

**XXV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
SAN JOSÉ, COSTA RICA, 9 AL 12 DE SETIEMBRE DE 2012**

**UNA METODOLOGIA DE REVISION DE IDF NO ACTUALIZADAS PARA
MANEJO DEL RIESGO ASOCIADO AL DISEÑO DE DRENAJES EN UN
CONTEXTO DE CAMBIOS CLIMATICOS**

Carlos Anido, Christian Chreties

*IMFIA Facultad de Ingeniería UdelaR, Uruguay
canido@fing.edu.uy, chreties@fing.edu.uy*

RESUMEN: Se propone una metodología para revisar las consecuencias sobre el diseño de drenajes habiendo usado las curvas Intensidad -Duración -Frecuencia (IDF) locales actuales considerando los 30 años transcurridos desde su confección en 1980, mediante la comparación con los datos existentes diarios de precipitación acumulada. Como se ha constatado también un aumento de un 20% de las precipitaciones locales en 30 años debido o no al cambio climático, existe la interrogante acerca de la consecuencia sobre el dimensionamiento de drenajes. Se usa el método de la tormenta de diseño y sus modificaciones, propuesto por (National Soil Conservation Service, 1985) que estima el hidrograma de respuesta de una cuenca a un evento extremo. Se revisan simultáneamente las consecuencias de otras propuestas hechas para manejar el aumento local de la lluvia anual, como lo es la sugerencia hecha en el Manual de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de tomar un valor mayor del tiempo de retorno. La comparación de los resultados para 24 horas muestra que tomando en cuenta el aumento de lluvia anual en los últimos 20 años, el resultado se encuentra en un entorno del 5% del valor que surge del mapa, mostrando que sería prudente analizar más estaciones para seguir evaluando el empleo de la metodología y empezar a considerar simultáneamente otras condiciones adversas suplementarias, pues ya se podría estar en ese caso subdiseñando los drenajes.

ABSTRACT: A methodology is proposed to review the result of drain designing taking account of current local IDF considering the 30 years since its construction in 1980, using existing daily accumulated data precipitation. It has been observed an increase of 20% of local annual rainfall in 30 years, either by local change or due to climate change. For estimation of peak flow, it is used the design storm method proposed by the National Soil Conservation Service in 1985 and its amendments, which yield the hydrograph of a basin response to extreme rainfall event. We review simultaneously the consequences of other proposals made to handle the local increase of the annual rainfall, such as considering a larger value of the return time. The comparison between results between the map and recalculation with more data for 24 hours shows that considering an increase in annual rainfall of the past 20 years remains just valid and it would be wise to analyze in the future more stations to assess results issued by the applied methodology, and to consider also other additional adverse conditions, because it might be possible then that drains were already underestimated.

PALABRAS CLAVES: curvas IDF, diseño drenajes, cambio climático

Introducción

Se hicieron las curvas Intensidad, Duracion, Frecuencia (IDF) para el Uruguay en el año 1980 (Rodríguez Fontal, 1980). Estas curvas no han sido actualizadas desde entonces. Se les dio forma práctica como un mapa con isoyetas para duraciones de 3 horas y 10 años de Tiempo de Retorno, del cual se extrae un valor de acuerdo a la ubicación de la cuenca que se analiza con el fin de determinar un caudal pico de diseño para obras de drenaje.

Se usa para tiempos de concentración largos y para cuencas mayores el método de la tormenta de diseño y el hidrograma unitario propuesto por el ahora conocido como National Resources Service (National Soil Conservation Service, 1985). Con ese procedimiento propuesto, se estima para proporcionar datos destinados al diseño de un drenaje, el hidrograma de respuesta de una cuenca a un evento extremo de lluvia con intensidades tomadas de las IDF.

La formula (1) expresa la forma de obtener la intensidad extrema en el territorio, a partir del mapa de la figura 2:

$$P_{(d,Tp,p)} = P_{(3,10,p)} * CT_{(Tp)} * CD_{(d)} * CA_{(Ac,d)} \quad [1]$$

(IMFIA, Sección de Hidrología, 2002)

donde: P (lluvia en mm para una duración d, un tiempo de retorno Tp y para un riesgo p), CT (correccion de tiempo de retorno 10 años a un Tiempo de retorno Tp), CD (correccion de duracion de la intensidad 3 horas a d), CA (correccion de area), d (duracion) Tp (tiempo de retorno considerado), Ac (area de cuenca), p (probabilidad de riesgo asumida), todo para un punto de coordenadas dadas.

Esta forma de correccion corresponde a la relación propuesta (Pizarro, 2003) para vincular los 3 aspectos tiempo de retorno, duración e intensidad de lluvia:

$$I = \frac{kT^m}{D^n} \quad [2]$$

Aparte de la falta de actualizacion, como se ha constatado también un aumento de un 20% de las precipitaciones locales en 30 años (cualquiera sea el origen por causas locales como por cambios de clima), existe una interrogante válida sobre cual ha podido ser la consecuencia sobre el comportamiento de los drenajes según el dimensionamiento obtenido aplicando las metodologías propuestas.

El limitado numero de estaciones empleadas para determinar las curvas IDF se observa en la figura 1, extraída del estudio (Rodríguez Fontal, 1980), alimenta también la interrogante sobre el desempeño obtenido a partir del diseño realizado usando este estudio luego de 30 años de realizado.

El Manual de Vialidad (2002) sugirió emplear un valor de tiempo de retorno doble para ponerse del lado de la seguridad pero sin evaluación de la pertinencia de la propuesta.

Objetivos

Se propone una metodología para revisar la consecuencia de usar o haber usado las IDF actuales considerando los 30 años transcurridos, en cuencas donde no hay actualizaciones en curso, empleando al menos los datos existentes diarios de precipitación acumulada. Se propone revisar simultáneamente las consecuencias del cambio de estructura de la Tormenta de diseño y de la sugerencia que hace el Manual de Vialidad de tomar un valor mayor del tiempo de retorno, sobre el dimensionamiento civil.

Metodos

Para la comparacion se construye la estadistica de Gumbel (Pizarro, 2003) de los eventos extremos de 24 horas con la serie de datos diarios disponibles para Artigas. Se estaria suponiendo que se conservan los correctores para otras intensidades.

T A B L A 1-2

Estaciones Pluviográficas:
Características, ubicación, altura sobre el nivel del mar
y número n de años de observaciones.

No.	Código	Nombre	Latitud S	Longitud W	Altitud mSNM	n años
1	1060	Artigas (Ciudad)	30°27'	56°28'	117	7
2	1147	Rivera (Ciudad)	30°55'	55°31'	202	7
3	1283	Salto (Ciudad)	31°23'	57°58'	45	8
4	1709	Meio	32°22'	54°11'	100	6
5	1774	Estación Francia	32°33'	56°36'	119	5
6	1915	Peso de los Toros	32°50'	56°27'	86	6
7	1960	Baygorria	32°53'	56°47'	90	6
8	2257	Polanco del Yi	33°27'	56°10'	130	9
9	2179	Treinta y Tres (Ciudad)	33°14'	54°23'	30	14
10	2774	Colonia (Ciudad)	34°29'	57°50'	5	10
11	2906	Punta del Este	34°58'	54°57'	16	10
12	2887	Montevideo (Ciudad)	34°52'	56°12'	22	69(*)

(*) Para lluvias de duración t = 10, 20 y 30 minutos, 57 años de observaciones.

Figura 1.- Estaciones y datos hasta 1980 para hacer las IDF (Rodríguez Fontal, 1980, pág. 19)

Se determinan los valores correspondientes para los tiempos de retorno 10, 30, 50 que tienen relacion con obras secundarias, vida util de muchas obras civiles.

Se compara con los valores obtenidos de la IDF. La formula (2) da esos valores P en funcion de X (media de la poblacion), S (desviacion estandar de la poblacion), Kt_x (estadistico calculado a partir Gumbel):

$$P_{extremaTx} = X + Kt_x * S \quad [3]$$

(IMFIA, Notas del curso de Hidrología, Cátedra de Hidrología, 2011)

Se estima el caudal pico con la Metodologia que lleva a construir el hidrograma (National Soil Conservation Service, 1985). Consideramos el cambio realizado en la tormenta de diseño ue paso de tener el pico en el cuarto intervalo de duracion a tenerlo en el septimo luego del 2000.

Resultados

La aplicacion de la metodologia al caso del entorno de la ciudad de Artigas (latitud 30° 27', longitud 56° 28'), campos de pasturas (numero de curva NSCS 79), extensiones limitadas para que CA, la correccion de área, sea aproximadamente 1 y tiempos de concentracion importantes, muestra que

las intensidades para 24 horas son comparables con las estimadas directamente por lo que tienen aún cierta validez la aplicación.

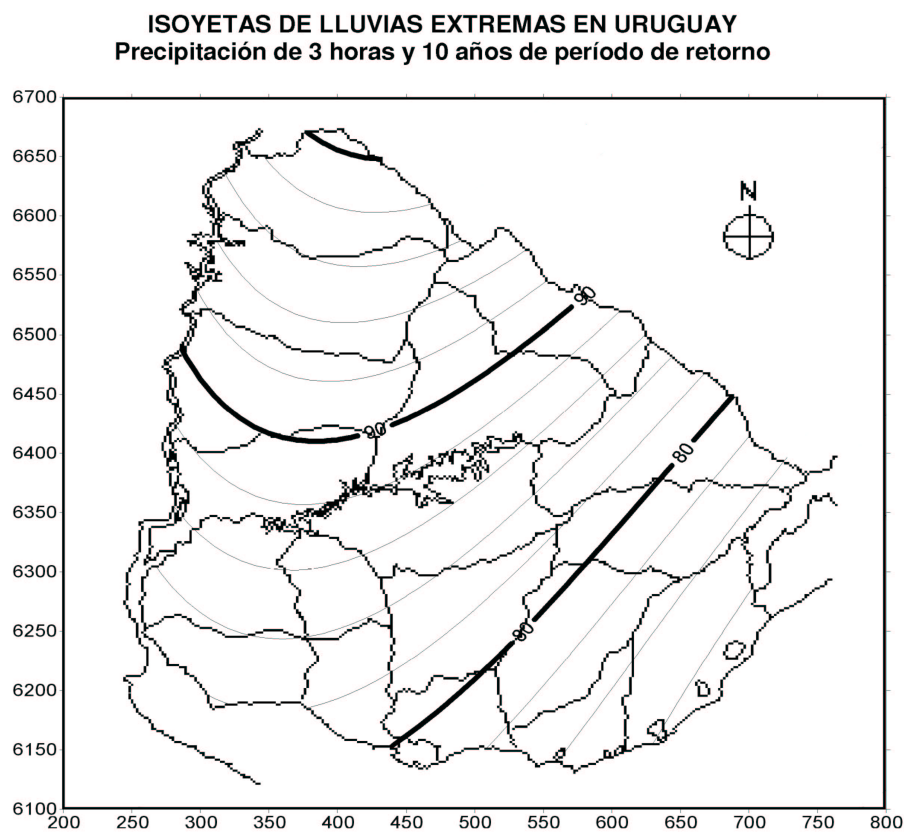


Figura 2.- Mapa actual IDF basada en datos hasta 1980

Las tabla 1 y 2 resumen los resultados encontrados para los valores diarios de 24 horas del sitio (tabla 1) y para el valor encontrado a partir de la IDF (tabla 2) resumidos en la línea “Ratio IDF/serie”.

El valor α y β son característicos de la distribución de Gumbel. El resultado de la evaluación parcial del cambio de forma de la Tormenta de diseño se muestra en la tabla 3.

Tabla 1.- Valores para Precipitaciones extremas 24 horas de duración

Parámetro	Valor KT _x	1950... 1980 mm	1950... 2002 mm	1980... 2002 mm
X [mm]		109.16	117.96	130.36
S		36.6	41.94	46.56
Número de datos		31	53	22
α		0.21	0.18	0.17
β		109.04	117.85	130.26
KT ₁₀	1.3			
KT ₃₀	2.19			
KT ₅₀	2.59			
Precipitación extrema T ₁₀		156.91	172.67	191.1
Precipitación extrema T ₃₀		189.27	209.76	232.27
Precipitación extrema T ₅₀		204.04	226.68	251.06

Hay que señalar que el hidrograma de salida se estima para las condiciones II antecedentes de humedad. Estas no son la peor situación estudiada aunque sean las condiciones usuales que se toman para la determinación de los parámetros de diseño de las obras de drenaje, de forma de no ser sobrepasadas en su funcionamiento para un tiempo de retorno de las tormentas, un riesgo asumido y la calidad de los materiales que se emplearan.

La peor situación provendría, lo que no es estudiado aquí en este trabajo, de tormentas sucesivas que generen condiciones antecedentes de humedad de tipo III para un evento extremo de lluvia.

La metodología propone para tomarlas en cuenta a estas condiciones de mayor humedad, hacer un cambio del número de curva asociado a la cobertura y uso del suelo correspondientes, que aumenta

Tabla 2.- Relación entre Lluvias extremas 24 horas de duración a partir IDF y de la serie de valores diarios

Tiempo de Retorno (años)	Valor IDF a partir Mapa (3, 10) mm	Artigas CD*CT	IDF/1950.. 1980	IDF/1950.. 2002	IDF/1980... 2002
(3 horas, 10 años)	99.5				
10	182	1.83			
30	220	2.21			
50	238	2.39			
Ratio IDF/serie			1.16	1.05	0.95

Muestran en el caso de la estación estudiada, que aumenta moderadamente el Caudal pico con el tiempo de retorno y lo hace de manera decreciente:

Tabla 3.- Valores para Lluvias extremas 3 horas de duración, calculadas con la Tormenta de diseño NSCS

Ubicación del máximo pico de intensidad correspondiente a una unidad de duración para una cuenca dada	Tiempo Retorno (años)	Caudal pico m ³ /s
Caudal a partir del Mapa IDF, con Tormenta de diseño donde Max_pico, para una duración unitaria, es 4to en la sucesión de impulsos de lluvia	Tr = 10	2.7
	Tr = 30	3,55
	Tr = 50	4
Caudal a partir del Mapa IDF, con Tormenta de diseño donde Max_pico, para una duración unitaria, es 7mo en la sucesión de impulsos de lluvia	Tr = 10	3
	Tr = 30	3,55
	Tr = 50	4.3

La propuesta realizada en el Manual de Vialidad del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, confeccionado por la Sección de Hidrología (IMFIA, 2002) de manejar el aumento de lluvias anuales y las esperables mayores intensidades, con el recurso de duplicar el tiempo de retorno, que da un valor mayor de intensidad y por lo tanto de caudal que aumentaría para tiempos de retorno altos y para tiempos de concentración del escurrimiento de la cuenca acotados.

Tabla 4.- Valores para Precipitaciones extremas 24 horas de duración

Tiempo de Retorno (años)	Valor CT a partir corrección con el doble de Tiempo	Proporcion de aumento en % de la correccion CT
	99.5	
10	1,14	14%
30	1,35	11.5%
50	1,44	9.9%

Conclusiones

La revisión de lo diseñado a partir del análisis de datos diarios que estén accesibles, del cambio de forma de la tormenta de diseño y de la recomendación hecha en el Manual de vialidad (2002) aparecen como útiles para la evaluación de riesgos de sobrepasamiento de caudales de diseño asociados a drenajes. La comparación entre resultados para 24 horas muestra que aun considerando un aumento en los últimos 20 años con cierta correlación positiva con valores crecientes (como surge de aplicar una media móvil de 20 años a los datos), el resultado se mantiene para la estación estudiada, en un entorno del 5% del valor que surge del mapa IDF (3,10), por lo que aparece prudente aplicar el principio de precaución al uso que se ha hecho del mismo para las distintas localidades, profundizando el estudio. Sería conveniente posteriormente analizar otras estaciones que no serán objeto probable de actualización en lo inmediato para verificar comportamientos hidrológicos y la determinación de parámetros de diseño que alimentan.

El cambio de forma de la tormenta de diseño aparece como limitado en su efecto de aumento del caudal pico, para valores moderados de área y tiempo de concentración. Sería conveniente en el futuro continuar la evaluación agregando los datos de 1980 a 2010 y analizar junto con esto, más en detalle, el efecto en el caudal pico resultantes de variaciones en el tiempo de concentración y el área.

Finalmente la propuesta de duplicar el tiempo de retorno hubiera dado valores más importantes para tiempos de retorno altos y tiempos de concentración limitados, aunque se puedan considerar usar este procedimiento con prudencia por el impacto sobre la economía, si bien mejora la seguridad de funcionamiento.

Es conveniente en el futuro profundizar, teniendo este punto en mente cuando se estudien otras estaciones similares en el país, siguiendo su comportamiento al respecto de la incidencia en el diseño de drenajes, así como también tomar en consideración otros factores no tratados aquí, por ejemplo la ocurrencia observable en la realidad de las lluvias sucesivas que hacen que, en vez de condiciones II de humedad antecedente, un evento extremo se de en condiciones III de humedad antecedente, al momento de aplicar el método del National Resources Service (EEUU) para estimar el hidrograma de salida y que por lo tanto se puedan esperar valores de caudal pico aun más grandes por causa de este hecho para la cuenca bajo estudio.

Referencias Bibliográficas

Chow, V.T. Y Maidment, D. y Mays L. (1994), *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill Interamericana S. A..

IMFIA, Sección de Hidrología, (2002), *Directivas de Diseño Hidrológico -Hidráulico de Alcantarillas, para uso del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Uruguay*, Facultad de Ingeniería UdelaR Montevideo, Uruguay

IMFIA, Cátedra de Hidrología (2011), *Curso de Hidrología Avanzada I, Notas de Hidrología Superficial*, Facultad de Ingeniería UdelaR. Montevideo, Uruguay.

National Soil Conservation Service -NSCS-, (1985) *National Engineering Handbook: Section 4, Hydrology*, (NEH-4), United States Department of Agriculture (USDA): USA

Rodríguez Fontal, (1980). "Ecuaciones y Abacos para drenaje, desagüe de aeropuertos, autopistas y zonas urbanas, diques de tierra y defensa ante inundaciones". *Boletín de la Facultad de Ingeniería UdelaR*, Vol XIV, No. 2, Montevideo, Uruguay.

Pizarro, Roberto et al, (2003) *Construcción de Curvas IDF (Intensidad- Duración -Frecuencia) en Zonas semiáridas de Chile Central*. XII World Forestry Congress, Quebec City, Canada.