

Determinación de Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para Cartagena de Indias en Colombia. Periodo (1970 – 2015).

Área Temática: Sustainable Engineering

Johon Gutiérrez Jaraba*, Dr.R.N.¹, Fabio Pérez Márquez², Gina Angulo Blanquicett³, Gonzalo Chiriboga Gavidia⁴, Libis Valdés Cervantes⁵

¹ Director de Investigaciones, Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo - TECNAR, Avenida Pedro de Heredia #31-41 Sector TESCA, Cartagena, Colombia, johon.gutierrez@tecnar.edu.co, johongutierrez@hotmail.com

² Docente Investigador Facultad de Ingeniería, Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo - TECNAR, Avenida Pedro de Heredia #31-41 Sector TESCA, Cartagena de Indias, Colombia, fabio.perez@tecnar.edu.co

³ Sub Directora Académica Universidad Jorge Tadeo Lozano – Cartagena, Calle de la Chichería # 38-42, Cartagena de Indias, Colombia, gina.angulo@utadeo.edu.co

⁴ Docente Universidad Central del Ecuador Facultad de Ingeniería Química – Investigador Instituto Nacional de Eficiencia Energética Y energía Renovable Quito Ecuador Washington.chiriboga@iner.gob.ec wchiriboga@uce.edu.ec

⁵ Decana Facultad de Diseño e Ingeniería Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo - TECNAR, Avenida Pedro de Heredia #31-41 Sector TESCA, Cartagena de Indias, Colombia, libis.valdez@tecnar.edu.co

*Autor Correspondiente

Abstract: *The analysis of the behavior of rainfall in a geographic basin is of meteorological, edaphic, hydrologic and hydraulic interest, as it provides indexes that enable studies creeds or modeling rainfall-runoff for proper design and sizing of the civil works. The interpretation of some variations related to climate change in a given area is also allowed. Additionally they allow the interpretation of some variations related to the climatic change in a certain afferent zone.*

Due to the above and given that in some cases, there are not updated flow records or because they do not have sufficient duration to perform the required frequency analyzes, it is necessary to use pluviometric information to estimate floods of a certain frequency. In that regard by resorting to information record rainfall stations storms or rains, it becomes necessary to translate it into forms expressed in curves intensities so that they are depending on the duration and frequency, allowing provide behavioral patterns So that reliable and effective designs for hydraulic engineering by the engineers and trained technical personnel are made available, and the Intensity, Duration and Frequency (IDF) curves are converted into an analysis and planning tool in the short, medium and long term.

The present work shows the process of elaboration of the Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves between the years 1970 and 2015 for the city of Cartagena de Indias in Colombia based on pluviographic measurement reports of the Rafael Núñez Airport synoptic station, code IDEAM 1401502 located at the coordinates 10 ° 26'9" N and 75 ° 31'1" W of the Colombian Caribbean coast at an altitude of 2 meters above sea level.

The curves were developed with the help of Hydrological Frequency Analysis PLUS DSS (HYFRAN PLUS Software), which allows data to be adjusted to statistical laws and includes within its tools a powerful, accessible and flexible mathematical instrument that allows, in particular, Statistical analysis of extreme events and more generally the statistical analysis of a series of data.

HYFRAN PLUS DSS has been developed by the National Institute of Water, Earth and Environment (INRS-ETE) scientific research at the University of Quebec.

KeyWords: *IDF, Precipitation, Pluviogram, Gumbel, Climate Change, Hyfran Plus.*

Resumen. El análisis del comportamiento de las precipitaciones en una cuenca geográfica es motivo de interés meteorológico, edafológico, hidrológico e hidráulico, pues proporciona índices que permiten realizar estudios de crecidas o la elaboración de modelos de precipitación-escorrentía para un adecuado diseño y dimensionamiento de las obras civiles. Adicionalmente permiten la interpretación de algunas variaciones relacionadas con el cambio climático en una zona aferente determinada.

En razón a lo anterior y dado que algunas veces no se dispone de registros actualizados de caudales o al no tener éstos la suficiente duración como para hacer los análisis de frecuencia requeridos, se debe apelar a información de tipo pluviométrico que permita estimar crecidas de cierta frecuencia, la cual se hace necesario traducirla a formas expresadas en curvas de intensidades de tal forma que queden en función de la duración y la frecuencia. Esto último permite aportar patrones conductuales de las lluvias, de tal manera que se faciliten diseños confiables y efectivos para la ingeniería hidráulica por parte de los ingenieros y personal técnico capacitado, convirtiéndose entonces las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) en una herramienta de análisis y planificación en el corto, mediano y largo plazo.

El presente trabajo muestra el proceso de elaboración de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) entre los años 1970 – 2015 para la ciudad de Cartagena de Indias en Colombia a partir de reportes de medición pluviográfica de la estación sinóptica Aeropuerto Rafael Núñez (Cartagena), código IDEAM¹ 1401502 ubicada en las coordenadas 10°26'9" N y 75°31'1" W de la costa Caribe Colombiano a una altitud de 2 m.s.n.m.

Las curvas fueron elaboradas con la ayuda del Software HYFRAN PLUS (Hydrological Frequency Analysis PLUS DSS), el cual permite ajustar datos a leyes estadísticas y que incluye dentro de sus herramientas, un conjunto de instrumentos matemáticos poderosos, accesibles y flexibles que permiten en particular el análisis estadístico de eventos extremos y de manera más general el análisis estadístico de una serie de datos.

¹ Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - <http://www.ideam.gov.co/>

HYFRAN PLUS DSS ha sido desarrollado por el Instituto Nacional de Investigación Científica Agua, Tierra y Medio Ambiente (INRS-ETE) de la Universidad de Quebec.

Palabras Clave: IDF, Precipitación, Pluviograma, Gumbel, Cambio climático, Hyfran Plus.

I INTRODUCCIÓN

El análisis y estudio de las precipitaciones y su distribución temporal es motivo de gran interés para diversos fines. Meteorología, edafología e hidrología, son áreas en donde repercuten los resultados de las investigaciones, ya que proporcionan índices para realizar estudios de crecidas o la alimentación de modelos precipitación-escorrentía y caudales que permitan mejorar la información disponible para un adecuado diseño y dimensionamiento de las obras de tipo civil. Lo anterior deja planteada la necesidad de conocer las intensidades de las precipitaciones en distintos períodos de retorno.

No obstante y a pesar de entender la importancia de la información antes mencionada, se debe reconocer que algunas veces la disponibilidad de la misma no se encuentra disponible con facilidad, debiéndose entonces recurrir a la información pluviométrica correspondiente a una tormenta o lluvia en formas de intensidades, registrada por las estaciones pluviográficas. Esa información almacenada facilita la construcción de modelos que permitan la estimación de crecidas de cierta frecuencia.

Al respecto de lo anterior, es importante mencionar que una de las herramientas o modelos más utilizados en la hidrología que involucra la información pluviométrica, son las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), debido a que por medio de ellas se pueden estimar tormentas de diseño en un lugar o zona determinada y establecer intensidades máximas en distintos períodos de retorno en un mismo sitio o lugar que se esté analizando a través del análisis estadístico parametrizado de datos (precipitaciones o caudales) con el fin de extrapolar y conocer eventos venideros.

El presente informe sintetiza los resultados obtenidos del diseño y construcción de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) realizado para la ciudad de Cartagena de Indias en Colombia durante el período comprendido entre los años 1970 y 2015.

En síntesis, el trabajo buscó analizar el comportamiento de las precipitaciones y reflejarlo en curvas que entregan la intensidad media (I) en función de la duración (D) y la frecuencia (F), con el fin de aportar patrones conductuales de las lluvias, para ser tenidas en cuenta a la hora de realizar diseños confiables y efectivos para la ingeniería hidráulica, además de poner a disposición de los ingenieros y personal técnico capacitado una herramienta de análisis y planificación en el largo plazo.

II MARCO TEÓRICO

Régimen Lluvioso: El régimen de Cartagena de Indias se divide en cuatro períodos conocidos comúnmente. La *época seca mayor* comprendida entre los meses de diciembre a abril y caracterizado por la presencia de vientos Alisios del noreste de mayor intensidad con lluvias muy escasas o nulas. El de *época lluviosa menor* que va desde el mes de mayo hasta junio y caracterizado porque en esta época los vientos Alisios se han debilitado.

El período de *época seca menor* (veranillo de San Juan), ocurre entre los meses de julio y agosto y se caracteriza por la irregularidad de las lluvias y los vientos, los cuales no sólo varían su intensidad sino su dirección predominando los vientos Norte – Noreste cuya intensidad aumenta hacia el mes de julio. Finalmente, la *época de lluvia mayor* que va desde el mes de septiembre a noviembre y es un período de mayor proporción de lluvias y menos intensidad de los vientos.

Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF): definidas como patrones de conducta pluviométricos de una región específica, resultantes de unir los puntos más representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno.

Intensidad (I): definida según Chow et al (1994), como la tasa temporal de precipitación. Es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/hora) y se expresa como $I=P/Td$, donde P corresponde a la profundidad de lluvia en mm o pulg. y Td es la duración dada usualmente en horas.

Duración (Td): Es el tiempo comprendido entre el comienzo y el final de la precipitación considerado como evento.

Frecuencia (F): Se considera como una medida de la probabilidad de ocurrencia de que un evento, precipitación en éste caso, sea igualado o excedido por lo menos una vez al año, expresada en función del período de retorno.

Período de retorno (Tr): Es la probabilidad de que un suceso, precipitación en éste caso, ocurra nuevamente en un período de N años.

Probabilidad: Es la posibilidad de que un evento se efectúe o no y se expresa como fracciones o decimales que se encuentran en el rango de cero a uno; donde una probabilidad de cero significa que algo nunca va a suceder y una probabilidad de uno indica que algo va a suceder siempre.

Pluviograma: Curvas de dos direcciones elaborados por los pluviógrafos. El eje "X" que indica el tiempo, en divisiones por horas y subdivisiones cada 10 minutos. En el eje "Y" se encuentra una escala de 0 a 10 que indica la cantidad de precipitación en mm de cada evento.

Método Gumbel: La distribución Gumbel se utiliza para el cálculo de valores extremos de variables meteorológicas (entre ellas precipitaciones y caudales máximos) y es uno de los métodos más empleados para estudiar precipitaciones máximas de 24 horas.

Distribución: Es el grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable, siendo el Coeficiente de Curtosis el que analiza el grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución. Puede ser mesocúrtico, leptocúrtico y platicúrtico cuando presenta un medio, elevado o reducido grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable respectivamente.

III ANTECEDENTES

A través de varios años, se han realizado algunos estudios sobre las características de las lluvias en el área geográfica de la ciudad de Cartagena de Indias. La Universidad Tecnológica de Bolívar en el año 2010 y la Universidad de Cartagena en el año 1994, realizaron trabajos que incluyeron datos hasta la fecha de la construcción de las mismas. Al respecto debe decirse que aunque se cuenta con diseños que se consideran de importante valía, los

15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Global Partnerships for Development and Engineering Education", 19-21 July 2017, Boca Raton, USA.

recientes fenómenos naturales que han afectado a la ciudad, sugieren actualizaciones en los diseños lo más cercanos y próximos en el tiempo.

Las ecuaciones de diseño de dichas curvas de Intensidad duración y frecuencia logradas por los entes anteriormente referidos se muestran a continuación.

Curvas (IDF) Universidad de Cartagena. 1994	Curvas (IDF) Universidad Tecnológica de Bolívar. 2010
$I = \frac{616,97 * (T_r)^{0,18}}{(D + 10)^{0,561}}$	$I = \frac{1255,61 * (T_r)^{0,171}}{(D + 10)^{0,703}}$

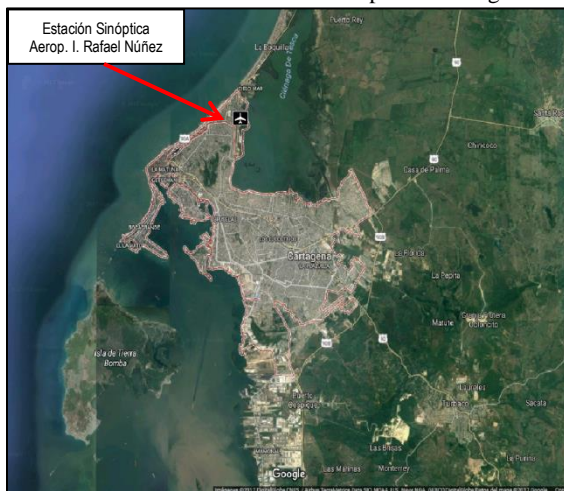
Fuente: Instituciones Referenciadas

Así las cosas, se buscó con éste nuevo estudio, que la ciudad contará con una actualización realizada por investigadores de La Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo (TECNAR) debido a que el comportamiento climático no es igual al reportado hace algunos años según datos del IDEAM.

IV METODOLOGÍA

Como fuente de información primaria se trabajó con los reportes de medición pluviográfica (1979 -2915) de la estación sinóptica Aeropuerto Rafael Núñez, código IDEAM 1401502 ubicada en las coordenadas 10°26'9"N y 75°31'1"W de la costa Caribe Colombiana a una altitud de 2 m.s.n.m., la cual fue procesada con la ayuda del software HYFRAN PLUS DSS desarrollado por el Instituto Nacional de Investigación Científica Agua, Tierra y Medio Ambiente (INRS-ETE) de la Universidad de Quebec.

Grafica 1: Ubicación Estación Sinóptica - Cartagena



Fuente: Google Earth 2017

A continuación se describen las etapas de procesamiento de datos que permitieron la elaboración de las curvas (IDF) para el periodo en estudio.

4.1 Procesamiento de la información

a) Se recopiló la información mediante cartas pluviográficas, escogiendo las dos de mayor intensidad mensual por año durante el tiempo motivo del estudio.

b) Con la anterior información se señalaron las alturas de precipitación de cada carta pluviográfica para duraciones de 10, 20, 30, 60, 120, 180 y 360 minutos y se seleccionó la máxima altura de precipitación correspondiente a cada duración (Tabla 1).

Tabla 1: Precipitaciones Máximas/Mes/Año. (2015 -1970)

Duración (minutos)								
Alturas Máximas de Precipitación								
Año	10	20	30	60	120	180	240	360
2015	20,4	33,2	49,5	71,3	58,9	73,4	73,2	66,4
2014	18,7	27,8	44,7	70,4	51,4	70,5	71,2	83,2
2013	20,2	27,1	37,2	69,8	61,9	69,8	73,5	90,4
2012	19,7	26,1	36,8	63,7	60,3	70,5	70,5	67,4
2011	19,8	26,2	33,9	64,4	26,5	73,2	64,8	69,8
2010	19,2	25,8	34	60	99,4	104,3	109,5	116
2009	12,7	21,2	28	40	55,6	58,1	59,8	59,9
2008	11,1	20,7	24,5	30,5	37,1	41,9	42,6	43,2
2007	19,2	33,1	47,8	76,4	104,6	105,6	105,6	105,6
2006	14,5	19	22	34,5	39,6	44,2	45	45,9
2005	9,7	18,8	21,3	30,8	43,9	55,5	63,5	65,7
2004	9,4	18	26,2	29,1	29,1	29,9	33,4	39,1
2003	9,8	19,1	28,3	52,9	89,4	105,2	109	124,2
2002	8	12,9	19,8	26,4	27,4	27,4	27,4	27,4
2001	11,9	21,2	29,9	43,1	50,1	50,8	51,8	52,2
2000	13,1	25,1	31,1	54,8	72,1	72,8	73,1	73,1
1999	14,6	27,3	37	55,2	80,5	87	87	101,8
1998	19	31,8	37	46,2	50,2	57,1	68,8	79,8
1997	24	43,9	58,7	80,3	90,6	91	91	92,4
1996	8	20	21,5	27	27,8	28,2	28,5	29,8
1995	11,3	18	25,6	45,3	64,7	76,7	80,9	81
1994	15,14	25,04	28,84	42,44	43,64	44,04	44,34	44,34
1993	1,6	2	2	2,2	2,8	3,4	3,4	3,4
1992	16	21,2	25,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8
1991	9,5	14,7	19,2	25,2	27,6	27,8	28,3	28,4
1990	15,9	24,8	40,7	57,3	68,2	71	72,2	82
1989	9,6	19	27,5	48	53,7	67,2	68,8	68,8
1988	13,9	25,2	34,9	47	56	60,3	60,5	66,1
1987	18	32	44	66,1	80,9	84,5	90,4	93,3
1986	15,8	21,7	25,2	40,9	53,2	53,2	53,2	54,3
1985	20,3	40,4	50,5	71,4	108,9	134,9	146,1	147,8
1984	24,5	42	54,5	83,5	92,4	92,4	92,4	92,4
1983	19,5	29,2	38,6	57,1	58,7	58,7	58,7	61
1982	6,8	13,5	18,2	32,3	38,1	38,1	38,1	38,1
1981	18	24,5	28,5	32,3	42,3	48,8	58,4	70,7
1980	20	40	56,5	100	127,2	129	129,3	163,5
1979	20	40	56,5	100	127,2	129	129,3	163,5
1978	20	38,8	47,3	60,6	62,4	64,3	64,8	66,5
1977	14,9	21	29,4	42,5	62,6	63,1	63,1	63,1
1976	13,6	23,6	29,1	35,3	49,8	50,7	50,7	50,7
1975	80,2	95,2	115,2	146,3	156,9	158,4	159,6	163,2
1974	25	38	50	73	74,4	74,3	74,4	74,4
1973	30	50	60	75,7	78,5	78,5	89,9	90,1
1972	20	32,5	48	78,5	101,3	102	102,3	102,3
1971	20,7	30	40	60,7	72,9	84,6	99,5	113,8
1970	20	35,5	47,5	69	88,8	143	153,7	153,7

Fuente: IDEAM (Colombia)

c) Se calcularon las intensidades en mm/hora lo cual se obtuvo al realizar la división entre la altura de precipitación y la duración. Esta última se consideró en horas para permitir calcular fácilmente el cálculo de la intensidad. Posteriormente se ordenaron las intensidades en forma ascendente para cada duración. (Tabla 2)

Tabla 2: Calculo de Intensidades Máximas por Año. (2015 -1970)

Año	Duración (minutos)							
	10	20	30	60	120	180	240	360
2015	118	80	83	89	58	40	31	27
2014	113	79	74	93	54	37	30	23
2013	119	78	70	66	49	36	26	24
2012	116	77	66	62	52	34	28	22
2011	114	78	67	63	53	35	29	20
2010	115	77	68	60	50	35	27	19
2009	76	64	56	40	28	19	15	10
2008	67	62	49	31	19	14	11	7
2007	115	99	96	76	52	35	26	18
2006	87	57	44	35	20	15	11	7
2005	58	56	43	31	22	19	16	11
2004	56	54	52	29	15	10	8	7
2003	59	57	57	53	45	35	27	21
2002	48	39	40	26	14	9	7	5
2001	71	64	60	43	25	17	13	9
2000	79	69	57	55	36	24	18	12
1999	88	82	74	55	40	29	22	17
1998	114	95	74	46	25	19	17	13
1997	144	132	117	80	45	30	23	15
1996	48	60	43	27	14	9	7	5
1995	68	54	49	36	26	26	20	14
1994	91	75	58	42	22	15	11	7
1993	10	6	4	2	1	1	1	1
1992	96	64	52	27	13	9	7	4
1991	57	44	38	25	14	9	7	5
1990	95	74	81	57	34	24	18	14
1989	58	57	55	48	27	22	17	11
1988	83	76	70	47	28	20	15	11
1987	108	96	88	66	40	28	23	16
1986	95	65	50	41	27	18	13	9
1985	122	121	101	71	54	45	37	25
1984	147	126	109	84	46	31	23	15
1983	117	88	77	57	29	20	15	10
1982	41	41	36	32	19	13	10	6
1981	108	74	57	32	21	16	15	12
1980	120	120	113	100	64	43	32	27
1979	120	120	113	100	64	43	32	27
1978	120	116	95	61	31	21	16	11
1977	89	63	59	43	31	21	16	11
1976	82	71	58	35	25	17	13	8
1975	481	286	230	146	78	53	40	27
1974	150	114	100	73	37	25	19	12
1973	180	150	120	76	39	26	22	15
1972	120	98	96	79	51	34	26	17
1971	124	90	80	61	36	28	25	19
1970	120	107	95	69	44	48	38	26

Fuente: Cálculos de los autores.

d) A continuación se procedió con los ajustes de la serie anual de valores de intensidad con las distribuciones de probabilidad de Gumbel, Weibull, Pearson tipo III y Gev. Se utilizó como medida de bondad de ajuste, la prueba estadística Chi-Cuadrado. La operación se realizó con el apoyo del Software HYFRAN PLUS DSS y Excel. (Tabla 3).

Tabla 3: Resultados Prueba Ajuste por Distribuciones. (1970 - 2015)

Distribuciones	X^2 (Prueba Chi Cuadrado)							
	10	20	30	60	120	180	240	360
Weibull	15,30	17,80	25,40	9,80	1,90	0,90	4,10	3,90
Person III	74,4	99,3	108,5	2,40	9,30	1,90	2,20	0,90
Gev	17,4	5,40	5,80	4,90	2,10	1,9	1,80	3,20
Gumbel	11,3	4,70	8,20	2,30	4,90	1,30	1,30	3,30

Fuente: Cálculos de los autores.

En la **Tabla 3**, se puede observar que la distribución que mejor se ajustó fue la de Gumbel por los resultados que arrojó en el ajuste de Chi Cuadrado lo cual indicó la formulación que se le debía dar al diseño de las curvas IDF.

e) Luego de realizado lo anterior, se calculó el periodo de retorno asociado a cada una de las intensidades máximas arrojadas por las diferentes distribuciones. Estos se calcularon para cada una de las duraciones.

F) Finalmente se procedió a realizar las gráficas de las curvas IDF, intensidad vs Duración para cada periodo de retorno establecido.

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de diseñar la ecuación de las curvas *IDF* del periodo en estudio del área geográfica referenciada, se procedió entonces a utilizar la función obtenida por ajuste y que corresponde a la distribución de Gumbel la cual se muestra a continuación:

$$I = \frac{K * T_r^m}{(D + b)^n}$$

Dónde:

I = Intensidad mm/hr.

T_r = Periodo de Retorno (Años).

D = Duración de la lluvia (Minutos)

K, m, n, b = Constantes de Ajuste de la Ecuación

Para el cálculo de las constantes de la ecuación anterior se realizó el correspondiente análisis de correlación lineal múltiple para las variables estudiadas.

Se obtuvieron los siguientes valores: *K* =1364,25; *m* = 0,174; *b* = 10; y *n* = 0,714. Finalmente la función de distribución de Gumbel para el estudio que motivó este trabajo, quedó como se muestra a continuación.

$$I = \frac{1364,25 * T_r^{0,174}}{(D + 10)^{0,714}}$$

Los datos de intensidades obtenidas con el anterior modelo que permitieron la construcción de la curva IDF para el periodo comprometido en el estudio, se muestran a continuación:

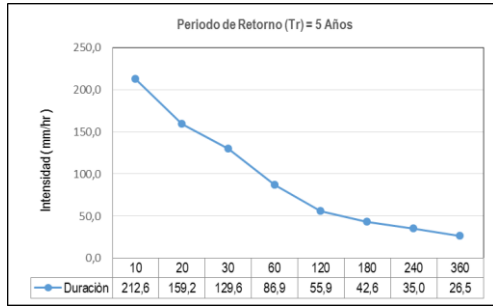
Tabla 4: Intensidades Obtenidas con Modelo Gumbel (1970 -2015)

<i>T_r</i> (Años)	Intensidades (I)							
	D = Duración (Minutos)							
	10	20	30	60	120	180	240	360
5	212,6	159,2	129,6	86,9	55,9	42,6	35,0	26,5
10	239,9	179,6	146,2	98,1	63,0	48,1	39,5	29,9
20	270,6	202,6	165,0	110,6	71,1	54,2	44,6	33,7
25	281,3	210,6	171,5	115,0	73,9	56,4	46,3	35,0
50	317,4	237,6	193,5	129,8	83,4	63,6	52,3	39,5
100	358,1	268,1	218,3	146,4	94,1	71,8	59,0	44,6

Fuente: Cálculos de los autores.

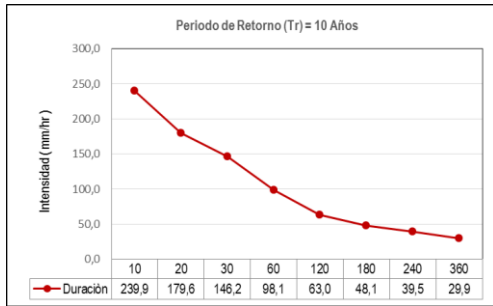
A continuación se muestran las gráficas elaboradas con el modelo para cada periodo de retorno (*T_r*) correspondiente a 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años.

Grafica 1:



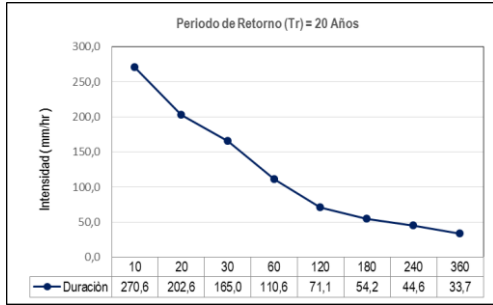
Fuente: Cálculos de los autores.

Grafica 2:



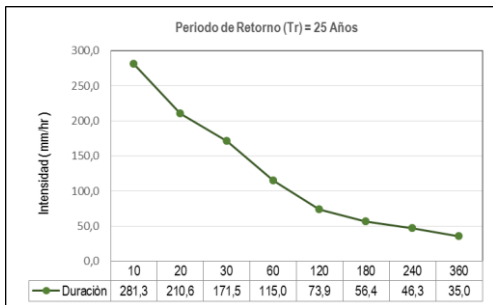
Fuente: Cálculos de los autores.

Grafica 3:



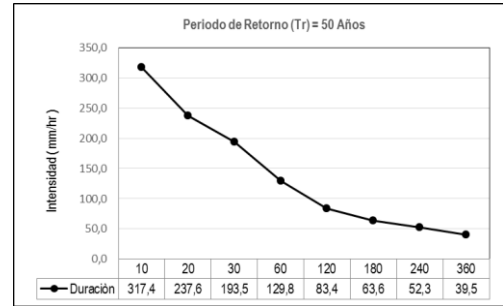
Fuente: Cálculos de los autores.

Grafica 4:



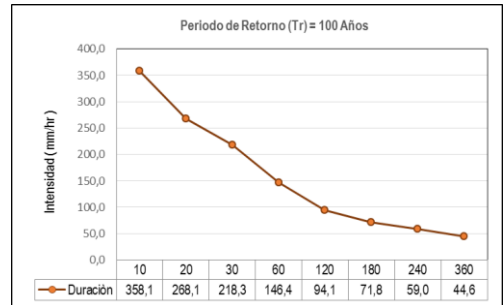
Fuente: Cálculos de los autores.

Grafica 5:



Fuente: Cálculos de los autores.

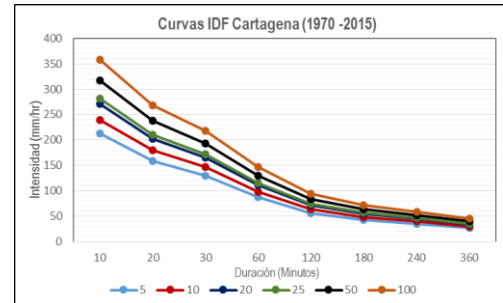
Grafica 6:



Fuente: Cálculos de los autores.

A continuación se muestra la envolvente superior de las curvas *IDF* para Cartagena de Indias – Colombia para el periodo de 1970 a 2015.

Grafica 7:



Fuente: Cálculos de los autores.

IV CONCLUSIONES

A pesar de que la estadística no es reconocida como una ciencia, sus métodos han sido ampliamente revisados y aplicados en diversos lugares a nivel mundial, arrojando buenos resultados. En éste trabajo se utilizaron combinaciones y fórmulas que permitieron ajustar los registros de precipitación y ajuste de intensidad de la zona de influencia trabajada.

Por su parte, el método de distribución de Gumbel fue el que mostró los mejores ajustes en el trabajo, lo cual motiva su recomendación en estudios similares o posteriores.

Las curvas *IDF* diseñadas para Cartagena de Indias durante el periodo comprendido entre los años 1970 – 2015, fueron realizadas

con información de la estación sinóptica ubicada en el Aeropuerto Rafael Núñez, a una altitud de 2 m.s.n.m., código IDEAM 1401502 coordenadas 10°26'9"N y 75°31'1"W de la costa Caribe Colombiana.

En concreto, para Cartagena de Indias y su entorno es de gran importancia que se hayan actualizado a 2015, las curvas *IDF* ya que se genera mayor información acerca del comportamiento de las precipitaciones en función de la intensidad media, la duración y la frecuencia, lo cual permite que los patrones de conducta de las precipitaciones, sean usados con mayor seguridad en proyectos para diseños confiables y efectivos tanto en infraestructura vial, como en obras de tipo hidráulico, proyectos de drenaje, estructuras de control de avenidas y otros cuyo nivel de complejidad sea de alto grado ya que permiten pronosticar los periodos de retorno de lluvias y por ende tomar medidas preventivas evitando daños, sobrecostos y prejuicios en proyectos a desarrollar.

En general, siempre que la obra se desarrolle dentro de las áreas ubicadas en regiones próximas al área de estudio, se recomienda manejar con mucha responsabilidad la extrapolación de datos en lo posible corrigiendo los valores de intensidad.

En cuanto a las intensidades obtenidas a través del modelo diseñado, debe decirse que han venido aumentando levemente en el tiempo. Se nota también que aunque la frecuencia de las lluvias ha disminuido, la intensidad y duración son cada día mayores lo cual puede no ser efecto de los fenómenos cíclicos del niño y la niña, sino del cambio climático global teoría que se sugiere convalidar y que no son del alcance de éste trabajo.

Respecto al punto anterior es bueno mencionar que debido a la baja capacidad de escorrentía y evacuación de los drenajes existentes en la ciudad, se vienen presentando inundaciones en ciertos sectores neurálgicos lo cual genera la sensación de que las lluvias son cada vez más fuertes y que la intensidad se hace cada vez mayor.

Una conclusión que consideramos de vital importancia se hace en el sentido de que la ciudad actualmente no posee una red de estaciones pluviométricas que permita acopiar datos suficientes en diferentes áreas de la misma, especialmente cuando ésta ha venido crecido rápidamente en su área geográfica especialmente en las zonas suroccidental y suroriental. Se considera vital una rápida zonificación de la ciudad para atender la variabilidad espacial que vienen presentando los eventos de corta duración en cuanto a pluviosidad.

V REFERENCIAS

Chow, Ven Te., Maidment, David y Ways, Larry., "*Manual de Hidrología Aplicada*". Ed. Mac Graw Hill, Interamericana. Santa Fé de Bogotá, Colombia 1994.

Gumbel E.J., "*Statistic of Extremes*" Columbia University Press. New York, USA 1988.

Linsley R.K., "*Hidrología para Ingenieros*". Editorial McGraw-Hill Latinoamericana S.A. pág. 380. Segunda Edición. Bogotá, 1997.

Martínez Guevara, A., "*Elaboration Curved IDF Stations Cínera – Villa Olga and Santa Isabel Municipality of Cúcuta – Colombia*". Rev. Agua, Aire y Suelo ISSN 1900 – 9178 Vol. 2 n 2. pp. 80 – 94 (2007).

Puello López S. & Romero V., "*Propuesta Metodológica para la Elaboración de Curvas IDF, utilizando Distribuciones Mixtas de*

Probabilidad: Caso de estudio, Estación Sinóptica Principal Aeropuerto Rafael Núñez". Cartagena, 2010, 134p. Trabajo de Grado (Ingeniería Civil) Universidad Tecnológica de Bolívar. Facultad de Ingeniería Civil.

Villareal Marimón, Y., "*Aproximación Metodológica para Determinar Curvas de IDF, Utilizando la Distribución Mixta de Probabilidad Doble Gumbel*". Cartagena, 2015, 84p. Trabajo de Grado (Maestría en Ingeniería) Universidad Tecnológica de Bolívar. Facultad de Ingeniería Civil.

Kingumbi, A. & Mailhot, A., "*Courbes Intensité-Durée-Frequence (IDF): Comparaison des Estimateurs des Durées Partielles et des Maximums Annuels*". Hydrol. Sci. J. 55(2), 162 – 176.

Van de Vyver, H. & Demaré, G. R. (2010) "*Construction of Intensity-Duration-Frequency (IDF) Curves for Precipitation at Lubumbashi, Congo, Under the Hypothesis of Inadequate Data*". Hydrol. Sci. J. 55(4), 555 – 564.

Lucero, A. (1997). "*Análisis Probabilístico Espacial y Temporal de las Precipitaciones Pluviales Anuales de la VII Región*". Talca, 1997, 386p. Trabajo de Grado Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Recursos Naturales.

Pizarro Tapia, R. & Abarza Martínez, A., "*Compared Analysis of Intensity- Duration-Frequency curves for Six Pluviograph stations (Maule Region Chile)*". Talca, 2001, 45p. Trabajo de Grado Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Recursos Naturales.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Colombia.

15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Global Partnerships for Development and Engineering Education", 19-21 July 2017, Boca Raton, USA.