

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA  
IX CONGRESO NACIONAL

LIMITACIONES DEL METODO RACIONAL EN  
SU APLICACION A CUENCAS URBANAS

Rodrigo Caro C. (1) \*  
M. Luisa Córdova M. (1) \*\*

RESUMEN

Para el cálculo de la escorrentía provocada por las precipitaciones sobre cuencas urbanas, el uso del método racional está ampliamente difundido, sin que exista siempre clara conciencia de sus limitaciones. El presente artículo destaca dichas limitaciones, en especial, la que se refiere a la determinación del coeficiente de escorrentía  $C$ . Se analiza el procedimiento tradicional de calcular un coeficiente ponderado tomando en cuenta los diferentes tipos de superficies presentes en la cuenca y se propone, sobre la base de algunas experiencias de terreno, un nuevo enfoque que consiste en igualar el coeficiente de escorrentía a la tasa de impermeabilidad de la cuenca. Ambos procedimientos se ilustran con un ejemplo, siendo la conclusión que el segundo es el más adecuado, en particular, en áreas pequeñas donde el método racional puede ser usado para estimar en forma aproximada el caudal de punta.

\* Ingeniero Jefe Div. Hidráulica, CADE-IDEPE  
\*\* Ingeniero Div. Hidráulica, CADE-IDEPE.

(1) Los autores expresan su agradecimiento a EMOS por autorizar la publicación de este artículo, basado en parte del estudio del Plan Maestro del Alcantarillado de Santiago y en el proyecto del Colector Interceptor de Aguas Lluvias Vicuña Mackenna - Américo Vespucio.

## 1. EL METODO RACIONAL, SUS PARAMETROS Y LIMITACIONES

El método racional es ampliamente utilizado en hidrología urbana para determinar la escorrentía provocada por una precipitación. Su formulación matemática es la siguiente:

$$Q_p(T) = C \cdot i(t_c, T) \cdot A$$

siendo el significado de los términos el siguiente:

$Q_p(T)$  : caudal de punta a la salida de la cuenca para un período de retorno  $T$ .

$A$  : superficie de la cuenca

$i(t_c, T)$ : intensidad media de la precipitación cuya duración es igual al tiempo de concentración  $t_c$  para un período de retorno  $T$ .

El concepto de tiempo de concentración está en la base del método racional, y se define como el tiempo de escurrimiento del flujo desde el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca hasta su salida. Igualmente el método se funda sobre tres hipótesis:

- El caudal de punta a la salida de la hoya se presenta cuando el conjunto del área aporta su contribución a la escorrentía y, por consiguiente, cuando la duración de la lluvia es por lo menos igual al tiempo de concentración.
- El caudal de punta no considera el volumen de la precipitación caída durante el tiempo de concentración, lo que implica supone una transformación lineal entre lluvia y escorrentía.
- El caudal de punta posee el mismo período de retorno que la intensidad (de la precipitación) que lo provoca. Esto supone que el coeficiente  $C$  no es una variable aleatoria, es decir, que la cuenca está ya consolidada desde el punto de vista de su urbanización.

La principal crítica que puede hacerse al método racional es que no considera el efecto de almacenamiento de agua dentro de la cuenca, el cual alarga el tiempo de base del hidrograma del escurrimiento, disminuyendo de este modo el valor del caudal de punta debido a la concentración de volúmenes. En este sentido, tal como lo han reconocido numerosos autores (1), el método racional conduce a una sobreestimación del caudal de punta.

A nivel de su aplicación, existen, al menos, otras tres limitaciones fundamentales:

- Calcula sólo el caudal de punta sin proporcionar ninguna información respecto a la variación de la escorrentía con el tiempo. Esta limitación inhabilita el uso del método racional en el diseño de redes de colectores de aguas lluvias, en cuyo caso se requieren los hidrogramas correspondientes a las diferentes áreas que tributan a los colectores.

- La intensidad de la precipitación es función directa del tiempo de concentración cuya determinación es imprecisa.

- El caudal de punta  $Q_p$  es directamente proporcional al coeficiente de escorrentía  $C$ , parámetro que no es medido sino que debe ser estimado por el proyectista como un valor constante.

La determinación del coeficiente de escorrentía  $C$  y su implicancia en el diseño de colectores de aguas lluvias constituyen los puntos de atención particulares de este artículo.

Generalmente para la determinación del coeficiente de escorrentía  $C$  se utiliza tablas que aparecen en la literatura internacional, donde se describen tipos de urbanización y se entrega rangos de valores  $C$  para cada caso (que suelen diferir bastante de un autor a otro). Dado lo subjetivo que resulta ser la descripción del tipo de urbanización (por ejemplo un barrio residencial puede tener características muy diferentes de una zona de la ciudad a otra), la adopción de un determinado valor de  $C$  lleva implícito un alto grado de incertidumbre.

Otro procedimiento de cálculo más exhaustivo es calcular un coeficiente de escorrentía ponderado, que consiste en asociar a cada tipo de superficie que conforma el área de interés, un determinado coeficiente de escorrentía deducido a partir de la Tabla N° 1. En otras palabras, la cuenca en estudio se divide en diversos tipos de superficie según el uso del suelo, a cada una de ellas se asocia un coeficiente  $C$  y posteriormente se ejecuta la suma ponderada.

Este procedimiento, junto con el que se propone en el próximo párrafo, han sido aplicados a una cuenca del sur-oriente de Santiago con los resultados que aparecen en el párrafo 4.

TABLA Nº 1

Asignación de valores del coeficiente de escorrentía C

	Kuchling	Urban Storm Drainage	Steel and Terence	ASCE 1976	C(e) Valor adoptado
1) <u>Calzadas y áreas MS</u>					
Pavimento asfáltico	0.85-0.90	0.75-0.95	0.85-0.90	0.70-0.95	0.80
de concreto	-	0.80-0.95	0.80-0.95	-	-
de piedra (adoq)	0.75-0.85	-	-	-	-
2) <u>Áreas pavimentadas de grava</u>	-	0.75-0.85	0.75-0.85	-	0.75
	-	-	0.15-0.30	-	-
3) <u>Techos</u>	0.70-0.95	0.75-0.95	0.70-0.95	0.75-0.95	0.75
4) <u>Áreas Verdes</u>	0.01-0.20				0.10
suelo arenoso 1=7%	-	0.05-0.10	0.05-0.10	0.05-0.10	-
1=2-7%	-	-	0.10-0.15	0.10-0.15	-
tierra densa 1=2%	-	0.15-0.20	0.13-0.17	0.13-0.17	-
1=2-7%	-	-	0.18-0.22	0.18-0.22	-

(e) Aplicación en el presente artículo.

2. UN NUEVO ENFOQUE PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C

Tal como se ha señalado anteriormente, en el método racional la determinación del coeficiente de escorrentía C es de fundamental importancia ya que implícitamente toma en cuenta la infiltración y otras pérdidas que sufre la lluvia y que influyen en la magnitud de la escorrentía.

En la transformación de la lluvia bruta en lluvia neta y de ésta en escorrentía, se producen pérdidas que pueden clasificarse en dos categorías:

- Las pérdidas iniciales, constituidas por la intercepción de la vegetación, el almacenamiento en las depresiones de la superficie y la infiltración (en terreno no impermeabilizado). Estas pérdidas se producen antes que empiece el escurrimiento.
- Las pérdidas continuas durante la duración de la lluvia, constituidas por la infiltración y la evaporación.

Mientras la intercepción juega un papel despreciable en la hidrología urbana, el almacenamiento en las depresiones del suelo es primordial ya que disminuye la importancia de la escorrentía proveniente de las superficies no impermeabilizadas y sobre todo retarda su participación en el escurrimiento. A la inversa, en las superficies impermeabilizadas el escurrimiento se manifiesta muy rápidamente tras el comienzo de la lluvia.

La infiltración es un fenómeno que sólo interesa en las superficies no impermeabilizadas, siendo función de la intensidad y de la duración de la lluvia. Normalmente disminuye en el curso de una lluvia y su nivel al comienzo de ella depende esencialmente del grado de saturación del suelo, es decir, de las lluvias anteriores.

De esto resulta que la infiltración reduce considerablemente el escurrimiento proveniente de las superficies permeables y sobre todo, retarda aún más su participación en el escurrimiento en la red.

Por último, en cuanto a la evaporación, ésta es débil en el curso de una lluvia y sólo interviene sobre el agua almacenada en las depresiones de las superficies impermeables y sobre la humedad de los suelos permeables.

Resulta entonces que la lluvia bruta que cae en zonas permeables es fuertemente abatida (almacenamiento e infiltración) y que la lluvia neta da lugar a un escurrimiento reducido y fuertemente retardado por el tejido urbano, de manera que contribuye poco al caudal en la zona de interés del hidrografa.

La preponderancia de las superficies impermeabilizadas en las zonas urbanizadas es pues tal, que son numerosos los autores que piensan que en hidrología urbana solo se deben considerar estas superficies para evaluar los caudales usados en los cálculos de las redes. Entre ellos hacen mención de los trabajos de Desbordes (1) y Maksimovic y Radojkovic (2).

De las observaciones llevadas a cabo en áreas experimentales francesas, se desprenden dos consideraciones fundamentales:

- A igualdad de superficie, el caudal máximo ( $Q_{max}$  (PER)) proveniente de las superficies permeables es aproximadamente igual a un 15% del caudal máximo proveniente de las superficies impermeables ( $Q_{max}$  (IMP)).
- Para que el hidrograma resultante de la superposición de escurrimientos provenientes de áreas permeables e impermeables tuviera un caudal peak igual al proveniente del área impermeable solamente ( $Q_{max}$  (IMP)), sería preciso que el caudal de punta del área permeable ( $Q_{max}$  (PER)) ocurriera con una diferencia de tiempo entre 1 y 4 minutos con el originado en las áreas impermeables (Ver esquema Figura N° 1). Esto requeriría de lluvias extremadamente violentas, susceptibles de saturar el suelo en unos pocos minutos y cuya intensidad fuera tal que superara la capacidad de infiltración del suelo.

De las observaciones anteriores, se concluye que para las precipitaciones de período de retorno bajo utilizadas en hidrología urbana, basta considerar solamente el escurrimiento de las superficies impermeables y, por lo tanto, se puede igualar el coeficiente de escorrentía  $C$  a la tasa de impermeabilización IMP (definida como la razón entre el área de la superficie impermeable y el área total).

Ahora bien, para obtener la lluvia neta deberían tomarse en cuenta, además, las pérdidas sobre las superficies impermeables:

- Una pérdida inicial que corresponde al llenado de las pequeñas depresiones del suelo.
- Pérdidas continuas que pueden interpretarse como correspondientes al hecho de que ciertas superficies impermeables evacúan hacia la red sino hacia superficies permeables.

Sin embargo, estos dos tipos de pérdidas son generalmente pequeñas y el no considerarlas en los cálculos del caudal de escorrentía agrega un margen de seguridad a los resultados.

Una verificación adicional a lo anterior es la que proporciona el exhaustivo trabajo llevado a cabo por C. Maksimovic y M. Radojkovic (2). Su libro contiene datos seleccionados de la relación precipitación-escorrentía, producto de mediciones llevadas a cabo en diversas cuencas urbanas y recolectadas con ocasión del Simposio Internacional llevado a cabo en Dubrovnik, Yugoslavia, del 8 al 11 de Abril de 1986.

Se ha preparado una tabla que resume los principales antecedentes que es posible extraer del citado libro (Tabla N° 2).

TABLA N° 2

ANTECEDENTES DE MAKSIMOVIC Y RADOJKOVIC

Ciudad	País	Descripción	Áreas			Coef. Imp. (7)	N° Ensayos (8)	Coef. Escorrentía C			E/P (12)
			Total (m²) (4)	Perm. (m²) (5)	Imp. (m²) (6)			Máx. (9)	Mín. (10)	Medio (11)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Nulvern	Canadá	Single family residential	23.3	15.4	7.9	0.74	22	0.49	0.09	0.23	0.30
Toronto	Canadá	Single family residential	155.0	79.3	75.7	0.49	12	0.32	0.06	0.16	0.37
Pompano Beach	EE.UU.	Single family housing	16.5	10.1	6.4	0.39	11	0.10	0.01	0.05	0.11
Sample Rd	EE.UU.	Highway & Business	23.6	15.1	8.5	0.36	12	0.14	0.01	0.07	0.20
Fort Lauderdale	EE.UU.	Commercial Area	8.3	0.2	8.1	0.98	6	0.49	0.19	0.38	1.06
Kings Creek	EE.UU.	Apartment Complex	5.95	1.75	4.2	0.71	10	0.60	0.13	0.29	0.63
Baltimore	EE.UU.	Residential Area	9.4	4.5	4.9	0.52	10	0.65	0.12	0.35	0.47
Melbourne	Australia	Residencial de 1-2 pisos	70.0	44.0	26.0	0.37	8	0.45	0.08	0.23	0.46
Lingby	Dinamarca	Residencial	6.44	4.43	2.01	0.31	8	0.32	0.11	0.20	0.32
Seine-Saint Denis	Francia	Single House & small appart	253.5	169.9	83.6	0.33	38	0.15	0.01	0.05	0.12

En la Tabla Nº 2, la columna 8 representa el número de ensayos que se hicieron en esa área tributaria. El significado de las otras columnas es el siguiente:

- Columnas 9, 10 y 11: para cada ensayo se ha calculado el coeficiente escorrentía C a partir de la expresión:

$$C = \frac{Qp}{IA}$$

La columna 9 representa el valor máximo de C obtenido en los n ensayos; la columna 10 es el valor mínimo y la columna 11 es el valor medio.

- Columna 12 : representa la razón entre el volumen total de escorrentía y el volumen total de precipitación (valor medio para los n ensayos).

La Tabla Nº 2 muestra lo siguiente:

- El coeficiente de escorrentía C resulta inferior a la tasa de impermeabilización IMP (comparación de columnas 11 y 7), lo que se justifica a partir de la existencia de superficies impermeables no conectadas directamente a la red y que entonces evacúan hacia superficies permeables las que no contribuyen inmediatamente a la escorrentía.
- Es válido aproximar el coeficiente de escorrentía C al valor de la tasa de impermeabilización IMP, teniendo claro que implica una estimación de C por exceso.

En función de lo anteriormente expuesto, en este artículo se postula que para la aplicación del método racional en cuencas urbanas se debe considerar que  $C = IMP$ .

### 3. VALORES DE IMPERMEABILIDAD EN DISTINTOS SECTORES DE SANTIAGO

Con motivo del estudio del Plan Maestro del Alcantarillado de Santiago (3) y de los Colectores Interceptores de Aguas Servidas del Zanjón de la Aguada (4) realizados para ENOS por CADE-IDEPE y Coyne et Bellier, se realizó un estudio para determinar los coeficientes de impermeabilidad de diferentes sectores de Santiago.

Con este motivo, se seleccionaron 22 áreas para cada una de las cuales se estudió en profundidad todos los antecedentes disponibles relativos a planos de loteo, catastro, fotografías aéreas, etc, confrontándose estos antecedentes en terreno a objeto de incorporar las modificaciones que los sectores habían experimentado. Se verificó también en terreno las modalidades de evacuación de aguas lluvias existentes en cada área.

En la Tabla Nº 3 se presentan los resultados obtenidos en cinco tipologías urbanas, destacando los tipos de superficies presentes en cada una de ellas.

Tabla Nº 3

### DISTRIBUCION DE SUPERFICES EN 5 SECTORES DE SANTIAGO

Tipología Urbana	Sector elegido	Calzadas + Pasajes	Aceras	Techos	Sup. Permeable
Colón 8000	Zaragoza	17.2	3.50	17.70	61.6
	Alhué Roberto Guzmán Fuente Ovejuna				
Las Condes	A.de Camargo	14.90	3.8	17.9	63.4
	Roberto Peralgillo Av.Manquehue				
El Peñón de	El Peñón	23.50	3.20	37.40	35.8
	Calle 1				
	Calle 5 Calle 2				
Santa Adriana	Sector C Lincol (La Cisterna)	14.0	6.4	52.8	26.8
La Bandera	J. Williams	19.40	9.8	32.6	38.2
	La Bandera				
	Sgto.Candelaria I. Tocornal				

Una tabla como la anterior es de gran utilidad para determinar el coeficiente de escorrentía C ya sea utilizando el método tradicional del coeficiente ponderado (Párrafo 1) o haciendo  $C = IMP$  (Párrafo 2). El único punto de discusión se refiere al agua caída sobre techos ya que su contribución a la escorrentía es diferente si drenan hacia patios duros o patios absorbentes. En el ejemplo que se presenta en el próximo párrafo, se ha supuesto en el cálculo del coeficiente de impermeabilización IMP que 1/3 del área de los techos es superficie impermeable para efectos del cálculo de la escorrentía.

4. APLICACION DEL METODO RACIONAL A UNA CUENCA DEL SUR-ORIENTE DE SANTIAGO

4.1 Uso del coeficiente de escorrentía ponderado

El ejemplo de aplicación que se presenta a continuación considera el área limitada por las calles Av. Vicuña Mackenna, Av. Américo Vespucio, Av. La Florida y el límite natural que impone el canal San Francisco por el Sur.

Durante períodos de lluvia, este sector drena sus aguas hacia las Avs. Vicuña Mackenna y Walker Martínez, provocando graves problemas de anegamiento en el sector del nudo vial del Paradero 14. Este problema fue abordado en un estudio realizado por CADE-IDEPE para EMOS en el año 1988 (6).

El área de interés fue subdividida en distintos sectores, según se muestra en la Figura Nº 2 y en la tabla adjunta. Las sub áreas fueron definidas en función de los puntos de inyección al colector principal y de la red de colectores secundarios.

Para el cálculo de la intensidad de la precipitación se consideraron las curvas IDF definidas en el Plan Maestro de Alcantarillado (3), las cuales fueron motivo de un artículo presentado en el VI Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica (5).

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía, se supuso que el área de interés (comuna La Florida) puede caracterizarse sobre la base de tres tipologías urbanas:

- (1) Zonas con predominancia de casas construídas con anterioridad a 1960
- (2) Zonas con predominancia de casas construídas entre 1960-1980
- (3) Zonas con predominancia de casas construídas con posterioridad a 1980.

Considerando la distribución de superficies de las muestras presentadas en la Tabla Nº 3, la tipología urbana (1) se asimiló a la muestra 2; la tipología (2) a 2/3 de la muestra 1 y 1/3 de la muestra 3; finalmente la tipología (3) se consideró equivalente a la muestra 3.

Tomando los coeficientes de escorrentía de la Tabla Nº 1, resultan los siguientes valores ponderados de C.

Tabla Nº 4

ESTIMACION DE UN COEFICIENTE DE ESCORRENTIA PONDERADO

Tipología Urbana	Calzadas Pasajes		Aceras		Techos		Superficie Permeable		C ponderado
	\$	C	\$	C	\$	C	\$	C	
(1)	15	0.80	4	0.75	18	0.75	63	0.10	0.32
(2)	20	0.80	3.5	0.75	25	0.75	51.5	0.10	0.40
(3)	23.5	0.80	3.5	0.75	37	0.75	36	0.10	0.51
Áreas Verdes	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10

Dado que se consideraron varias áreas tributarias a lo largo del colector (Figura Nº 2), cada una de ellas fue caracterizada de acuerdo a una o varias de las tipologías urbanas anteriormente presentadas.

Dado que el cálculo de los coeficientes de escorrentía se realizó para una situación futura, se supuso que las áreas actualmente no pobladas son asimilables a la tipología (3).

Los resultados de la aplicación del método racional considerando un coeficiente ponderado de C aparecen en la Tabla Nº 5(a).

4.2 Uso del concepto de impermeabilidad

Aplicando los conceptos presentados en el párrafo 3 (C = IMP), el cálculo de los caudales de aguas lluvias mediante el uso del método racional, implica considerar los siguientes valores del coeficiente de escorrentía para el área de interés ya descrita:

Tipología (1) :	0.15 + 0.04 + 1/4 . 0.18 = 0.23
Tipología (2) :	0.20 + 0.035 + 1/4 . 0.25 = 0.30
Tipología (3) :	0.235 + 0.035 + 1/3 . 0.37 = 0.39
Área Verdes :	= 0.00

Los resultados que entrega el método racional considerando C = IMP, aparecen en la tabla Nº 5(b).

De la comparación de los valores presentados en las tablas 5(a) y 5(b), se desprende que el método del coeficiente ponderado conduce a valores del caudal máximo que son superiores en un 35% a los deducidos a partir del concepto de impermeabilidad. Como se demuestra en otro artículo, esta sobre estimación llega a un 100% si se compara con modelos que calculen el hidrograma completo.

CONCLUSIONES

5.

El presente artículo analiza las limitaciones del método racional para su uso en hidrología urbana, concentrando su atención en el coeficiente de escorrentía C.

Se estudia la transformación de la lluvia bruta en lluvia neta y de ésta en escorrentía, concluyéndose que la precipitación que cae en zonas permeables es fuertemente abatida (almacenamiento e infiltración) dando lugar a un escurrimiento reducido y fuertemente retardado por el tejido urbano. De esta manera, las superficies permeables contribuyen escasamente al caudal de escorrentía en la zona del hidrograma que es de interés para el diseño de colectores de aguas lluvias. Refrendado por mediciones hechas en terreno, se propone que para las precipitaciones de período de retorno bajo utilizadas en hidrología urbana, basta considerar solamente el escurrimiento de las superficies impermeables y, por lo tanto, se puede igualar el coeficiente de escorrentía C a la tasa de impermeabilización IMP (definida como la razón entre el área de la superficie impermeable y el área total).

Se ha aplicado el método racional a una cuenca del sur oriente de Santiago, considerando un coeficiente de C ponderado (como se recomienda en la literatura) y haciendo C = IMP. El caudal de punta que resulta del primer procedimiento es un 35% superior al deducido a partir del concepto de impermeabilidad.

Se concluye, finalmente, que el método racional no es adecuado para el cálculo de colectores de aguas lluvias porque sobreestima los caudales de diseño y que su aplicación debe restringirse a áreas pequeñas en las cuales se puede suponer que C = IMP.

TABLA Nº 5 (a)  
PLANILLA DE CALCULO DE CAUDAL MENOS LLUVIAS / USO DEL COEFICIENTE PONDERADO

FRANCO CORREDES	PUNTO DE	SUPERFICIES		Caudal													
		PERC. (%)	AREA	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
0 - 0 (*)	0	100.0	0.00	07.02	39.46	37.06	2095.30	02	1200	4.30	1000	4.26	2092.51	01	1200	4.30	1000
0 - 5	0	209.46	0.00	170.52	43.72	30.94	3076.07	9	1000	4.52	300	1.25	4912.09	01	1200	4.30	1000
5 - 7	5	31.05	0.62	11.56	04.97	30.64	354.23	9	1000	4.52	300	1.25	4912.09	01	1200	4.30	1000
7 - 9	7	27.49	0.60	9.90	06.25	30.30	300.29	9	1000	4.52	300	1.25	4912.09	01	1200	4.30	1000
9 - 11	9	15.42	0.60	6.17	07.63	30.04	195.24	9	1000	4.00	322	1.10	4031.50	01	1200	4.30	1000
11 - 15	11	177.77	0.97	17.09	06.73	29.00	2395.04	10	1000	5.25	400	1.40	6031.50	01	1200	4.30	1000
15 - 17	15	79.12	0.80	34.65	06.17	29.50	1822.36	10	1000	5.25	256	1.40	6031.50	01	1200	4.30	1000
17 - 20	17	8.17	0.90	3.27	01.00	26.54	86.74	8	2000	4.90	210	1.10	3122.29	01	1200	4.30	1000
20 - 26	20	70.52	0.95	25.03	01.71	26.41	661.20	8	2000	4.90	400	1.42	3122.29	01	1200	4.30	1000
26 - 28	26	150.30	0.90	53.05	05.27	25.01	1309.99	9	2000	5.20	651	1.54	3122.29	01	1200	4.30	1000
28 - 33	28	15.33	0.60	5.52	04.07	26.01	103.54	7	2200	4.82	646	2.25	3122.29	01	1200	4.30	1000
33 - 36	33	141.00	0.71	52.53	04.33	25.94	1047.16	7	2200	4.92	430	1.40	3122.29	01	1200	4.30	1000
36 - 200	36							0.0	2300	4.70	4001	5.56	3122.29	01	1200	4.30	1000

(\*) = Aguas arriba de calle San Jorge

TABLA Nº 5 (b)  
PLANILLA DE CALCULO MENOS LLUVIAS / USO DEL COEFICIENTE DE IMPERMEABILIDAD

FRANCO CORREDES	PUNTO DE	SUPERFICIES		Caudal													
		PERC. (%)	AREA	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
0 - 0 (*)	0	100.0	0.00	05.27	39.46	37.06	2092.51	02	1200	4.30	1000	4.26	2092.51	01	1200	4.30	1000
0 - 5	0	279.46	0.30	91.52	43.72	30.94	2955.00	9	1050	4.23	300	1.34	5541.84	01	1200	4.30	1000
5 - 7	5	31.05	0.20	6.60	45.64	30.62	263.31	9	1050	4.23	300	1.34	5541.84	01	1200	4.30	1000
7 - 9	7	27.49	0.20	7.42	46.42	30.30	224.93	9	1050	4.23	300	1.34	5541.84	01	1200	4.30	1000
9 - 11	9	15.42	0.20	4.83	47.52	29.98	130.60	9	1000	4.52	322	1.09	5674.31	01	1200	4.30	1000
11 - 15	11	177.77	0.30	50.66	40.00	29.73	1741.97	10	1020	4.70	400	1.56	5674.31	01	1200	4.30	1000
15 - 17	15	79.12	0.30	26.11	50.64	29.41	367.70	10	1000	5.25	256	1.40	5674.31	01	1200	4.30	1000
17 - 20	17	8.17	0.30	2.95	51.47	26.46	84.94	8	1000	4.00	210	1.10	5674.31	01	1200	4.30	1000
20 - 26	20	70.52	0.30	17.63	52.23	26.32	464.07	8	1000	4.60	400	1.40	5674.31	01	1200	4.30	1000
26 - 28	26	150.30	0.20	7.27	53.97	26.02	109.20	9	1000	4.00	651	2.00	5674.31	01	1200	4.30	1000
28 - 33	28	15.33	0.20	3.60	56.05	25.69	1017.09	9	1000	4.00	295	1.00	5674.31	01	1200	4.30	1000
33 - 36	33	141.00	0.20	4.16	54.77	25.89	107.10	7	1050	4.54	646	2.04	5674.31	01	1200	4.30	1000
36 - 200	36			30.23	57.21	25.51	975.14	7	1050	4.54	430	1.40	5674.31	01	1200	4.30	1000

(\*) = Aguas arriba de calle San Jorge

FIGURA Nº 1

HIDROGRAMA TÍPICO PRODUCIDO POR UNA LLUVIA EN UNA CUENCA URBANA

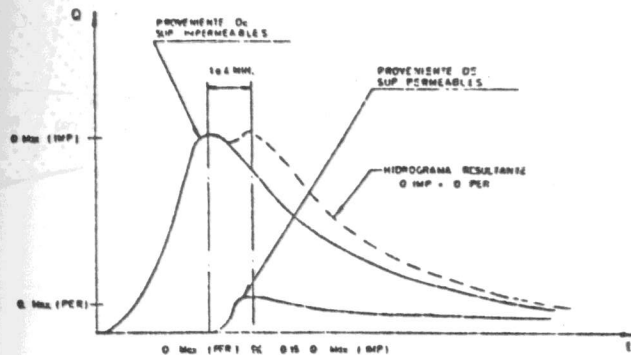
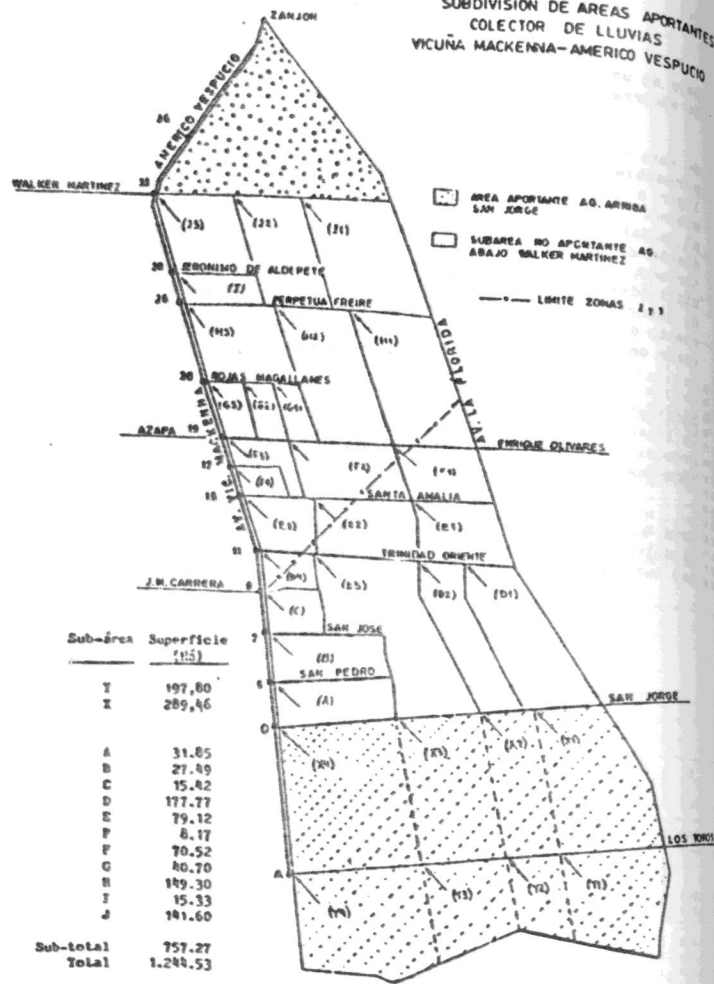


FIGURA N° 2  
 SUBDIVISION DE AREAS APORTANTES  
 COLECTOR DE LLUVIAS  
 VICUÑA MACKENNA-AMÉRICO VESPUCCIO



BIOGRAFIA

- (1) Desbordes M. "Reflexions sur les methods des calcul des reseaux urbains d'assainissement pluvial" These de Docteur Ingenieur-University des Sciences et Techniques du Languedoc-V.E.R. IX N° d' enregistrement au C.N.R.S. : AO 9125, 1974.
- (2) C. Maksimovic y M. Radojkovic, "Urban Drainage Catchments, Selected Worldwide Rainfall-Runoff Data from Experimental Catchments" Pergamon Press, 1986.
- (3) EMOS, Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias. CADE-IDEPE COYNE ET BELLIER. "Plan Maestro de Alcantarillado para el Gran Santiago". 1983.
- (4) EMOS, Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias. CADE-IDEPE COYNE ET BELLIER. "Colectores Interceptores de Aguas Servidas para el Zanjón de la Aguada". 1989.
- (5) Martinez, Agustin y Rodrigo Caro C. "Determinación de la lluvia de cálculo del alcantarillado de Santiago" VI Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica, 1983.
- (6) EMOS, Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias. CADE-IDEPE. "Colector de Aguas lluvias Vicuña Mackenna-Américo Vespucio". 1988.