica de la familia de curvas IDF resultó igual a:

$$I = \frac{1632.27T^{0.11}}{(d + 24.43)^{0.79}} \quad (9)$$

Donde I es la intensidad de la precipitación (en mm.h⁻¹), T es la recurrencia (en años) y d es la duración del evento (en minutos).

La Tabla 4 muestra las intensidades máximas obtenidas con la ecuación (9) para las duraciones y recurrencias analizadas.

En la Tabla 3 del Anexo se muestran los errores relativos de las intensidades máximas obtenidas por Pearson, GEV y las intensidades calculadas mediante la ecuación de ajuste de Sherman, encontrándose en el rango de 5.5% y 12.8%, siendo el promedio global de los errores de las diferentes recurrencias del orden del 7.3%.

Tabla 4. Intensidad máxima (mm.h⁻¹). Ecuación analítica de Sherman (1931).

Período de retorno (años)	Duración (minutos)									
	10	20	30	60	120	240	360	720	1080	1440
2	106.3	86.8	73.9	52.1	34.0	21.1	15.6	9.3	6.8	5.4
5	118.0	96.4	82.0	57.9	37.8	23.4	17.4	10.3	7.5	6.0
10	127.7	104.3	88.8	62.6	40.9	25.3	18.8	11.1	8.1	6.5
25	141.8	115.8	98.5	69.5	45.4	28.1	20.9	12.3	9.0	7.2
50	153.4	125.3	106.7	75.3	49.1	30.4	22.6	13.4	9.8	7.8
100	166.1	135.6	115.4	81.5	53.2	32.9	24.4	14.5	10.6	8.4
200	179.7	146.8	124.9	88.2	57.6	35.6	26.4	15.6	11.4	9.1
500	199.5	163.0	138.7	97.9	63.9	39.5	29.4	17.4	12.7	10.2

En la Figuras 1 y 2 se muestran, para cada recurrencia T , las curvas obtenidas a partir de la aplicación de la ecuación (9) para duraciones menores y mayores a 2 horas, respectivamente. Según puede observarse en las figuras, la intensidad decrece a mayor duración y a su vez, para cada

duración, se verifica una mayor intensidad a mayor período de retorno.

Para duraciones de tormentas menores e iguales a 10 minutos las intensidades de las precipitaciones superan, para todas las recurrencias, los 100 mm.h⁻¹.

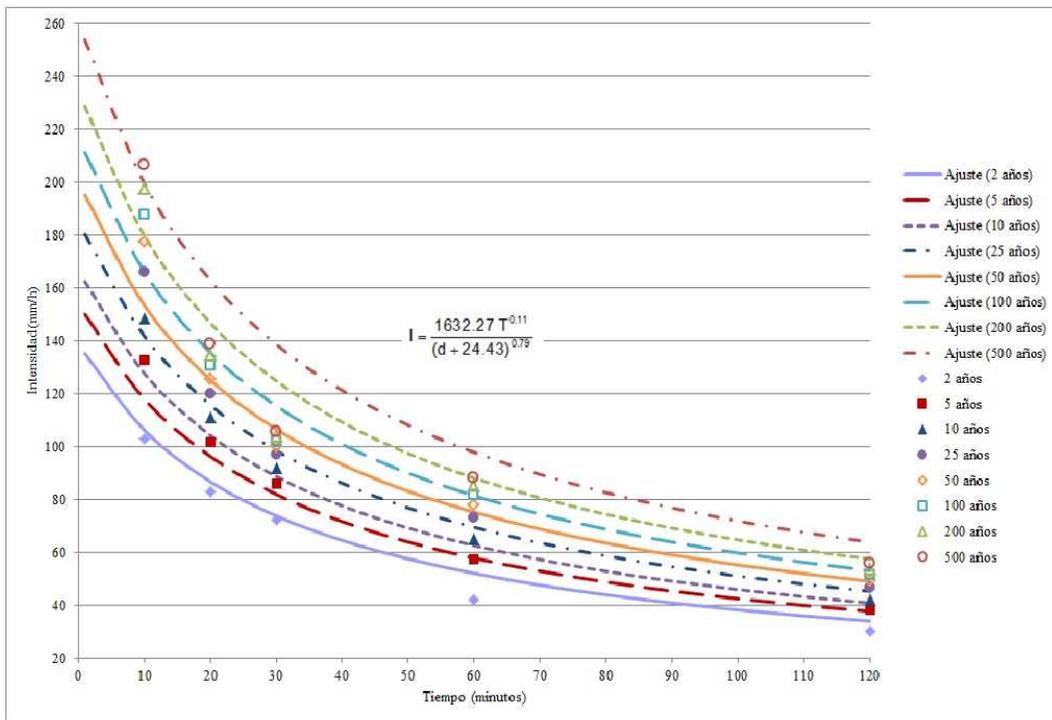


Figura 1. Curvas IDF para duraciones menores a 2 horas.

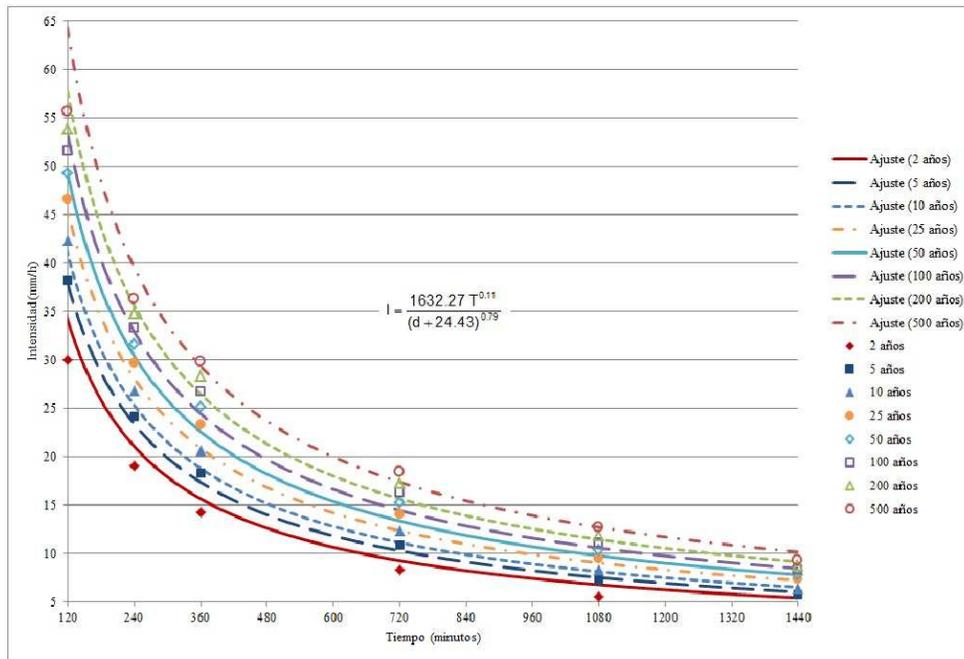


Figura 2. Curvas IDF para duraciones mayores a 2 horas.

Comparación con otras curvas IDF de estaciones cercanas

En la ecuación (10) se presenta la expresión analítica de las curvas IDF definidas por Bertoni et al. (2009) para la localidad de Rafaela para una serie de registros pluviográficos de 36 años:

$$I = \frac{1214.90T^{0.16}}{(d+17.48)^{0.76}} \quad (10)$$

Donde I es la intensidad de la precipitación (en mm.h^{-1}), T es la recurrencia (en años) y d es la duración del evento (en minutos).

Las curvas IDF obtenidas para la estación del CIM resultan similares a aquellas definidas para la localidad de Rafaela, verificándose diferencias porcentuales de las intensidades entre 2.1 y 20.8%, siendo el promedio global de los errores de las diferentes recurrencias del orden del 11%. Se observa asimismo que las diferencias porcentuales se incrementan a medida que aumenta la recurrencia.

Una situación similar se observa si se comparan las curvas IDF con aquellas generadas para la localidad

de Paraná por Zamanillo y Larenze (2008) para una serie de registros pluviográficos de 46 años, aunque las diferencias porcentuales se encuentran entre 7.1 y 34.9%, siendo el error promedio global del 18.8%. La expresión de ajuste analítico por Sherman de las curvas IDF de la localidad de Paraná se presenta en la ecuación (11):

$$I = \frac{601T^{0.23}}{(d+6)^{0.69}} \quad (11)$$

CONCLUSIONES

A partir del procesamiento de la información pluviográfica obtenida de la estación meteorológica perteneciente al Centro de Informaciones Meteorológicas (CIM) “Lic. Enrique Rodríguez”, ubicada en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral (FICH-UNL) fue posible actualizar hasta el año 2016 las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).

Se determinó la ecuación de las curvas IDF por el método dado por Sherman y de la comparación de los resultados obtenidos con los de las distribuciones

teóricas de Pearson y GEV se obtuvieron errores relativos de entre 5.5 y 12.8%, siendo el promedio global de los errores de las diferentes recurrencias del orden del 7.3%.

Las curvas IDF diseñadas presentan intensidades menores a aquellas definidas para las localidades de Rafaela y Paraná, verificándose que las diferencias porcentuales se incrementan a medida que aumenta la recurrencia.

Se pretende continuar con esta línea de investigación, procurando una futura actualización de las curvas IDF-CIM-FICH.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F. (1992). Fundamentos de Hidrología de Superficie. México, DF, Estados Unidos Mexicanos. Editorial Limusa. ISBN 968-18-3014-8.
- Bertoni, J. y Tucci, C. (2003). Inundaciones urbanas en América del Sud. Global Water Partnership. World Meteorological Organization. Porto Alegre, República Federativa del Brasil.
- Bertoni, J., Ganancias, F., Brarda, J., Tibaldo, O., Rudolf, C. y Verga, L. (2009). Actualización de Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia de la Ciudad de Rafaela (Provincia de Santa Fe, Argentina). II Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas. Córdoba, República Argentina.
- Blom, G. (1958). Statistical Estimates and Transformed Beta-Variables. John Wiley & Sons Academic Publishing. Nueva York.
- Cacik, P. y Paoli, C. (1996). Modelo de Análisis de Frecuencia Múltiples AFMULTI. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral.
- Chow, V. (1994). Hidrología Aplicada. Santa Fe de Bogotá, Colombia. Series Mac Graw Hill Interamericana. ISBN 9789586001717.
- Collazos, G. y Cazenave, G. (2015). Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para el centro de la provincia de Buenos Aires. XXV Congreso Nacional del Agua. Paraná, República Argentina.
- Fattorelli, S. y Fernández, P. (2011). Diseño Hidrológico. Water Assessment & Advisory Global Network. Edición Digital.
- FEMA. (2008). Managing Floodplain Development Through The National Flood Insurance Program. Federal Emergency Management Agency. Publication E-273 / 08219-1. Washington, DC.
- Gringorten, I. (1963). A plotting rule for extreme probability paper. *Journal of Geophysical Research*, 68(3). American Geophysical Union. Washington, DC.
- Hazen, A. (1930). Flood Flows. A Study of Frequencies and Magnitudes. John Wiley & Sons Academic Publishing. Nueva York.
- Marcus, R. (2010). Actualización de las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia a partir de los datos Pluviométricos obtenidos en la Estación Meteorológica El Pozo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral.
- Mintegui, J. y López, J. (1990). La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación. Vitoria, España. Editorial del Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2011). De la medición a la información hidrológica. Guía de prácticas hidrológicas. Volumen I Hidrología. N° 168. Sexta edición.
- Paoli, C., Hammerly, R., Giacosa, R. y Cacik, P. (2009). Tormentas de Diseño con Datos Escasos – Situación de la localidad de Bariloche. II Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas. Córdoba, República Argentina.
- Piccoli, N. (2003). Determinación de las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia a partir de los datos Pluviométricos obtenidos en la Estación Meteorológica El Pozo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral.
- Sherman, C. (1931). Frequency and Intensity of Excessive Rainfall at Boston, Massachusetts. American Society of Civil Engineers. Estados Unidos de Norteamérica.
- Témez, J. (1978). Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid, España.
- Torres, J., Ordoñez, J. y Duque, R. (2012). Comparación de los métodos de Máxima Verosimilitud y L-Momentos en el análisis de Frecuencias en la Cuenca Alta del Río Magdalena. XX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Barranquilla, Colombia.
- Varela, C., Entraigas, I. y Varni, M. (2004). Curvas intensidad – duración – frecuencia para diez años de datos pluviográficos en la ciudad de Azul, centro de la provincia de Buenos Aires. Instituto de Hidrología de Llanuras. Azul, República Argentina.

Weibull, W. (1951). A Statistical Distribution Function of Wide Applicability. American Society of Mechanical Engineers (ASME). Journal of Applied Mechanics.

Zamanillo, E. y Larenze, E. (2008). Tormentas de diseño para la provincia de Entre Ríos. Dirección de Hidráulica de Entre Ríos. Facultad Regional de Concordia. Universidad Tecnológica Nacional. ISBN 978-950-42-0109-0.

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Marcus, R., Morresi, M. V., Elizalde Carrillo, E. R., Macor, J. L. y Cristina, I. M. (2019). Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de la estación meteorológica del CIM-FICH. Serie 1986 – 2016. *Cuadernos del CURIHAM*. 25, 41-57. DOI: 10.35305/curiham.v25i0.118

Tipo de Publicación: ARTICULO.

Trabajo recibido el 07/03/2019 y aprobado para su publicación el 30/09/2019.

ANEXO 1: TABLAS

Tabla 1. Bondad de ajuste de las distribuciones.

Duración (minutos)	Error Cuadrático Medio	Distribución					
		Log Gauss	Gumbel	GVE	Pearson	Log Pear- son	Exponen- cial
10	Frecuencia	0.0674	0.0703	0.0549	0.0498	0.0546	0.1068
	Variable	7.58	7.93	6.34	5.70	6.45	12.77
20	Frecuencia	0.0754	0.0828	0.0501	0.0407	0.0485	0.1332
	Variable	6.38	7.22	4.16	3.28	4.01	10.74
30	Frecuencia	0.1111	0.1192	0.0674	0.0611	0.0675	0.1611
	Variable	7.59	8.35	4.13	3.57	4.22	11.17
60	Frecuencia	0.0752	0.0661	0.0542	0.0612	0.0554	0.1026
	Variable	6.47	6.57	4.28	4.37	4.40	8.62
120	Frecuencia	0.0891	0.0884	0.0518	0.0507	0.0553	0.1428
	Variable	3.00	3.23	1.74	1.74	1.76	4.71
240	Frecuencia	0.0536	0.0570	0.0335	0.0317	0.0346	0.0944
	Variable	1.27	1.45	0.76	0.69	0.75	2.42
360	Frecuencia	0.0353	0.0387	0.0350	0.0327	0.0336	0.0673
	Variable	0.63	0.70	0.58	0.57	0.57	1.38
720	Frecuencia	0.0622	0.0581	0.0518	0.0558	0.0571	0.1010
	Variable	0.61	0.69	0.56	0.58	0.53	1.01
1080	Frecuencia	0.0670	0.0647	0.0591	0.0892	0.0630	0.1040
	Variable	0.40	0.44	0.39	0.98	0.38	0.64
1440	Frecuencia	0.0849	0.0833	0.0735	0.0752	0.0766	0.1337
	Variable	0.46	0.49	0.42	0.41	0.42	0.64

Tabla 2. Determinación de los parámetros x_1 , x_2 e y por el método de Regresión Lineal Múltiple.

x_1	x_2	y	$x_1 y$	$x_2 y$	x_1^2	x_2^2	$x_1 x_2$
2.70	1.54	2.31	6.25	3.56	7.28	2.36	4.15
2.30	1.54	2.30	5.28	3.53	5.29	2.36	3.54
2.00	1.54	2.27	4.55	3.49	4.00	2.36	3.07
1.70	1.54	2.25	3.82	3.46	2.89	2.36	2.61
1.40	1.54	2.22	3.10	3.41	1.95	2.36	2.15
1.00	1.54	2.17	2.17	3.34	1.00	2.36	1.54
0.70	1.54	2.12	1.48	3.26	0.49	2.36	1.07
0.30	1.54	2.01	0.61	3.09	0.09	2.36	0.46
2.70	1.65	2.14	5.78	3.53	7.28	2.71	4.45
2.30	1.65	2.13	4.90	3.51	5.29	2.71	3.79
2.00	1.65	2.12	4.23	3.49	4.00	2.71	3.30
1.70	1.65	2.10	3.57	3.46	2.89	2.71	2.80
1.40	1.65	2.08	2.91	3.43	1.95	2.71	2.30
1.00	1.65	2.05	2.05	3.37	1.00	2.71	1.65
0.70	1.65	2.01	1.40	3.31	0.49	2.71	1.15
0.30	1.65	1.92	0.58	3.16	0.09	2.71	0.50
2.70	1.74	2.02	5.46	3.51	7.28	3.01	4.68
2.30	1.74	2.02	4.64	3.50	5.29	3.01	3.99
2.00	1.74	2.01	4.02	3.49	4.00	3.01	3.47
1.70	1.74	2.00	3.40	3.47	2.89	3.01	2.95
1.40	1.74	1.99	2.78	3.45	1.95	3.01	2.43
1.00	1.74	1.96	1.96	3.41	1.00	3.01	1.74
0.70	1.74	1.94	1.35	3.36	0.49	3.01	1.21
0.30	1.74	1.86	0.56	3.23	0.09	3.01	0.52
2.70	1.93	1.95	5.25	3.75	7.28	3.71	5.20
2.30	1.93	1.93	4.44	3.72	5.29	3.71	4.43
2.00	1.93	1.91	3.82	3.68	4.00	3.71	3.85
1.70	1.93	1.89	3.21	3.64	2.89	3.71	3.27
1.40	1.93	1.86	2.61	3.59	1.95	3.71	2.69
1.00	1.93	1.81	1.81	3.50	1.00	3.71	1.93
0.70	1.93	1.76	1.23	3.39	0.49	3.71	1.35
0.30	1.93	1.62	0.49	3.13	0.09	3.71	0.58
2.70	2.16	1.75	4.71	3.77	7.28	4.66	5.83
2.30	2.16	1.73	3.98	3.74	5.29	4.66	4.97
2.00	2.16	1.71	3.43	3.70	4.00	4.66	4.32
1.70	2.16	1.69	2.88	3.66	2.89	4.66	3.67
1.40	2.16	1.67	2.33	3.60	1.95	4.66	3.02
1.00	2.16	1.63	1.63	3.51	1.00	4.66	2.16
0.70	2.16	1.58	1.11	3.42	0.49	4.66	1.51
0.30	2.16	1.48	0.44	3.19	0.09	4.66	0.65
2.70	2.42	1.56	4.21	3.78	7.28	5.87	6.54
2.30	2.42	1.54	3.55	3.73	5.29	5.87	5.57
2.00	2.42	1.52	3.04	3.69	4.00	5.87	4.84
1.70	2.42	1.50	2.55	3.63	2.89	5.87	4.12
1.40	2.42	1.47	2.06	3.57	1.95	5.87	3.39
1.00	2.42	1.43	1.43	3.46	1.00	5.87	2.42

Tabla 2. Determinación de los parámetros x_1 , x_2 e y por el Método de Regresión Lineal Múltiple (continuación).

x_1	x_2	y	$x_1 y$	$x_2 y$	x_1^2	x_2^2	$x_1 x_2$
0.70	2.42	1.38	0.97	3.35	0.49	5.87	1.69
0.30	2.42	1.28	0.38	3.10	0.09	5.87	0.73
2.70	2.58	1.47	3.98	3.81	7.28	6.68	6.98
2.30	2.58	1.45	3.34	3.75	5.29	6.68	5.95
2.00	2.58	1.43	2.85	3.69	4.00	6.68	5.17
1.70	2.58	1.40	2.38	3.62	2.89	6.68	4.39
1.40	2.58	1.37	1.91	3.53	1.95	6.68	3.61
1.00	2.58	1.31	1.31	3.40	1.00	6.68	2.58
0.70	2.58	1.26	0.88	3.26	0.49	6.68	1.81
0.30	2.58	1.16	0.35	2.99	0.09	6.68	0.78
2.70	2.87	1.26	3.41	3.63	7.28	8.25	7.75
2.30	2.87	1.24	2.84	3.55	5.29	8.25	6.61
2.00	2.87	1.21	2.42	3.48	4.00	8.25	5.74
1.70	2.87	1.18	2.01	3.39	2.89	8.25	4.88
1.40	2.87	1.15	1.60	3.29	1.95	8.25	4.01
1.00	2.87	1.09	1.09	3.13	1.00	8.25	2.87
0.70	2.87	1.03	0.72	2.97	0.49	8.25	2.01
0.30	2.87	0.92	0.28	2.64	0.09	8.25	0.86
2.70	3.04	1.10	2.98	3.36	7.28	9.26	8.21
2.30	3.04	1.07	2.47	3.26	5.29	9.26	7.00
2.00	3.04	1.05	2.09	3.18	4.00	9.26	6.09
1.70	3.04	1.01	1.72	3.08	2.89	9.26	5.17
1.40	3.04	0.98	1.37	2.98	1.95	9.26	4.25
1.00	3.04	0.92	0.92	2.80	1.00	9.26	3.04
0.70	3.04	0.86	0.60	2.61	0.49	9.26	2.13
0.30	3.04	0.74	0.22	2.25	0.09	9.26	0.92
2.70	3.17	0.96	2.60	3.05	7.28	10.02	8.54
2.30	3.17	0.94	2.16	2.97	5.29	10.02	7.28
2.00	3.17	0.92	1.84	2.91	4.00	10.02	6.33
1.70	3.17	0.89	1.52	2.82	2.89	10.02	5.38
1.40	3.17	0.86	1.21	2.73	1.95	10.02	4.43
1.00	3.17	0.81	0.81	2.55	1.00	10.02	3.17
0.70	3.17	0.76	0.53	2.39	0.49	10.02	2.21
0.30	3.17	0.63	0.19	2.01	0.09	10.02	0.95
120.97	184.75	124.09	193.01	266.19	229.99	452.35	279.37

Tabla 3. Errores relativos entre las distribuciones de Pearson y GEV y la ecuación analítica de Sherman.

Recurrencia (años)	Intensidad (mm/h)	Duración (minutos)										Error relativo (%)	Promedio errores (%)
		10	20	30	60	120	240	360	720	1080	1440		
500	Analítico	206.4	138.6	105.6	88.3	55.7	36.3	29.8	18.4	12.7	9.2	10.4	
	Estadístico	199.5	163.0	138.7	97.9	63.9	39.5	29.4	17.4	12.7	10.2		
	Error (%)	3.3	17.6	31.3	10.8	14.7	8.9	1.5	5.6	0.0	10.3		
200	Analítico	197.5	134.7	104.0	84.9	53.8	34.8	28.3	17.2	11.8	8.7	7.5	
	Estadístico	179.7	146.8	124.9	88.2	57.6	35.6	26.4	15.6	11.4	9.1		
	Error (%)	9.0	9.0	20.1	3.8	7.0	2.3	6.5	9.0	3.1	5.1		
100	Analítico	187.9	130.5	102.2	81.7	51.6	33.3	26.7	16.3	11.1	8.3	5.9	
	Estadístico	166.1	135.6	115.4	81.5	53.2	32.9	24.4	14.5	10.6	8.4		
	Error (%)	11.6	3.9	12.9	0.3	3.1	1.2	8.5	11.3	4.8	1.8		
50	Analítico	177.5	125.7	99.9	77.8	49.3	31.6	25.1	15.2	10.3	7.8	5.5	
	Estadístico	153.4	125.3	106.7	75.3	49.1	30.4	22.6	13.4	9.8	7.8		
	Error (%)	13.6	0.3	6.8	3.3	0.3	3.8	10.0	12.1	5.2	0.1		
25	Analítico	166.1	120.1	97.1	73.1	46.6	29.7	23.3	14.0	9.5	7.3	6.1	
	Estadístico	141.8	115.8	98.5	69.5	45.4	28.1	20.9	12.3	9.0	7.2		
	Error (%)	14.6	3.6	1.5	4.9	2.6	5.4	10.5	11.8	5.0	1.2		
10	Analítico	148.7	111.0	91.8	65.2	42.3	26.8	20.6	12.3	8.3	6.4	5.8	
	Estadístico	127.7	104.3	88.8	62.6	40.9	25.3	18.8	11.1	8.1	6.5		
	Error (%)	14.1	6.0	3.3	3.9	3.3	5.6	8.8	9.6	2.1	1.5		
5	Analítico	132.7	101.9	86.1	57.4	38.2	24.1	18.3	10.8	7.2	5.7	4.6	
	Estadístico	118.0	96.4	82.0	57.9	37.8	23.4	17.4	10.3	7.5	6.0		
	Error (%)	11.1	5.4	4.7	0.8	1.1	3.0	5.1	4.9	4.3	5.3		
2	Analítico	103.0	83.0	72.3	42.1	30.0	19.0	14.3	8.3	5.5	4.3	12.8	
	Estadístico	106.3	86.8	73.9	52.1	34.0	21.1	15.6	9.3	6.8	5.4		
	Error (%)	3.2	4.6	2.2	23.8	13.5	10.8	9.4	11.5	23.0	25.7		

Tabla 4. Errores relativos entre las curvas IDF de las estaciones del CIM y Rafaela.

Recurrencia (años)	Intensidad (mm/h)	Duración (minutos)										Error relativo (%)	Promedio errores (%)
		10	20	30	60	120	240	360	720	1080	1440		
500	CIM	199.5	163.0	138.7	97.9	63.9	39.5	29.4	17.4	12.7	10.2	20.8	
	Rafaela	263.9	208.8	174.6	120.6	78.2	48.7	36.5	22.0	16.3	13.1		
	Error (%)	24.4	21.9	20.6	18.9	18.3	18.8	19.5	21.0	22.0	22.7		
200	CIM	179.7	146.8	124.9	88.2	57.6	35.6	26.4	15.6	11.4	9.1	17.6	
	Rafaela	228.5	180.8	151.2	104.4	67.7	42.1	31.6	19.0	14.1	11.4		
	Error (%)	21.4	18.8	17.4	15.6	15.0	15.5	16.2	17.8	18.8	19.6		
100	CIM	166.1	135.6	115.4	81.5	53.2	32.9	24.4	14.5	10.6	8.4	15.1	
	Rafaela	204.9	162.1	135.6	93.7	60.7	37.8	28.3	17.1	12.6	10.2		
	Error (%)	19.0	16.3	14.9	13.0	12.4	13.0	13.7	15.3	16.4	17.2		
50	CIM	153.4	125.3	106.7	75.3	49.1	30.4	22.6	13.4	9.8	7.8	12.5	11.0
	Rafaela	183.8	145.4	121.6	84.0	54.5	33.9	25.4	15.3	11.3	9.1		
	Error (%)	16.5	13.8	12.3	10.4	9.8	10.3	11.1	12.7	13.8	14.7		
25	CIM	141.8	115.8	98.5	69.5	45.4	28.1	20.9	12.3	9.0	7.2	9.9	
	Rafaela	164.8	130.4	109.0	75.3	48.8	30.4	22.8	13.7	10.2	8.2		
	Error (%)	14.0	11.2	9.6	7.7	7.0	7.6	8.4	10.1	11.2	12.1		
10	CIM	127.7	104.3	88.8	62.6	40.9	25.3	18.8	11.1	8.1	6.5	6.3	
	Rafaela	142.7	112.9	94.4	65.2	42.3	26.3	19.7	11.9	8.8	7.1		
	Error (%)	10.5	7.6	6.0	4.0	3.3	3.9	4.7	6.5	7.7	8.6		
5	CIM	118.0	96.4	82.0	57.9	37.8	23.4	17.4	10.3	7.5	6.0	3.4	
	Rafaela	128.0	101.2	84.7	58.5	37.9	23.6	17.7	10.7	7.9	6.4		
	Error (%)	7.8	4.8	3.1	1.1	0.4	1.0	1.8	3.6	4.9	5.8		
2	CIM	106.3	86.8	73.9	52.1	34.0	21.1	15.6	9.3	6.8	5.4	2.1	
	Rafaela	110.8	87.7	73.3	50.6	32.8	20.4	15.3	9.2	6.8	5.5		
	Error (%)	4.1	1.0	0.8	2.9	3.6	3.0	2.2	0.3	1.0	2.0		

Tabla 5. Errores relativos entre las curvas IDF de las estaciones del CIM y Paraná.

Recurrencia (años)	Intensidad (mm/h)	Duración (minutos)										Error relativo (%)	Promedio errores (%)
		10	20	30	60	120	240	360	720	1080	1440		
500	CIM	199.5	163.0	138.7	97.9	63.9	39.5	29.4	17.4	12.7	10.2	34.9	
	Paraná	370.5	265.0	211.7	139.4	89.2	56.2	42.7	26.6	20.2	16.6		
	Error (%)	46.1	38.5	34.5	29.8	28.4	29.7	31.3	34.8	37.1	38.7		
200	CIM	179.7	146.8	124.9	88.2	57.6	35.6	26.4	15.6	11.4	9.1	27.6	
	Paraná	300.1	214.7	171.5	112.9	72.3	45.5	34.6	21.6	16.3	13.4		
	Error (%)	40.1	31.6	27.2	21.9	20.3	21.8	23.6	27.5	30.0	31.8		
100	CIM	166.1	135.6	115.4	81.5	53.2	32.9	24.4	14.5	10.6	8.4	21.5	
	Paraná	255.9	183.0	146.2	96.2	61.6	38.8	29.5	18.4	13.9	11.4		
	Error (%)	35.1	25.9	21.1	15.4	13.7	15.3	17.2	21.4	24.2	26.1		
50	CIM	153.4	125.3	106.7	75.3	49.1	30.4	22.6	13.4	9.8	7.8	15.0	
	Paraná	218.2	156.1	124.7	82.1	52.5	33.1	25.2	15.7	11.9	9.8		
	Error (%)	29.7	19.7	14.5	8.3	6.5	8.2	10.3	14.8	17.8	20.0		
25	CIM	141.8	115.8	98.5	69.5	45.4	28.1	20.9	12.3	9.0	7.2	8.1	18.8
	Paraná	186.0	133.1	106.3	70.0	44.8	28.2	21.5	13.4	10.1	8.3		
	Error (%)	23.8	13.0	7.3	0.6	1.4	0.5	2.8	7.7	10.9	13.3		
10	CIM	127.7	104.3	88.8	62.6	40.9	25.3	18.8	11.1	8.1	6.5	7.1	
	Paraná	150.7	107.8	86.1	56.7	36.3	22.9	17.4	10.8	8.2	6.7		
	Error (%)	15.2	3.2	3.1	10.5	12.7	10.6	8.1	2.6	0.9	3.5		
5	CIM	118.0	96.4	82.0	57.9	37.8	23.4	17.4	10.3	7.5	6.0	12.7	
	Paraná	128.5	91.9	73.4	48.3	30.9	19.5	14.8	9.2	7.0	5.7		
	Error (%)	8.1	4.9	11.7	19.8	22.2	19.9	17.2	11.2	7.3	4.5		
2	CIM	106.3	86.8	73.9	52.1	34.0	21.1	15.6	9.3	6.8	5.4	23.5	
	Paraná	104.1	74.4	59.5	39.1	25.1	15.8	12.0	7.5	5.7	4.7		
	Error (%)	2.1	16.6	24.2	33.2	35.9	33.3	30.3	23.7	19.4	16.2		