
Determinación de la curva de Intensidad–Duración–Frecuencia de Cienfuegos

Intensity–Duration–Frequency curve of Cienfuegos

MSc. Sinaí Barcia Sardiñas | *sinai@cfg.insmet.cu* | Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cuba

Ing. Omar León González | *omar@cfg.insmet.cu* | Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cuba

Recibido: 19 de noviembre, 2012; aceptado: 10 de mayo, 2013. pp. 3 – 12

Resumen

El conocimiento de las precipitaciones extremas y, en consecuencia, el dimensionamiento adecuado de las obras hidráulicas (por ejemplo, los vertedores de excedencias de las presas), garantizará su funcionamiento correcto y la seguridad de las poblaciones que se sitúan aguas abajo. El cálculo de las lluvias extremas de duración corta es muy importante también para dimensionar el drenaje urbano y, de este modo, evacuar volúmenes de agua que podrían producir inundaciones. En el presente trabajo se determinan los máximos acumulados de precipitación en intervalos de 10 min, 20 min, 30 min, 40 min, 50 min, 1 h, 3 h, 6 h, 12 h y 24 h a partir de los pluviogramas de la Estación Meteorológica de Cienfuegos en el período 2001–2010, con el objetivo principal de construir la curva de intensidad–duración–frecuencia. Para determinar la Curva de Intensidad–Duración–Frecuencia se realiza el cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales planteado por Témez (1978), el cual relaciona las intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno. Asimismo, en el estudio se identifican los patrones sinópticos asociados a las lluvias máximas en períodos inferiores a 24 h en Cienfuegos. Se obtiene la Curva de Intensidad–Duración–Frecuencia, la cual es una herramienta de análisis y planificación a largo plazo que aporta patrones de conducta de las lluvias, y permite el diseño confiable y efectivo para la ingeniería hidráulica.

PALABRAS CLAVE: Cálculo hidrometeorológico, lluvias intensas de corta duración, curva de intensidad–duración–frecuencia, Cienfuegos.

Abstract

The knowledge of the extreme precipitations and in consequence the appropriate size of the hydraulic works, for example the drain of surplus of dams, it will guarantee their correct operation and the security of the population located waters below. The calculation of the extreme rains of short duration is very important also for size the urban drainage, and this way to evacuate volumes of water that could produce floods. In the present study were determined the maximum precipitation in intervals of 10 min, 20 min, 30 min, 40 min, 50 min, 1 h, 3 h, 6 h, 12 h and 24 h through the pluviogramas of the Meteorological Station of Cienfuegos in the period of 2001–2010; with the main objective of building the Intensity–Duration–Frequency curve (IDF). To determine the Curves of Intensity–Duration–Frequency is made the hydrometeorological calculus of peak flows in small natural basins raised by Témez (1978), which relates the intensity of precipitation for different return periods is performed. Also, in the study the synoptic patterns associated with the highest rainfall in periods of less than 24 h in Cienfuegos are identified. Is obtained the Curve Intensity–Duration–Frequency, which is a planning and analysis tool that provides

long-term behavioral patterns of rainfall, and design enables reliable and effective hydraulic engineering.

KEYWORDS: Hydrometeorological calculus, extreme rains of short duration, intensity-duration-frequency curve.

Introducción

Estudiar las precipitaciones y conocer su distribución temporal es motivo de interés con diversas finalidades (por ejemplo, desde los puntos de vista meteorológico, edafológico e hidrológico), a la vez que se puede proporcionar índices para realizar estudios de crecidas o permitir la alimentación de modelos de precipitación-escorrentía que garanticen mejorar la información disponible, con miras a un diseño y un dimensionamiento adecuados de las obras civiles. En efecto, un dimensionamiento correcto del drenaje garantizará la vida útil de una carretera, una vía férrea, un aeropuerto, etcétera.

La intensidad de la lluvia y su duración son características que están interrelacionadas: para un mismo período de retorno, al aumentarse la duración de la lluvia, disminuye su intensidad media. La formulación de esta dependencia es empírica y se determina caso por caso, sobre la base de los datos observados directamente en el sitio de estudio o en otras zonas próximas con características hidrometeorológicas similares. Esta formulación se conoce como relación *intensidad-duración-frecuencia* o, más comúnmente, como curvas IDF.

El presente trabajo tiene como objetivo principal construir la curva de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para la localidad de Cienfuegos en el período 2001-2010, con la finalidad de aportar un mayor conocimiento sobre las lluvias máximas en períodos inferiores a 24 h.

Materiales y métodos

Para el presente estudio se escogieron los datos de la Estación Meteorológica de Cienfuegos, tomándose como referencia de análisis el período 2001-2010. Los autores del trabajo conocen de antemano que el período seleccionado no incluye el evento de precipitación intensa registrado el 1ro. de junio de 1988, en el cual en esa estación se registraron 443.7 mm en 24 h. No fue posible incluirlo en la muestra porque no se tienen las cartas pluviográficas correspondientes a ese año.

Con vistas a la determinación de las intensidades máximas se analizaron las cartas pluviográficas de la Estación de Cienfuegos para diferentes períodos. Sobre la base de mediciones desde las 07:00 am hasta las 07:00 am del día siguiente se desplazó en intervalos de tiempo de forma discreta y estable, con el propósito de seleccionar para cada año los valores extremos de precipitación para tiempos de 10 min, 20 min, 30 min, 40 min, 50 min, 1 h, 3 h, 6 h, 12 h y 24 h.

Los datos obtenidos en los plazos de 3 h, 6 h, 12 h y 24 h fueron rectificadas por los datos trihorarios de la base de datos climática de esa estación, dado que, en ocasiones, faltaban o se encontraban en mal estado los gráficos de días con lluvias intensas conocidos. Posteriormente, se tomaron los valores de cada serie y se dividieron por su duración (en *horas*) y, de este modo, obtuvieron las intensidades (en *milímetros/hora*, mm/h).

Curvas IDF

Las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de duración diferente, correspondientes a una misma frecuencia o período de retorno (Témez, 1978).

Junto con la definición de las curvas, surgen otros elementos que han de considerarse, tales como la in-

tensidad de precipitación, la frecuencia o la probabilidad de excedencia de cierto evento; por ello, es de suma importancia tener claro el concepto de cada variable, en aras de tener una visión más precisa de estas curvas.

En este sentido, se debe destacar que la intensidad, según Chow *et al.* (1994), se define como la tasa temporal de precipitación, o sea, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h), y esta se expresa de la manera siguiente:

$$i = P/Td \quad | \quad (1)$$

Donde P es la profundidad de lluvia (en mm o pulg) y Td es la duración (en h).

Es importante señalar que cuando solo se dispone de un pluviómetro en una estación, en general, solo se podrá conocer la intensidad media en 24 h. Como se comprenderá, esta información puede inducir a grandes errores por defecto, por cuanto las lluvias de corta duración son, casi siempre, las más intensas. Entonces, es natural que las determinaciones de las intensidades de lluvia se hagan a partir de los registros proporcionados por los pluviógrafos (Aros, 1997).

Construcción de las curvas IDF

La construcción de las curvas IDF, según diversos autores, plantean distintas formas o métodos para su construcción. Para Aparicio (1997), existen dos métodos: el primero, llamado de intensidad-período de retorno, relaciona estas dos variables por separado para cada duración, mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología.

Este método relaciona simultáneamente la intensidad, la duración y el período de retorno en una familia de curvas mediante la ecuación siguiente:

$$I = k * T^m / (d+c)^n \quad | \quad (2)$$

Donde k , m , n y c son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple; I y d corresponden a la intensidad y la duración de la precipitación, respectivamente.

Por otra parte, Chow *et al.* (1994) plantean dos formas de trabajar con las curvas. La primera, utiliza un análisis de frecuencia de la lluvia que considera una función de distribución de probabilidad de valor extremo, como la función Gumbel; la segunda, expresa las curvas IDF como ecuaciones, con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica.

En el presente trabajo, con miras a la determinación del “valor máximo” para un determinado período de retorno se utilizó el método de Gumbel mediante la expresión siguiente:

$$x = x_m + Dx = x_m + k * s * n^{-1}$$

Donde: x es el valor máximo (caudal o precipitación) para un período de retorno T ; x_m es la media de la serie dada de valores máximos; Dx es la desviación con respecto a la media, que se estima mediante el producto: $k * s * n^{-1}$; k es el factor de frecuencia, que indica el número de veces de desviación típica en que el valor extremo considerado excede a la media de la serie; $s * n^{-1}$ es la desviación estándar o desviación típica de los valores extremos.

El valor de la variable k se estima a partir del conocimiento del período de retorno (en años) y del número de años disponibles en la serie. De este modo, se tiene lo siguiente:

$$k = (y_T - y_n) / S_n$$

Donde T es la variable de Gumbel para el período de retorno T , y se determina a partir del valor del período de retorno. El valor puede obtenerse de la tabla 1.

$$y_T = -\ln \ln (T/T-1)$$

TABLA 1

Valores de yT para distintos períodos de retorno T

T	2	5	10	25	30	50	75	100	250	500
yT	0.36651	1.49994	2.25037	3.19853	3.38429	3.90194	4.31078	4.60015	5.5194	6.2136

Donde yn es el valor obtenido, mediante Tabla 2, a partir del número de años de la serie y Sn es el valor que se obtiene a partir del número de años de la serie, también mediante la tabla 2.

El método empleado para determinar las curvas IDF utilizado en este trabajo corresponde al planteado por Témez (1978), que relaciona las intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno, con el propósito de graficar la relación entre las variables intensidad, duración y frecuencia, y cuya curva IDF es la siguiente:

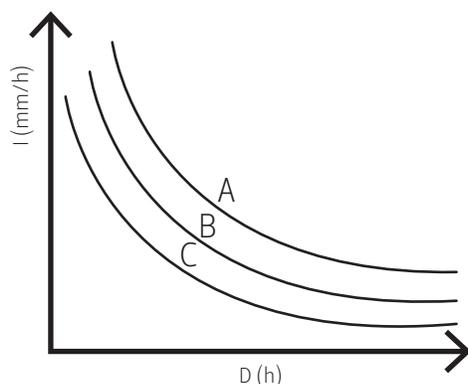


Fig. 1 Curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF).

Donde: D es la duración (en h), I es la intensidad de precipitación (en mm/h), y A , B y C representan distintos períodos de retorno (en año).

Análisis de los resultados

Una vez analizadas todas las cartas pluviométricas de la Estación de Cienfuegos para 10 años se obtuvo una serie de máximas precipitaciones anuales para diferentes intervalos de tiempo (Tabla 3).

Como puede apreciarse, los máximos absolutos en intervalos de tiempo inferiores a 24 h se corresponden, en su mayoría, con procesos sinópticos propios del

período lluvioso del año y, en ocasiones, con sistemas meteorológicos característicos del período seco.

Las precipitaciones máximas absolutas en 10 min y 20 min se recogieron el 28 de junio de 2010; se alcanzaron 24 mm en 10 min y 25.4 mm en 20 min. Ese día, la lluvia ocurrió desde la 1:00 p.m. hasta la 3:20 p.m., registrándose la mayor intensidad entre las 2:30 p.m. y las 2:50 p.m., la cual estuvo asociada a las bandas de alimentación de la tormenta tropical Alex, que se encontraba transitando por el Golfo de México.

El 22 de septiembre de 2010 se registraron en Cienfuegos las máximas precipitaciones (48 mm y 54 mm) en 30 min y 40 min, respectivamente, las cuales estuvieron asociadas a la influencia de una vaguada de niveles altos sobre el sureste del Golfo de México y aportaron sobre Cuba un flujo de masa de aire húmedo del suroeste, procedente del Mar Caribe (Fig. 2).

Las máximas precipitaciones absolutas en 2 h, 3 h y 12 h se recogieron en la tarde del 22 de febrero de 2010 (84 mm, 94.5 mm y 414.1 mm, respectivamente), dándose la mayor intensidad entre las 4:00 p.m. y las 7:00 p.m. (Fig. 4). Estas lluvias estuvieron asociadas a un extenso conglomerado nuboso generado por una hondonada bien establecida en todos los niveles de la troposfera en el sureste del Golfo de México y el norte de Pinar del Río, en combinación con fuertes corrientes del SW asociadas al chorro subtropical (ver Fig. 3). Este sistema se movió rápidamente hacia el este para afectar (todo el día 22) la provincia Cienfuegos, con chubascos, lluvias intensas y tormentas eléctricas.

La actividad de precipitaciones durante ese día comenzó desde la madrugada del día 22 y fue tomando severidad durante el horario de la tarde. En numerosos puntos de la provincia se reportaron valores

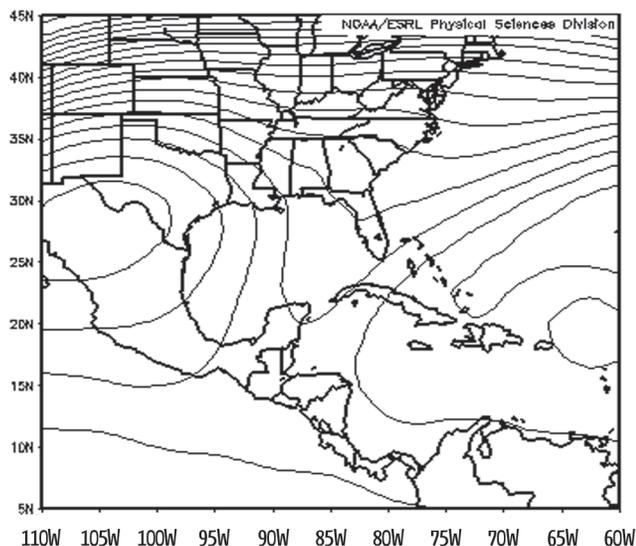


Fig. 2 Geopotencial en el nivel de 200 mb (22 de septiembre de 2010). Fuente: <http://www.esrl.noaa.gov>

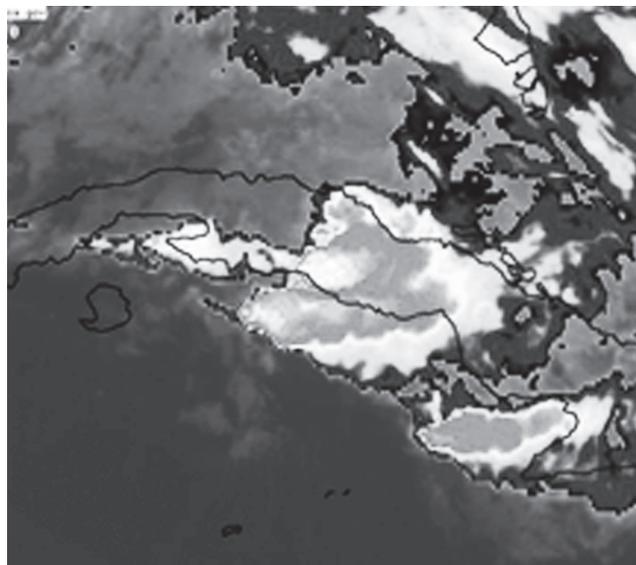


Fig. 3 Imagen infrarroja del 22 de febrero de 2010 (4:45pm).

TABLA 2

Valores de yn y Sn , según el número de observaciones

No. datos	yn	Sn									
1	0.36651	0	27	0.53319	1.10054	53	0.54972	1.1653	79	0.55669	1.19306
2	0.40434	0.49838	28	0.53426	1.1047	54	0.55009	1.16676	80	0.55689	1.19382
3	0.42859	0.64348	29	0.53527	1.10864	55	0.55044	1.16817	81	0.55707	1.19458
4	0.4458	0.73147	30	0.53622	1.11237	56	0.55079	1.16955	82	0.55726	1.19531
5	0.45879	0.79278	31	0.53713	1.11592	57	0.55113	1.17088	83	0.55744	1.19604
6	0.46903	0.83877	32	0.53799	1.11929	58	0.55146	1.17218	84	0.55761	1.19675
7	0.47735	0.87493	33	0.53881	1.12249	59	0.55177	1.17344	85	0.55779	1.19744
8	0.48428	0.90432	34	0.53959	1.12555	60	0.55208	1.17467	86	0.55796	1.19813
9	0.49015	0.92882	35	0.54034	1.12847	61	0.55238	1.17586	87	0.55812	1.1988
10	0.49521	0.94963	36	0.54105	1.13126	62	0.55268	1.17702	88	0.55828	1.19945
11	0.49961	0.96758	37	0.54174	1.13394	63	0.55296	1.17816	89	0.55844	1.2001
12	0.5035	0.98327	38	0.54239	1.1365	64	0.55324	1.17926	90	0.5586	1.20073
13	0.50695	0.99713	39	0.54302	1.13896	65	0.55351	1.18034	91	0.55876	1.20135
14	0.51004	1.00948	40	0.54362	1.14131	66	0.55378	1.18139	92	0.55891	1.20196
15	0.51284	1.02057	41	0.5442	1.14358	67	0.55403	1.18242	93	0.55905	1.20256
16	0.51537	1.0306	42	0.54475	1.14576	68	0.55429	1.18342	94	0.5592	1.20315
17	0.51768	1.03973	43	0.54529	1.14787	69	0.55453	1.1844	95	0.55934	1.20373
18	0.5198	1.04808	44	0.5458	1.14989	70	0.55477	1.18535	96	0.55948	1.2043
19	0.52175	1.05575	45	0.5463	1.15184	71	0.555	1.18629	97	0.55962	1.20486
20	0.52355	1.06282	46	0.54678	1.15373	72	0.55523	1.1872	98	0.55976	1.20541
21	0.52522	1.06938	47	0.54724	1.15555	73	0.55546	1.18809	99	0.55989	1.20596
22	0.52678	1.07547	48	0.54769	1.15731	74	0.55567	1.18896	100	0.56002	1.20649
23	0.52823	1.08115	49	0.54812	1.15901	75	0.55589	1.18982	101	0.56015	1.20701
24	0.52959	1.08646	50	0.54854	1.16066	76	0.5561	1.19065			
25	0.53086	1.09145	51	0.54895	1.16226	77	0.5563	1.19147			
26	0.53206	1.09613	52	0.54934	1.1638	78	0.5565	1.19227			

TABLA 3

Alturas máximas de precipitación (en mm) para diferentes intervalos de tiempo. Estación Meteorológica de Cienfuegos. Período 2001-2010

Años	Duración										
	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
2001	19	32	36	42	43	43.1	49.6	63.4	68.4	68.4	68.4
2002	18	28	34	35	45	55	71	85	124	136.5	169.7
2003	20.7	27	35.8	42.1	46.1	46.7	48.7	51.4	53.5	53.9	77.3
2004	16.6	25.2	28.2	31.2	40.3	50.4	60.1	60.5	60.5	80.9	80.9
2005	19.6	24	27.2	28.4	29	30	38.1	38.1	51.4	88.3	171.1
2006	20	30	39.6	42.6	49.2	50	50	53	53	53	53
2007	14	21.8	31.6	32.6	39.4	42.4	45.8	45.8	55	58.2	69.9
2008	15	27	38	51	63	63.7	63.7	63.7	78.9	78.9	78.9
2009	20	27	30	35.4	38.4	40.8	47.4	47.4	56.8	56.8	56.8
2010	24	35.4	48	54	59.6	64.6	84	94.5	113	141.1	141.1

TABLA 4

Fechas de las máximas intensidades de lluvia para diferentes intervalos de tiempo. Estación Meteorológica de Cienfuegos. Período 2001-2010

Duración	Acumulado (mm)	Fecha	Hora
10 min	24	28/06/2010	2:40-2:50 pm
20 min	35.4	28/06/2010	2:30-2:50 pm
30 min	48	22/09/2010	3:40-4:10 pm
40 min	54	22/09/2010	3:40-4:20 pm
50 min	59.6	14/09/2010	2:10-3:00 pm
1 hora	64.6	14/09/2010	2:10-3:10 pm
2 h	84	22/02/2010	4:10-6:10 pm
3 h	94.5	22/02/2010	4:00-7:00 pm
6 h	124	13/06/2002	3:30-9:30 pm
12 h	141.1	22/02/2010	10:10 am-10:10 pm
24 h	171.1	8-9/07/2005	7:00 am-7:00 am

superiores a 100 mm en 24 h. En las estaciones meteorológicas de la provincia se rompieron los récords de lluvia máxima en 24 h para febrero, que databan, en Cienfuegos, del 20 de febrero de 1985 y, en Aguada, del 26 de febrero de 1986, con 87 mm y 68.4 mm, respectivamente. En varios puntos de la ciudad de Cienfuegos se produjeron inundaciones de corta duración, las que fueron más significativas en las calles Gloria (49) y San Carlos (56), y la intersección con la calle Industria (51), llegando a afectar el tráfico por estas vías. El agua penetró en varias viviendas de la vecindad causando afectaciones a los pobladores.

Las máximas precipitaciones registradas en 6 h en Cienfuegos estuvieron asociadas a la presencia de una hondonada con poco movimiento sobre el noroeste del Mar Caribe y el sureste del Golfo de Mé-

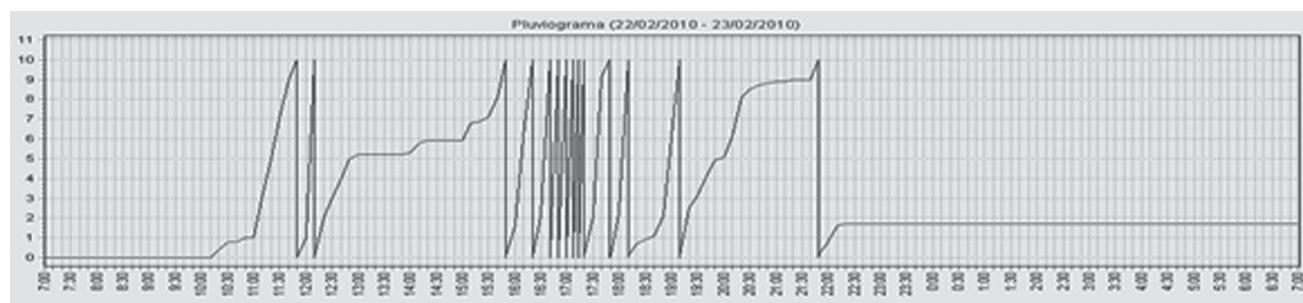


Fig. 4 Pluviograma del día 22 de febrero de 2010. Estación Meteorológica de Cienfuegos.

xico, así como a la presencia de condiciones muy favorables para la lluvia en la atmósfera superior. El sector convergente de este sistema comenzó a afectar la región central del país a partir del 8 de junio, y se produjeron numerosas lluvias en todo el territorio de las provincias de Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spíritus, las que fueron más intensas los días 12 y 13 de junio (Fig. 5). El día 13, entre las 3:30 p.m. y 9:30 p.m., se registró en Cienfuegos un acumulado máximo de 124 mm.

El máximo acumulado en 24 h en el período 2001-2010 en Cienfuegos se registró entre los días 8 y 9 de

julio de 2005, asociado al huracán Dennis, cuando se reportó un valor de 171.1 mm (Fig. 6).

Curva IDF de Cienfuegos

En función de la metodología planteada por Témez, cada altura máxima de precipitación horaria se divide por su duración (en horas) y se obtienen las intensidades de precipitación máximas anuales (en mm/h) para cada duración. La tabla 5 expone los valores de intensidad de precipitación, su desviación estándar y la media.

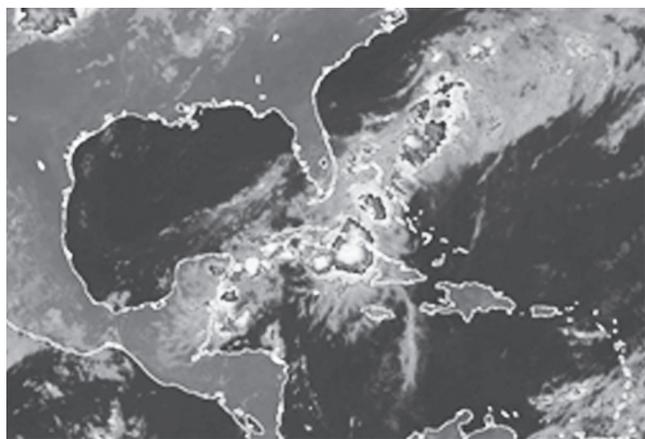


Fig. 5 Imagen de satélite del día 13 de junio de 2002.

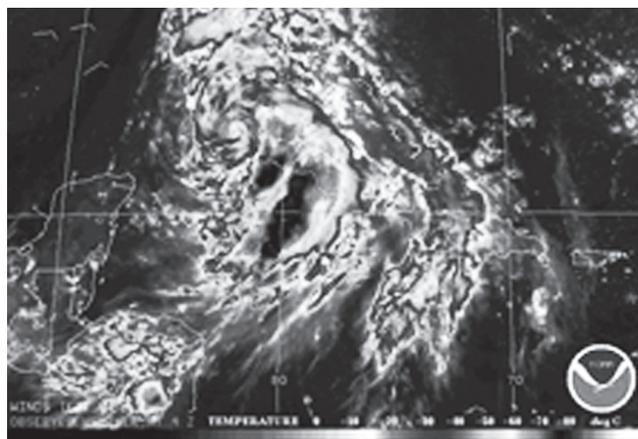


Fig. 6 Imagen de satélite del día 9 de julio de 2005, 4:00 UTC.

TABLA 5

Intensidades máximas horarias anuales de precipitación (en mm/hr). Estación Meteorológica de Cienfuegos. Período 2001-2010

Años	Duración										
	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
2001	114.0	96.0	72.0	63.0	51.6	43.1	24.8	21.1	11.4	5.7	2.9
2002	108.0	84.0	68.0	52.5	54.0	55	35.5	28.3	20.7	11.4	7.1
2003	124.2	81.0	71.6	63.2	55.3	46.7	24.4	17.1	8.9	4.5	3.2
2004	99.6	75.6	56.4	46.8	48.4	50.4	30.1	20.2	10.1	6.7	3.4
2005	117.6	72.0	54.4	42.6	34.8	30	19.1	12.7	8.6	7.4	7.1
2006	120.0	90.0	79.2	63.9	59.0	50	25.0	17.7	8.8	4.4	2.2
2007	84.0	65.4	63.2	48.9	47.3	42.4	22.9	15.3	9.2	4.9	2.9
2008	90.0	81.0	76.0	76.5	75.6	63.7	31.9	21.2	13.2	6.6	3.3
2009	120.0	81.0	60.0	53.1	46.1	40.8	23.7	15.8	9.5	4.7	2.4
2010	144.0	106.2	96.0	81.0	71.5	64.6	42.0	31.5	18.8	11.8	5.9
Media	112.1	83.2	69.7	59.1	54.4	48.7	27.9	20.1	11.9	6.8	4.0
STD	17.6	11.8	12.4	12.7	12.1	10.6	6.9	5.9	4.4	2.7	1.9

El siguiente paso metodológico correspondió al ajuste de los valores de intensidad de precipitación a la función de distribución de probabilidad de Gumbel, según la metodología explicada anteriormente, y se obtuvieron las máximas intensidades esperadas para diferentes períodos de retorno. De esta manera, pudo representarse esta curva para la Estación de Cienfuegos en el período 2001-2010 (Fig. 7).

Con posterioridad, se procedió a la construcción de tablas. Para ello, se tuvo en cuenta la relación de cada duración con los distintos períodos de retorno, los cuales son asociados a una probabilidad de excedencia cuyo propósito es obtener intensidades máximas de precipitación (en mm/h) para diferentes períodos de retorno, entregándose la relación entre la intensidad de precipitación en 10 min, 20 min, 30 min, 40 min, 50 min, 1 h, 3 h, 6 h, 12 h y la intensidad en 24 h, dado que la precipitación de 24 h es la más

común de hallar y estas relaciones permitirían la extrapolación a zonas sin datos.

A la relación de las intensidades horarias con respecto a la intensidad de 24 h se le denomina parámetro k , el cual se calcula para cada duración y período de retorno. Este parámetro queda establecido de la manera siguiente:

$$k = Id / I_{24} \quad | \quad (3)$$

Donde: Id es la intensidad de precipitación horaria e I_{24} es la intensidad de precipitación para una duración de 24 h.

Con miras a hacer más adecuado el uso de esta información, se muestra la tabla 6, la cual permite estimar las intensidades para distintos períodos de retorno T .

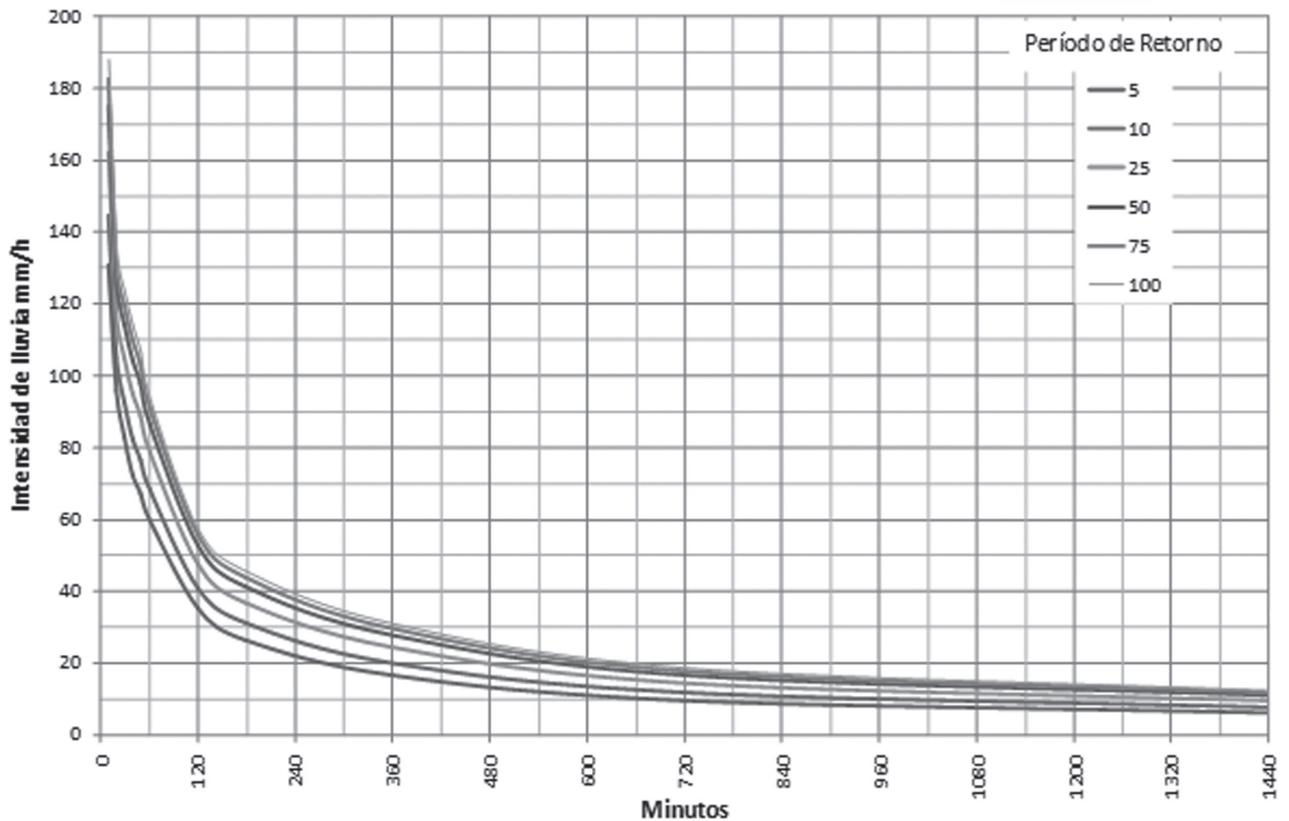


Fig. 7 Curvas IDF para la Estación Meteorológica de Cienfuegos. Período 2001-2010.

TABLA 6

Intensidades de precipitación (en mm/h) para distintos períodos de retorno. Estación Meteorológica de Cienfuegos. Período 2001-2010

Períodos de retorno	Duración (min)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
5	130.7	95.7	82.8	72.5	67.1	59.9	35.2	26.3	16.5	9.7	6.0
10	144.6	105.0	92.6	82.6	76.7	68.2	40.7	31.0	20.0	11.8	7.5
25	162.1	116.8	104.9	95.2	88.7	78.8	47.6	36.8	24.4	14.5	9.5
50	175.1	125.6	114.1	104.6	97.7	86.7	52.7	41.2	27.6	16.5	10.9
75	182.7	130.7	119.4	110.0	102.9	91.2	55.6	43.7	29.5	17.7	11.7
100	188.0	134.3	123.2	113.9	106.6	94.4	57.7	45.5	30.9	18.5	12.3

A continuación, se calculó el parámetro k , el cual plantea la relación entre la intensidad horaria y la intensidad de precipitación en 24 h para cada período de retorno. Estas relaciones permitieron la extrapolación a zonas o estaciones que carecían de registros pluviográficos. De este modo, para extrapolarlas a otra estación de carácter meramente pluviométrica, solo debería multiplicarse la precipitación de 24 h de su estación, a un determinado período de retorno, por el factor k ligado a la nueva duración horaria (Tabla 7).

Conclusiones y recomendaciones

Las curvas IDF son una herramienta de valor indudable, puesto que aportan patrones de conducta de las lluvias que propician diseños confiables y efectivos para la ingeniería hidráulica, además de poner

a disposición de los ingenieros y el personal técnico capacitado una herramienta de análisis y planificación a largo plazo. En este trabajo se obtuvieron las intensidades máximas de precipitación para diferentes intervalos de tiempo y períodos de retorno, expresados mediante la curva de intensidad-duración-frecuencia, en la estación de Cienfuegos durante el período 2001-2010.

Se determinó el proceso sinóptico asociado a cada extremo de precipitación; no obstante, solo se realizó para los máximos de cada período, por lo cual se propone, con vistas a darle continuidad a este estudio, determinar los procesos sinópticos que con mayor frecuencia causan precipitaciones intensas en períodos inferiores a 24 h.

Los resultados también pueden ser generalizados a estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo ante

TABLA 7

Parámetro k para distintos períodos de retorno y duraciones

Períodos de retorno	Duración (min)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	
5	21.63	15.83	13.70	12.00	11.11	9.91	5.83	4.35	2.74	1.60	
10	19.15	13.91	12.26	10.94	10.16	9.04	5.39	4.10	2.65	1.56	
25	17.15	12.36	11.10	10.07	9.39	8.34	5.03	3.90	2.58	1.54	
50	16.12	11.56	10.51	9.63	9.00	7.98	4.85	3.79	2.54	1.52	
75	15.64	11.19	10.23	9.42	8.81	7.81	4.76	3.74	2.53	1.51	
100	15.33	10.95	10.05	9.29	8.69	7.70	4.71	3.71	2.52	1.51	

intensas lluvias, puesto que es posible extender el cálculo de intensidades máximas de lluvia para intervalos de tiempo inferiores a 24 h.

Se propone rescatar las cartas pluviográficas correspondientes a la década de los ochentas del siglo XX con miras a extender este estudio a un número mayor de años y, de esta manera, generalizar el estudio a la estación meteorológica de Aguada de Pasajeros.

Referencias

- APARICIO, F 1997, *Fundamentos de hidrología de superficie*, Limusa, Balderas, México, 303 pp.
- AROS, V 1997, *Apuntes de hidrología*. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Chile. pp.: 25-31.
- CHOW, V, MAIDMENT, D, MAYS, L 1994, *Manual de hidrología aplicada*, Mc Graw-Hill, Santafé de Bogotá, Colombia, 584 pp.
- TÉMEZ, J 1978, *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*, Dirección General de Carreteras, Madrid, España, 111 pp.