

1457

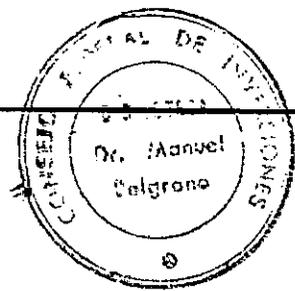
33397

I

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
 DIRECCIÓN PROVINCIAL DE HIDRÁULICA
 PROVINCIA DE BUENOS AIRES

ESTUDIO REGULACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO DE LA MATANZA
 ETAPA I. ANTEPROYECTO AVANZADO ESTACIONES DE BOMBEO

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LOS CAUDALES
 DE DISEÑO PARA LAS ESTACIONES DE BOMBEO
 ECUADOR, MITRE Y ROCA



Director de Proyecto : Ing. O. García
 Codirectores : Ing. P. Agabios
 : Ing. R. Palacios
 : Ing. H. Amicarelli

Coordinador General : Lic. B. Bakarcic

X.12
 H.1112
 B 319

Preparado por Ing. Agr. César Litwin
 Asesor Ing. Jorge A. Maza

Capital Federal, 31 de marzo de 1989

ERRATA.

En la página 15 el último párrafo dice: "Las diferencias son consistentes con lo que sugiere la tabla 3.2. ..."

Pero debe decir: "Las diferencias son consistente con lo que sugiere el texto que acompaña la tabla 3.2. ..."

I. ANTECEDENTES. RESUMEN.

El Informe N° 1 de la presente serie (Agabios, Ambrosolio, Cornejo, Seglie, Zombori, Palacios y Martínez) define la posición de ocho estaciones de bombeo para otras tantas cuencas con apreciable urbanización que desaguan sobre la margen derecha de la rectificación del Riachuelo.

Este informe se ocupa de los caudales producidos por las tormentas recurrentes cada 2 y 5 años en las tres últimas de aquellas ocho, a saber, Ecuador, Avda. Mitre y Avda. Gral. Roca.

Para ello se emplea la rutina URBHYD del modelo Otthymo (Wisner, P. y Choon-Eng P'ng. OTTHYMO. Un modelo para Planificación de Sistemas Maestros de Drenaje. Traducción de Jorge A. Maza. Edición del traductor, Mendoza, 1986).

El modelo es estimulado con la elaboración que resulta del análisis pluviográfico de la estación Villa Ortúzar (Capital Federal) en el período 1919-1985 y con parámetros morfométricos tomados de cartografía escala 1/5.000 analizada en el informe referenciado en el primer párrafo.

La tabla 1.1. muestra resultados de caudal pico.

Tabla 1.1. Caudales máximos en las cuencas estudiadas (m³/seg) para tormentas recurrentes cada 2 y 5 años.

CUENCA	CAUDALES (m ³ /seg.)	
	Tormenta 2 años	Tormenta 5 años
Ecuador	12,8	19,5
Mitre	6,8	9,8
Roca	13,6	20,1

Se provee un anexo con resultados completos de todos los cálculos.

Los resultados se analizan en forma crítica frente a dos trabajos previos que se ocuparon de la misma zona.

Por un lado el notable ensayo Metodología para la generación de caudales extremos. Su aplicación a la cuenca del río Matanza, del Ing. Gustavo A. Devoto (Jornadas Científico-Técnicas. Modelos matemáticos hidrológicos para grandes llanuras y su aplicabilidad a la zona deprimida del Salado, CODESA - SEC y T - SRH, La Plata, octubre de 1984) y como contracara el fallido anteproyecto preliminar del Estudio de la regulación de la cuenca del río Matanza (primer Informe Parcial, 1987) del consorcio EIH - CEOPYD S.A. - C y C S.R.L., realizado para el Consejo Federal de Inversiones y rechazado por éste debido a sus falencias técnicas.

2. PROCEDIMIENTOS. CARA DE DATOS.

La teoría del modelo no será descripta. Consta en la publicación citada en segundo término en 1.

Apenas se dirá que el funcionamiento de la rutina URBHYD, con que se simulan caudales en cuencas urbanizadas, consiste en la convolución de dos hidrogramas unitarios instantáneos que simultáneamente pero cada uno con sus características espaciotemporales producen escorrentía que llega al colector tras el paso por las fracciones permeable e impermeable de cada cuenca.

El eje del funcionamiento de la rutina es el cálculo del coeficiente de almacenamiento de cada hidrograma unitario, que el modelo puede estimar per se pero aquí se ha calculado aparte según se analiza más abajo (ver 2.2.)

2.1. Estudio Pluviográfico

La tabla 2.1.1. muestra el registro completo de datos pluviográficos con que se trabajó.

Con ellos se corrió el programa MAX, cuyo resultado completo se encuentra en la primera parte del Anexo; básicamente consiste en el ensayo de ocho distribuciones de valores extremos, (*) cuyo comportamiento, evaluado con pruebas de bondad estadística paramétricas y no paramétricas (Chi Cuadrado y Kolmogorov-Smirnov) se ilustra en la tabla 2.1.2.

(*) Normal, Log-Normal, Normal con las raíces cuadradas y cúbicas de los datos; Gumbel, Fréchet (Log-Gumbel), Gumbel con las raíces cuadradas y cúbicas de los datos.

Tabla 2.1.1.

ARCHIVO DE DATOS PLUVIOGRAFICOS DEL CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES.
 CAPITAL FEDERAL. 1919-1972: DATOS DE MEDINA-MOYANO (ESTUDIO PILOTO ...
 #OS SIGUIENTES: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.

A#0	MINUTOS						HORAS				
	5	10	15	30	45	60	120	3	6	12	24
1919	7.0	-	16.0	22.0	-	29.0	-	55.0	63.0	72.0	81.0
1920	19.0	-	44.0	52.0	-	56.0	-	76.0	80.0	87.0	87.0
1921	5.0	-	11.0	13.0	-	27.0	-	35.0	60.0	82.0	82.0
1922	9.0	-	20.0	27.0	-	28.0	-	34.0	47.0	74.0	90.0
1923	5.0	-	10.0	17.0	-	25.0	-	45.0	47.0	51.0	51.0
1924	5.0	-	11.0	18.0	-	23.0	-	46.0	62.0	79.0	79.0
1925	7.0	-	12.0	21.0	-	34.0	-	49.0	84.0	38.0	90.0
1926	12.0	-	27.0	30.0	-	31.0	-	31.0	35.0	-	42.0
1927	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1928	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1929	8.0	-	18.0	23.0	-	24.0	-	27.0	32.0	42.0	42.0
1930	11.0	-	31.0	41.0	-	31.0	-	76.0	79.0	87.0	108.0
1931	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1932	12.0	-	20.0	22.0	-	26.0	-	39.0	43.0	46.0	65.0
1933	9.0	-	17.0	23.0	-	26.0	-	45.0	51.0	58.0	61.0
1934	12.0	-	29.0	38.0	-	38.0	-	38.0	48.0	48.0	48.0
1935	11.0	-	19.0	29.0	-	30.0	-	38.0	43.0	47.0	47.0
1936	11.0	-	20.0	32.0	-	51.0	-	79.0	92.0	99.0	99.0
1937	8.0	-	17.0	21.0	-	43.0	-	63.0	63.0	63.0	76.0
1938	7.0	-	16.0	21.0	-	-	-	39.0	46.0	61.0	61.0
1939	13.0	-	19.0	-	-	29.0	-	50.0	66.0	66.0	66.0
1940	10.0	-	24.0	35.0	-	40.0	-	52.0	-	108.0	115.0
1941	10.0	-	20.0	25.0	-	30.0	-	45.0	60.0	71.0	71.0
1942	10.0	-	18.0	25.0	-	38.0	-	55.0	62.0	75.0	82.0
1943	12.0	-	15.0	18.0	-	21.0	-	41.0	49.0	70.0	71.0
1944	15.0	-	27.0	32.0	-	34.0	-	55.0	86.0	102.0	104.0
1945	10.0	-	24.0	33.0	-	29.0	-	83.0	102.0	141.0	141.0
1946	12.0	-	27.0	36.0	-	52.0	-	65.0	68.0	77.0	96.0
1947	11.0	-	25.0	28.0	-	33.0	-	70.0	85.0	85.0	85.0
1948	9.0	-	16.0	32.0	-	40.0	-	47.0	74.0	77.0	82.0
1949	18.0	-	34.0	48.0	-	51.0	-	53.0	53.0	53.0	53.0
1950	8.0	-	12.0	14.0	-	18.0	-	38.0	59.0	85.0	102.0
1951	13.0	-	29.0	-	-	56.0	-	66.0	85.0	120.0	125.0
1952	11.0	-	26.0	44.0	-	48.0	-	51.0	92.0	92.0	92.0
1953	10.0	-	23.0	31.0	-	45.0	-	68.0	86.0	86.0	86.0
1954	10.0	-	20.0	21.0	-	23.0	-	33.0	62.0	81.0	81.0

Tabla 2.1.1. (Continuación)

ARCHIVO DE DATOS PLUVIOGRAFICOS DEL CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES.
 CAPITAL FEDERAL. 1919-1972: DATOS DE MEDINA-MOYANO (ESTUDIO PILOTO ...
 A#OS SIGUIENTES: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.

A#O	-----MINUTOS-----							-----HORAS-----			
	5	10	15	30	45	60	120	3	6	12	24
1955	10.0	-	26.0	41.0	-	49.0	-	62.0	62.0	62.0	62.0
1956	10.0	-	17.0	37.0	-	19.0	-	32.0	33.0	33.0	63.0
1957	10.0	-	21.0	35.0	-	41.0	-	42.0	42.0	42.0	48.0
1958	10.0	-	30.0	39.0	-	41.0	-	41.0	60.0	60.0	68.0
1959	10.0	-	20.0	30.0	-	48.0	-	82.0	82.0	-	146.0
1960	10.0	-	17.0	21.0	-	34.0	-	48.0	53.0	93.0	95.0
1961	10.0	-	17.0	33.0	-	39.0	-	55.0	63.0	80.0	86.0
1962	10.0	-	30.0	40.0	-	54.0	-	59.0	64.0	65.0	74.0
1963	10.0	-	18.0	27.0	-	33.0	-	42.0	70.0	126.0	126.0
1964	8.0	-	15.0	22.0	-	38.0	-	55.0	68.0	80.0	80.0
1965	10.0	-	-	25.0	-	26.0	-	31.0	47.0	47.0	62.0
1966	10.0	-	21.0	27.0	-	32.0	-	43.0	54.0	62.0	-
1967	9.0	-	17.0	24.0	-	25.0	-	35.0	50.0	77.0	86.0
1968	9.0	-	18.0	27.0	-	40.0	-	75.0	86.0	97.0	97.0
1969	10.0	-	30.0	60.0	-	82.0	-	88.0	88.0	88.0	88.0
1970	10.0	-	20.0	29.0	-	36.0	-	51.0	53.0	59.0	59.0
1971	10.0	-	30.0	42.0	-	47.0	-	69.0	67.0	85.0	85.0
1972	10.0	-	15.0	18.0	-	21.0	-	39.0	49.0	70.0	80.0
1973	8.5	17.0	17.5	24.0	-	35.0	-	46.0	54.5	102.7	102.7
1974	7.0	13.5	16.5	21.5	-	28.1	-	47.5	55.0	65.8	102.9
1975	6.5	9.0	13.0	23.9	-	29.1	-	35.7	45.8	56.0	61.0
1976	17.0	21.0	24.0	30.0	-	33.5	-	44.2	45.0	45.0	45.0
1977	10.0	13.0	16.5	29.0	-	34.0	-	62.3	68.0	68.0	68.0
1978	10.0	20.0	21.5	25.5	-	29.0	-	53.7	79.0	92.5	97.7
1979	9.3	14.4	18.9	24.4	-	27.8	-	43.4	50.1	52.5	72.2
1980	10.3	19.6	23.7	31.9	-	39.6	-	55.2	70.5	83.0	83.0
1981	8.8	16.6	19.3	27.8	-	31.2	-	44.9	44.9	54.5	59.1
1982	-	-	-	-	-	27.9	-	66.6	83.1	100.2	107.0
1983	9.4	17.5	21.5	30.4	-	37.4	-	59.6	73.4	73.4	73.4
1984	11.5	17.4	20.2	24.9	-	32.6	-	70.8	71.9	84.3	84.3
1985	9.5	13.6	19.1	30.5	-	61.0	-	128.2	178.6	248.6	317.2
1986											
1987					-	72.5	-	83.5	99.9	104.9	
1988						22.4	36.7	48.2	68.0	100.5	103.4

Tabla 2.1.2. Primer acierto (*) y segundo acierto (x) de bondad estadística de ocho distribuciones de valor extremo ajustadas con los datos pluviográficos de la estación Villa Ortúzar (Capital Federal). Registros del período 1919-1985.

Dura ción	Distri- bución	N	LN	N2	N3	G	FR	G2	G3
5'			x			*			
15'			x			*			x
30'						x		*	
60'								*	x
180'								*	x
6 h								*	x
12 h							*		x
24 h							*		x

N= Normal 2= raíz cuadrada de los
 G= Gumbel datos.
 LN= Logonormal 3= raíz cúbica de los
 FR= Fréchet datos.

Se advierte que: a) las distribuciones tipo doble exponencial negativa poseen mejor comportamiento que las distribuciones derivadas de la ley normal; b) la distribución Gumbel presenta el primer acierto en 5 y 15 minutos, que son los intervalos que más interesan a los efectos del presente estudio. Unido és to al mayor sustento teórico que posee esta distribución frente a las restantes formulaciones, hace que se la elija.

La decisión es coincidente con la adoptada por Medina L. y Moyano M. (Estudio piloto de lluvias intensas en la República Argentina, INC y TH, Hidrología, Cuaderno N° 2, 1975) que analizan el período 1919-1972; también se toma en cuenta lo recomendado por G. W. Kite (Frequency and risk analyses in hydrology, Water Resources Publication, Colorado, 1985; ver especialmente Selection of a Distribution, páginas 216 a 219) en el sentido de valorizar el basamento teórico de la ley distributiva que se favorece frente a resultados empíricos de varianza muestral rápidamente alterable por presencia (o ausencia) de "outliers".

La tabla 2.1.3. resume los resultados de la distribución escogida en las recurrencias que van de 2 a 50 años, y la 2.1.4. los incrementos que surgen de la anterior, para cada uno de los intervalos de tiempo analizados entre 15 minutos y 12 horas, para 2 y 5 años de tiempo de retorno.

La tabla 2.1.1. presenta inconsistencias en los años 1925, 1930, 1945, 1956 y 1971. Ellas son usuales en los informes de decodificación de fajas pluviográficas; en este caso no afectan las intensidades de 5 y 15 minutos, sobre las que recayó el máximo de interés.

Tabla 2.1.3. Precipitaciones máximas en Buenos Aires (mm) según recurrencias y duraciones. Distribución Gumbel.

Recurrencia \ Duración	5'	15'	30'	60'	180'	6h	12h
2 años	9,7	19,8	27,6	34,3	50,7	61,7	72,6
5 años	12,1	25,9	36,3	46,2	67,7	83,0	102,4
10 años	13,8	29,9	42,1	54,0	78,9	97,1	122,1
20 años	15,4	33,7	47,6	61,6	89,7	110,6	141,1
50 años	17,4	38,7	54,7	71,4	103,7	128,1	165,6

Tabla 2.1.4. Precipitaciones máximas en Buenos Aires. Incrementos diferenciales de lluvia (mm) según recurrencias y duraciones. Distribución Gumbel.

Recurrencia \ Duración	15'	30'	60'	180'	6h	12h
2 años	19,8	7,8	6,7	16,4	11,0	10,9
5 años	25,9	10,4	9,9	21,5	15,3	19,4

La razón de presentar en la tabla 2.1.3. cifras más completas es porque se considera que ellas serán de utilidad en otros estudios en la Provincia de Bue-

nos Aires, no obstante que en la primera parte del Anexo se encuentran referencias aún más detalladas.

El hietograma de diseño se construye con los valores de la tabla 2.1.5., centrando las intensidades mayores.

Tabla 2.1.5. Intensidades del hietograma de diseño (mm/15 min.) para 2 y 5 años de período de retorno. Distribución Gumbel.

	15'	30'	60' 2*	180' 8*	6h 12*	12h 24*
2 años	19,8	7,8	3,35	2,05	0,9167	0,4542
5 años	25,9	10,4	4,95	2,6875	1,275	0,8083

2.2. Datos Morfométricos e Hidráulicos

La rutina URBHYD requiere los siguientes datos:
 1) área de la cuenca DA (hectáreas); 2) fracción impermeable directamente conectada XIMP (tanto por uno); 3) fracción impermeable total TIMP (tanto por uno); 4) número de curva (CN) del servicio de conservación de suelos de los EE. UU. para ser aplicado al cálculo de pérdidas en la fracción permeable; 5) retención inicial IA (mm); 6) coeficiente de almacenamiento de la fracción impermeable KI (horas); 7) id. fracción permeable KP;



8) pendiente S (%); 9) longitud del recorrido no encauzado LO (m); 10) rugosidad opuesta al flujo laminar no encauzado en la fracción impermeable (MNI); 11) id. fracción permeable (MNP). Los valores se dan en la tabla 2.2.1.

Tabla 2.2.1. Datos morfométricos e hidráulicos.

Estación	DA (has)	XIMP (%)	TIMP (%)	CN	IA (mm)	KI (hs)	KP (hs)	S (%)	LO (m)	MNI	MNP
Ecuador	460	69	77	80	8	2,57	10,23	0,009	1751,2	0,02	0,2
						2,29	9,12				
Mitre	120	77	86	80	8	1,15	4,59	0,032	894,4	0,02	0,2
						1,05	4,16				
Roca	321	71	79	80	8	1,58	6,28	0,032	1462,9	0,02	0,2
						1,41	5,59				

El valor superior de cada coeficiente de almacenamiento corresponde a la tormenta recurrente cada 2 años, y a la de 5 el inferior (que es siempre de menor magnitud) Esto surge del hecho que en el cálculo del coeficiente interviene la intensidad de precipitación, según se verá.

Merece una aclaración el haber considerado en todos los casos una intercepción (IA) de 8 mm.

La cifra es excesiva, pero busca destruir la simetría del hietograma de diseño en un sector no relevante a efectos de producir el pico de caudal; de esa manera el hietograma efectivo se asemeja más a lo habitual de las tormentas intensas en Buenos Aires, en que el chaparrón

se concentra al principio para ir disminuyendo luego en forma paulatina.

No está en las posibilidades del presente estudio analizar fajas pluviográficas para intentar caracterizar formas típicas de los aguaceros.

2.3. El Coeficiente de Almacenamiento

Los autores del modelo Otthymo recomiendan seguir a J. T. Pedersen, J. C. Peters, O. J. Helweg (Hydrographs by single linear reservoir model, Journal of the Hydraulics Division. ASCE vol. 106, N° HY5. May 1980). El cálculo se basa en la estimación del tiempo de equilibrio de la teoría de onda cinemática y estipula que

$$K = 0,5 * t_e$$

con K = coeficiente de almacenamiento

t_e = tiempo de equilibrio

siendo $K = 0,00775 * L^{0,6} * MN_{(I,P)}^{0,6} * i^{-0,4} * S^{-0,3}$

con L = pies

i = intensidad de lluvia

i = pulg/h

S = m/m

K = horas

los restantes términos están definidos.

El modelo Otthymo puede calcular por sí solo los coeficientes KI y KP tomando la máxima intensidad de precipitación; en este caso el cálculo siguió los lineamientos dados por Robert Ragan y J. Obiukwu Duru

(Kinematic Wave Nomograph For Times Of Concentration, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 98, N° HY10, october 1972), estimando KI desde la intensidad de precipitación máxima hasta la que produce la menor variación en el valor del KI respecto del cálculo realizado con la intensidad anterior. Es indistinto trabajar con KI o tp.

El procedimiento fue sugerido al autor por el Ing. Jorge A. Maza, y garantiza que al cálculo del coeficiente ingrese la porción de lluvia que efectivamente genera el pico, en el intervalo apropiado.

La tabla 2.3.1. permite ver cifras de interés.

Tabla 2.3.1. Valores que hacen al análisis de los coeficientes de almacenamiento en las cuencas estudiadas. Cifras redondeadas.

CUENCA	Recurrencia (años)	Intensidad (mm/h)	KI (hs)	te (hs)
Ecuador	2	16,9	2,6	5,1
	5	22,6	2,3	4,6
Mitre	2	17,7	1,1	2,3
	5	22,6	1,0	2,1
Roca	2	16,9	1,6	3,1
	5	22,6	1,4	2,8

Compárense los valores de intensidad con las máximas (79,2 y 103,6 mm/h para 2 y 5 años respectivamente), que son los que habría tomado el modelo librado a su modalidad de funcionamiento autónomo.

3. RESULTADOS

En la tabla 3.1. se resumen los valores de mayor interés.

Tabla 3.1. Caudales pico, volúmenes y coeficientes de escorrentía en las cuencas y condiciones estudiadas.

CUENCA	Recurrencia (años)	Caudal pico (m ³ /seg)	Volumen (mm)	Coef. esc. (%)
Ecuador	2	12,8	57,9	79,8
	5	19,5	85,1	83,1
Mitre	2	6,8	62,5	86,1
	5	9,8	91,6	89,4
Roca	2	13,6	59,9	82,5
	5	20,1	88,5	86,5

Las cifras se han contrastado con las que surgen de los estudios mencionados en 1.

El ensayo del Ing. Gustavo Devoto permite derivar una regionalización de caudales en la cuenca del río Matanza de la forma

$$Q_2 = C \sqrt{A}$$

con Q_2 = caudal pico para 2 años.

A = área de la cuenca

Q = m³/seg

A = km²

C = 6,18

La tabla 3.2. muestra el resultado de ese cálculo en las cuencas estudiadas.

Tabla 3.2. Caudales máximos (m³/seg) para 2 años de tiempo de recurrencia. Elaboración propia regionalizando trazas de caudal de esas características generadas por Devoto (1984, op. cit.)

CUENCA	Caudal pico (m ³ /seg)
Ecuador	13,2
Mitre	6,7
Roca	11,0

Las coincidencias son notables; se debe tener en cuenta que las tecnologías de cálculo difieren completamente.

La cuenca Ecuador también fue tratada por el consorcio EIH - CEOPYD - C y C; en su estudio informa un caudal pico de cincuenta años de recurrencia de 13,2 m³/seg.

Las razones esgrimidas por el CFI para descalificar ese estudio no serán dadas aquí; baste señalar que son numerosas y de índole teórico, no numerológico.

Ese estudio también se ocupa del Arroyo Del Rey y del canal Unamuno. Las cifras ahora se contrastan en la tabla 3.3. con las que figuran en el Estudio y Proyecto Integral del Sistema de Desagües Pluviales. ODISA y E. M. Consultora S.A. para la Provincia de Buenos Aires y Municipio de Lomas de Zamora.

Tabla 3.3. Arroyo del Rey y Canal Unamuno. Caudales máximos (m^3/seg) para 2 y 50 años según ODISA-EM y según EIH-CEOPYD-C y C respectivamente.

CUENCA	Q_{P2} a m^3/seg	Q_{P50} a m^3/seg
A° del Rey	94,6	115,3
Unamuno	45,0	40,7

Las diferencias son consistentes con lo que sugiere la tabla 3.2. que es desconfiar de los valores calculados para 50 años de tiempo de retorno.

4. AGRADECIMIENTO.

El autor expresa su reconocimiento al Sr. Codirector del estudio, Ing. Rodolfo Palacios, por la lectura crítica y seria dedicación que ha prestado a este informe.