

WATSON, J. 1990. Engineering hydrology. McMillan Education. London, Inglaterra. 400 p.

WATSON, J. 1991. Watershed hydrology. Prentice Hall. New Jersey, Estados Unidos. 408 p.

WATER RESOURCES BOARD OF ILLINOIS. 1989. Flood hydrology manual. Department of the Interior. Springfield, Illinois, Estados Unidos. 243 p.

WONG, V. 1994. Hidrologia aplicada. Mc Graw Hill Interamericana S.A. Colombia. 584 p.

WYBEN, J. 1986. Looking for hydrologic laws. Water resources research, Vol. 22, Nº 9, p. 46-50. Estados Unidos.

YARIELA, T. 1993. Modelos matemáticos para la evaluación de recursos hídricos. Centro de Estudios Hidrográficos, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid, España. 95 p.

YARIELA, T.; FERREK, M. y ARDILES, I. 1995. Estimation of precipitation-runoff regional models using a geographical information system. Proyecto FRIEND-AMHY. Centro de Estudios Hidrográficos, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid, España. 9p.

YARIELA, T. 1993. Hidrología general. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Leizor, España. 197 p.

YARIELA, T. 1990. Statistical methods for engineers. Prentice Hall. New Jersey, Estados Unidos. 407 p.

YARIELA, T. 1992. Handbook of hydrology. Mc-Graw Hill. Estados Unidos. 900 p.

YARIELA, T. 1990. Hydrological modeling for water management in arid and semiarid areas. Africa. International Water Resources Association Urban, p. 36-45. Estados Unidos.

YARIELA, T. 1996. Análisis comparativo de modelos matemáticos precipitación-escurrimiento en cuencas de la España peninsular. Tesis para optar al grado de Doctor Ingeniero Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Departamento de Ingeniería Forestal. Madrid, España. 377 p. y anexos.

YARIELA, T.; ARDILES, I. y FERREK, M. 1995. Analysis of the spanish data in the FRIEND AMHY database. AMHY FRIEND meeting, Thessaloniki. Centro de Estudios Hidrográficos, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid, España. 10 p.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRAULICA
XIV CONGRESO CHILENO DE HIDRAULICA

LLUVIAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUAS LLUVIAS EN CHILE

CARLOS ANDRES STAPPUNG RUFF (1)

RESUMEN

La lluvia de diseño de un sistema de aguas lluvias es un tema relativamente complejo, puesto que depende del grado de seguridad ante las inundaciones que requiera la ciudadanía, o sea el período de retorno de la misma. Tradicionalmente para elegir el período de retorno de diseño se recurre a la bibliografía de otros países adoptando criterios similares, el presente trabajo pretende demostrar que las lluvias de otros países tienen características distintas a las que ocurren en Chile, por tanto no necesariamente se deben adoptar los mismos períodos de retorno para la lluvia de diseño.

En el presente trabajo se pretende hacer una comparación del fenómeno de las lluvias a nivel nacional de norte a sur e internacional en países como Argentina, Brasil, Estados Unidos, Canadá y España. Se realizan comparaciones de volumen precipitado anual, intensidad máxima diaria y horaria y recurrencia anual de las lluvias.

Se concluye que las lluvias en Chile tienen un comportamiento cuya intensidad máxima diaria no tiene necesariamente relación con el volumen anual precipitado. Estas lluvias a su vez son comparables en cuanto a precipitaciones diarias con las que ocurren en otros países, pero a nivel de precipitaciones horarias se encuentran significativas diferencias, que corresponden precisamente a aquellas duraciones que tienen relevancia para la evacuación y drenaje de aguas lluvias urbanas.

(1) Ingeniero Civil U. de Ch. D.O.H.-M.O.P.

1.- INTRODUCCION

La lluvia de diseño de un sistema de aguas lluvias es un tema relativamente complejo, puesto que depende del grado de seguridad ante las inundaciones que requiera la ciudadanía, o sea el período de retorno de la misma. Tradicionalmente para elegir el período de retorno de diseño se recurre a la bibliografía de otros países adoptando criterios similares, el presente trabajo pretende demostrar que las lluvias de otros países tienen características distintas a las que ocurren en Chile, por tanto no necesariamente se deben adoptar los mismos períodos de retorno para la lluvia de diseño.

En este trabajo se pretende hacer una comparación del fenómeno de las lluvias a nivel nacional e internacional en cuanto a volumen precipitado anual e intensidad máxima diaria y horaria y recurrencia anual de las lluvias, con tal de plantear que el período de retorno no debe ser único y los valores adoptados internacionalmente no necesariamente deben ser los mismos en Chile tal como se plantea en otro trabajo que se presenta en el presente Congreso.

2.- VARIACION DE LA LLUVIA EN CHILE DE NORTE A SUR.

Con tal de caracterizar la variabilidad de la lluvia a nivel nacional, en la TABLA 2.1 se encuentra la precipitación promedio anual, el promedio de días al año con lluvia, el promedio de precipitación por día de lluvia y la precipitación máxima diaria para un período de retorno de diez años en varias ciudades de Chile, de norte a sur. De aquí se desprende que existe una gran variabilidad de las precipitaciones, aumentando el volumen de la precipitación con la latitud alcanzando los mayores valores de volumen y días con lluvia en torno a la X y XI regiones. Por otra parte los valores más altos de precipitación promedio por día de lluvia se encuentran en torno a la VII y VIII regiones. Osea el fenómeno de la intensidad de la lluvia no necesariamente es proporcional al volumen anual precipitado, tal como se visualiza en la FIGURA 2.1 y FIGURA 2.2.

Del análisis de las precipitaciones máximas diarias para un período de retorno de diez años en las principales ciudades del país, se desprende que no existen grandes variaciones en el valor de la intensidad máxima diaria, variando en general entre 70 y 130 mm/día (86% de diferencia), alcanzándose los mayores valores en torno a la VII región. Lo anterior se visualiza en la FIGURA 2.1. y FIGURA 2.2

3.- PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS Y SU RELACION CON EL PERIODO DE RETORNO.

En la TABLA 3.1 se encuentra la precipitación máxima diaria para períodos de retorno de dos, cinco, diez, veinticinco, cincuenta y cien años en algunas ciudades del país. Para un período de retorno de dos años se conocen valores entre 28 mm/día en Punta Arenas y 76 mm/día en Concepción (171% de diferencia) y para cien años se conocen valores entre 101 mm/día en Punta Arenas y 216 mm/día en San Fernando (114% de diferencia, sin incluir Armerillo). En esta misma tabla también se ha expresado la variación de la precipitación con respecto al período de retorno

años (coeficiente de frecuencia). FIGURA 2.1

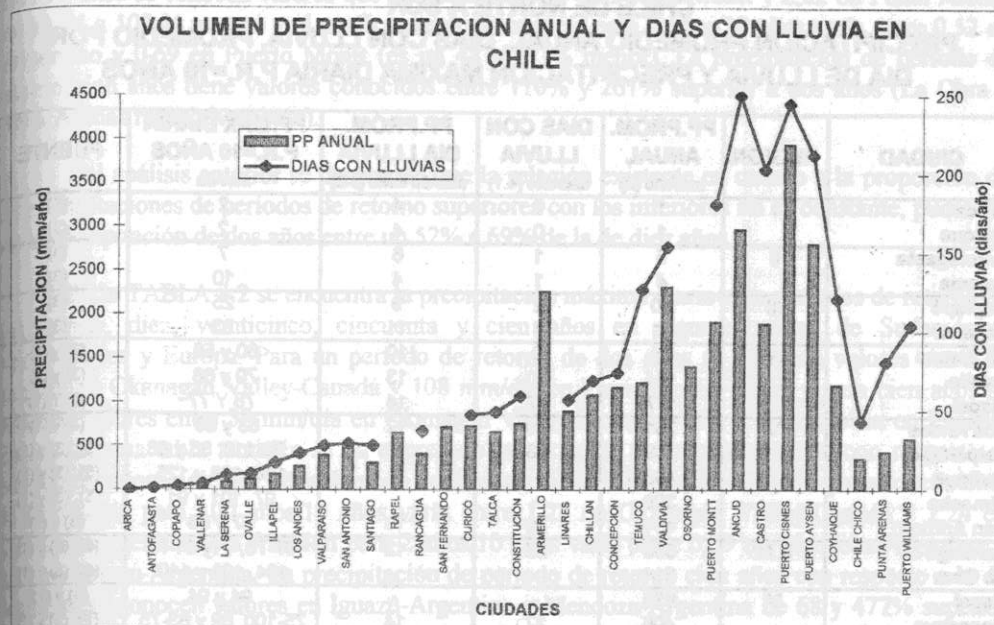


FIGURA 2.2

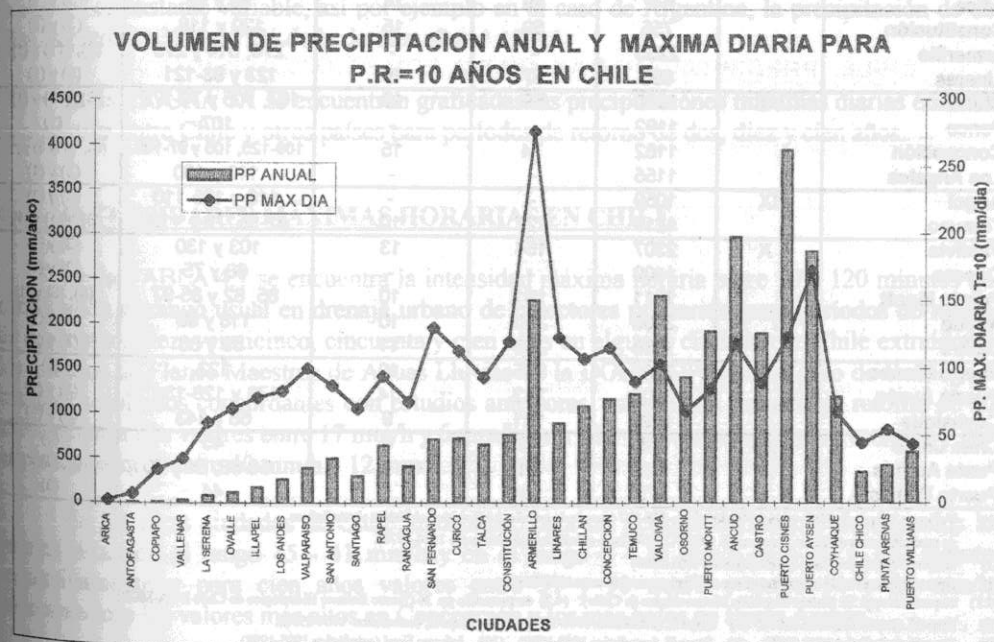


TABLA 2.1
CHILE DE NORTE A SUR
PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL, DIAS CON LLUVIA, PROMEDIO POR
DIA DE LLUVIA Y PRECIPITACION MAXIMA DIARIA P.R.=10 AÑOS

CIUDAD	REGION	PP.PROM. ANUAL mm/año (2)	DIAS CON LLUVIA dias/año (4.1)	PP.PROM. DIA LLUVIA mm/día lluvia (4.2)	PP.MAX DIARIA P.R.=10 AÑOS mm/día	FUENTE
Arica	I	1	0	4	2	(3)
Iquique		1	0	4	2	(3)
Antofagasta	II	5	1	6	7	(3)
Calama		4	1	4	10	(3)
Copiapó	III	10	2	9	25	(3)
Valiñar		31	4	11	33	(3)
La Serena	IV	84	9	10	60 y 58	(3) y (1)
Ovalle		114	10	13	70 y 68	(3) y (1)
Illapel		177	17	14	78 y 77	(3) y (1)
Los Andes	V	261	23	12	83 y 68	(3) y (1)
Valparaíso		389	28	13	86-110, 83 y 98	(5), (3) y (1)
Quilpue		406	-	-	124, 126 y 125	(5), (3) y (1)
Limache		399	-	-	97, 101 y 91	(5), (3) y (1)
San Antonio		494	29	13	87 y 86	(3) y (1)
Santiago	R.M.	300	28	12	67-78, 71 y 61-72	(6), (3) y (1)
La Obra		514	-	-	104, 106 y 110	(6), (3) y (1)
Rapel	VI	638	-	-	94 y 94	(3) y (11)
Rancagua		406	37	14	75-100, 69 y 63-75	(7), (3) y (1)
Rengo		521	37	14	84 y 81	(3) y (1)
San Fernando		705	-	-	121, 144 y 111	(3) y (11) y (1)
Curicó	VII	717	47	15	113 y 98	(3) y (1)
Talca		647	49	14	93 y 92	(3) y (1)
Constitución		755	59	15	120 y 118	(3) y (1)
Armerillo		2253	-	-	276, 314 y 275	(3), (11) y (1)
Linares		895	57	16	123 y 93-121	(3) y (1)
Chillán	VIII	1080	69	15	107, 105 y 79-177	(3), (11) y (1)
Penco		1192	-	-	107	(1)
Concepción		1162	74	15	109-125, 105 y 97-105	(8), (11) y (1)
Los Angeles		1155	-	-	110 y 100	(3) y (1)
Angol	IX	1059	-	-	110 y 125-110	(3) y (1)
Temuco		1217	127	10	82-95, 79 y 119	(3), (11) y (1)
Valdivia	X	2307	154	13	103 y 130	(3) y (1)
Osorno		1400	-	-	68 y 75	(3) y (1)
Puerto Montt		1911	181	10	85, 82 y 85-97	(9), (3) y (1)
Ancud		2965	250	10	118 y 86	(3) y (1)
Castro		1886	203	11	89 y 88	(3) y (1)
Puerto Cisnes	XI	3939	245	19	123	(3)
Puerto Aysén		2803	212	14	173 y 128-134	(3) y (1)
Coyhaique		1190	121	9	68 y 143	(3) y (1)
Chile Chico	XII	355	43	8	45	(3)
Punta Arenas		423	81	6	50-58, 54 y 70	(10), (3) y (1)
Puerto Williams		575	104	5	44	(3)

- (1) Volumen 3, capítulo 3700, tabla 3.702.404 C pp. 333-337 (sucesión de estudio Análisis probabilístico y estadísticas de precipitaciones en 24 hrs. Ramirez G. CORFO 1974, base estadística variable entre 1944-1970).
(2) cuadro de estaciones (base estadística entre 1951-1980)
(3) planos de isocurvas de intensidad (base estadística variable entre 1950-1987).
(4.1) en promedio pp. 36 (fuente Dirección Meteorológica de Chile). (4.2) en promedio pp. 36 (fuente Balance Hidrológico de Chile DGA-MOP)
(5) Etapa II, (estadística 1941-1997). (6) Etapa II, (estadística 1941-1998). (7) Etapa II, (estadística 1964-1998).
(8) Etapa II, (estadística 1941-1998). (9) Etapa II, (estadística 1950-1998). (10) Informe Final (estadística 1905-1998).
(11) pp. 436-451 (base estadística variable 1962-1982).

de diez años (coeficiente de frecuencia), así se tiene que el coeficiente de frecuencia para 100 años/10 años se conocen valores que varían entre 1,34 en Puerto Montt y 2,02 en Punta Arenas (es un 34 a 102 % mayor) y el coeficiente de frecuencia para 2 años/10 años varía entre 0,52 en Valparaíso y 0,69 en Puerto Montt (es un 48 a 31 % menor). La precipitación de período de retorno cien años tiene valores conocidos entre 110% y 261% superior a dos años (La Obra y Punta Arenas respectivamente).

Del análisis anterior se desprende que la relación existente en cuanto a la proporción de las precipitaciones de períodos de retorno superiores con los inferiores no es constante, pudiendo ser la precipitación de dos años entre un 52% a 69% de la de diez años.

En la TABLA 3.2 se encuentra la precipitación máxima diaria para períodos de retorno de dos, cinco, diez, veinticinco, cincuenta y cien años en algunos países de Sudamérica, Norteamérica y Europa. Para un período de retorno de dos años se conocen valores entre 22 mm/día en Okanagan Valley-Canadá y 108 mm/día en Florianópolis-Brasil y para cien años se conocen valores entre 38 mm/día en Okanagan Valley-Canadá y 300 a 400 mm/día en España. En esta misma tabla también se ha expresado la variación de la precipitación con respecto al período de retorno de diez años llamado coeficiente de frecuencia, así se tiene que el coeficiente de frecuencia para 100 años/10 años varía entre 1,23 en Okanagan Valley-Canadá y 2,24 en Mendoza-Argentina y la fracción para 2 años/10 años varía entre 0,39 en Mendoza-Argentina y 0,75 en Iguazú-Argentina. La precipitación de período de retorno cien años con respecto a la de dos años se conocen valores en Iguazú-Argentina y Mendoza-Argentina de 68 y 477% superior respectivamente.

En otros países la relación entre precipitaciones de período de retorno superiores e inferiores es bastante variable, así por ejemplo en el caso de Argentina, la precipitación de dos años es entre un 39% y 75% de la de diez años.

En la FIGURA 3.1 se encuentran graficadas las precipitaciones máximas diarias en forma comparativa entre Chile y otros países para períodos de retorno de dos, diez y cien años.

4.- INTENSIDADES MÁXIMAS HORARIAS EN CHILE.

En la TABLA 4.1 se encuentra la intensidad máxima horaria entre 10 y 120 minutos que corresponde al rango usual en drenaje urbano de colectores primarios, para períodos de retorno de dos, cinco, diez, veinticinco, cincuenta y cien años en algunas ciudades de Chile extraídos de los estudios de Planes Maestros de Aguas Lluvias de la DOH-MOP, para el caso de Santiago se entregan resultados concordantes con estudios anteriores, así para un período de retorno de dos años encontramos valores entre 17 mm/h y 6 mm/h para 10 y 120 minutos respectivamente y para cien años valores entre 40 mm/h y 12 mm/h.

En las otras ciudades de Chile analizadas, para un período de retorno de dos años los valores están en el rango 15 - 41 mm/h y en el rango 4 - 13 mm/h para 10 y 120 minutos respectivamente y para cien años valores entre 51 y 90 mm/h y entre 14 y 28 mm/h., encontrándose los valores más altos en Concepción y los más bajos en Punta Arenas.

FIGURA 3.1

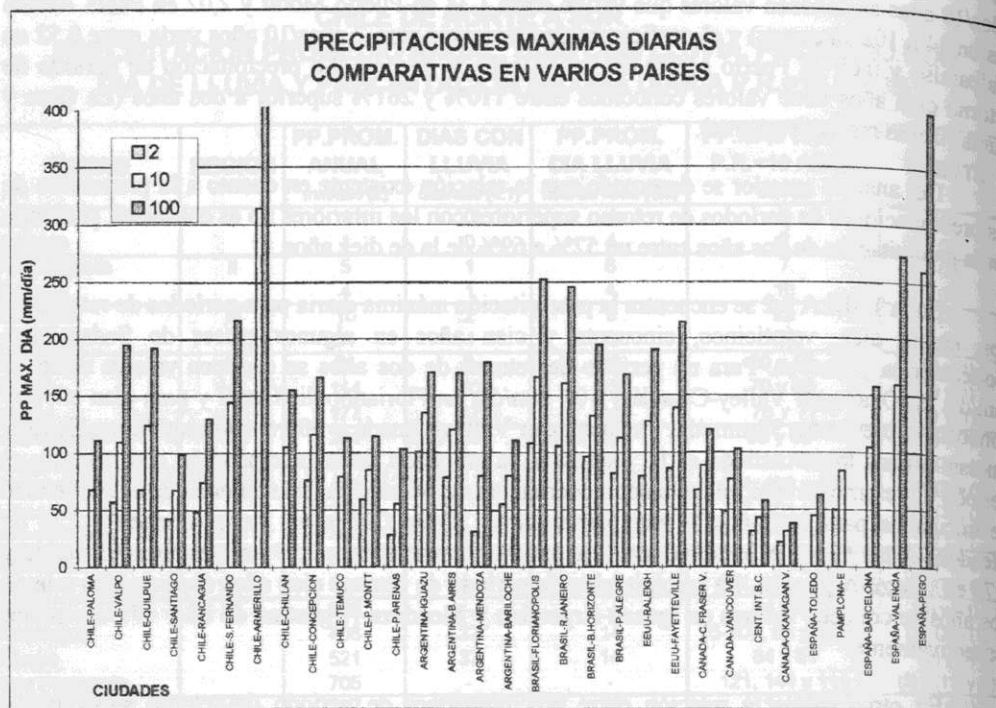


TABLE 3.1
CHILE. PRECIPITACIÓN MAX. DIARIA POR PERIODO DE RETORNO
Y SU VARIACION CON RESPECTO AL P.R. = 10 AÑOS

PERIODO RETORNO	La Paloma (11)		Valparaíso (5)		Quilpué (5)		V.Alemana (5)		Santiago (6)		La Obra (6)		Rancagua (7)	
	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10
2	-	-	57	0,52	68	0,55	67	0,63	42	0,63	70	0,67	48	0,65
5	-	-	87	0,80	102	0,82	91	0,86	57	0,85	91	0,88	65	0,88
10	68	1,00	109	1,00	124	1,00	106	1,00	67	1,00	104	1,00	74	1,00
20	-	-	132	1,21	145	1,17	119	1,12	-	-	-	-	-	-
25	85	1,25	-	-	-	-	-	-	80	1,19	122	1,17	86	1,16
50	98	1,44	166	1,52	172	1,39	134	1,26	89	1,33	134	1,29	98	1,32
100	111	1,63	194	1,78	192	1,55	144	1,36	98	1,46	147	1,41	130	1,76
PERIODO RETORNO	S. Fernando (11)		Armerillo (11)		Chillán (11)		Concepción (8)		Temuco (11)		Pto. Montt (9)		Pta. Arenas (10)	
	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10
2	-	-	-	-	-	-	76	0,66	-	-	59	0,69	28	0,56
5	-	-	-	-	-	-	100	0,86	-	-	75	0,88	40	0,80
10	144	1,00	314	1,00	105	1,00	116	1,00	79	1,00	85	1,00	50	1,00
25	172	1,19	381	1,21	124	1,18	136	1,17	94	1,19	97	1,14	68	1,36
50	194	1,35	432	1,38	140	1,33	151	1,30	103	1,30	105	1,24	82	1,64
100	216	1,50	482	1,54	155	1,48	166	1,43	113	1,43	114	1,34	101	2,02

(5) Etapa II, (estadística 1941-1997). (6) Etapa II, (estadística 1941-1998). (7) Etapa II, (estadística 1960-1998).

(8) Etapa II (estadística 1941-1998). (9) Etapa II, (estadística 1950-1998).

(10) Informe Final (estadística 1905-1998). (11) pp 437-454. (base estadística variable entre 1960-1998)

TABLE 3.2
OTROS PAISES. PRECIPITACION MAX. DIARIA POR P. DE RETORNO
Y SU VARIACION CON RESPECTO AL P.R. = 10 AÑOS

ARGENTINA												
P. Retorno años	Iguazu		Buenos Aires		Tucumán		Mendoza		San Luis		Bariilche	
	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10
2	101	0,75	78	0,65	85	0,72	31	0,39	58	0,63	55	0,69
5	121	0,90	102	0,85	104	0,88	58	0,73	78	0,85	70	0,88
10	135	1,00	120	1,00	118	1,00	80	1,00	92	1,00	80	1,00
25	150	1,11	140	1,17	130	1,10	115	1,44	108	1,17	92	1,15
50	160	1,19	157	1,31	140	1,19	148	1,85	120	1,30	102	1,28
100	170	1,26	170	1,42	150	1,27	179	2,24	132	1,43	111	1,39
BRASIL												
P.R. (años)	Florianópolis		Rio de Janeiro		Manaus		B. Horizonte		Curitiba		Porto Alegre	
	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10
2	108	0,65	106	0,66	106	0,75	96	0,73	84	0,71	82	0,73
5	139	0,84	137	0,85	125	0,88	115	0,87	103	0,87	98	0,87
10	166	1,00	161	1,00	142	1,00	132	1,00	118	1,00	113	1,00
25	197	1,19	192	1,19	166	1,17	154	1,17	139	1,18	132	1,17
50	223	1,34	218	1,35	187	1,32	173	1,31	156	1,32	151	1,34
100	252	1,52	245	1,52	211	1,49	194	1,47	178	1,51	168	1,49
E.E.U.U.												
P.R. (años)	Fayetteville N.C.		Raleigh N.C.									
	años	cr/a 10	años	cr/a 10								
2	86	0,62	79	0,62								
5	115	0,83	110	0,87								
10	139	1,00	127	1,00								
25	170	1,22	158	1,24								
50	194	1,40	182	1,43								
100	214	1,54	190	1,50								
CANADA												
P.R. (años)	C. Fraser V.		Vancouver I.		Peace River R.		Cent. Int. B.C.		South East B.C.		Okanagan V.	
	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10
2	67	0,75	48	0,62	36	0,72	31	0,72	26	0,63	22	0,71
5	77	0,87	67	0,87	43	0,86	36	0,84	31	0,76	26	0,84
10	89	1,00	77	1,00	50	1,00	43	1,00	41	1,00	31	1,00
25	100	1,12	89	1,16	60	1,20	48	1,12	46	1,12	34	1,10
50	113	1,27	98	1,27	67	1,34	53	1,23	50	1,22	36	1,16
100	120	1,35	103	1,34	72	1,44	58	1,35	55	1,34	38	1,23
ESPAÑA												
P. Retorno años	Toledo (17)		Pamplona (16)		Barcelona (17)		Valencia (16)		Genova (17)		Pego (17)	
	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10	años	cr/a 10
2	-	-	50	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-
5	39	0,87	71	0,85	88	0,84	124	0,78	143	0,80	200	0,76
10	45	1,00	84	1,00	105	1,00	160	1,00	179	1,00	260	1,00
25	52	1,16	101	1,20	126	1,20	205	1,28	224	1,25	300	1,15
50	58	1,29	114	1,36	143	1,36	240	1,50	258	1,44	360	1,38
100	63	1,40	-	-	158	1,50	273	1,71	291	1,62	400	1,53

(13) pp. 203-207. (14) pp. 199 y 215. (15) Curvas Atmospheric Environment Service Canada.

(16) pp. 1-26. (base estadística 1953-1993). (17) pp. 29-32.

TABLA 4.1
CIUDADES DE CHILE. CURVAS I.D.F.
Y SU VARIACIÓN CON RESPECTO AL P. R.=10 AÑOS

P. R. (años)	Durac. 10 min. c/r a 10		Durac. 30 min. c/r a 10		Durac. 60 min. c/r a 10		Durac. 120 min. c/r a 10	
STGO-SCHRODER (1973) Y EMOS (1983)								
	INTENSIDAD mm/h (4) y (18)							
2	16 (13-17)	0,64 (0,70)	12 (10-15)	0,71 (0,70)	10 (8-11)	0,80 (0,75)	7 (6-8)	0,78 (0,70)
5	21 (15-22)	0,84 (0,88)	14 (12-18)	0,82 (0,82)	11 (9-13)	0,88 (0,85)	8 (7-10)	0,89 (0,85)
10	25 (17-25)	1,00	17 (15-21)	1,00	12,5 (11-14)	1,00	9 (8-12)	1,00
20	30 (21-28)	1,20 (1,20)	19 (17-25)	1,12 (1,19)	14 (12-16)	1,12 (1,12)	10 (9-13)	1,11 (1,10)
50	35	1,40	22	1,29	16	1,28	11	1,22
100	40	1,60	25	1,47	18	1,44	12	1,33
SANTIAGO-DOH-MOP (1999)								
	INTENSIDAD mm/h (6)							
2	16	0,67	11	0,69	8	0,67	7	0,78
5	20,5	0,85	14	0,88	10	0,83	8	0,89
10	24	1,00	16	1,00	12	1,00	9	1,00
25	28	1,17	19	1,19	14	1,17	11	1,22
50	32	1,33	21,5	1,34	16	1,33	12	1,33
100	35	1,46	23,5	1,47	17	1,42	13	1,44
VALPARAISO DOH-MOP (1999)								
	INTENSIDAD mm/h (5)							
2	26	0,50	15	0,54	10	0,53	8	0,57
5	40	0,77	22	0,79	15	0,79	11	0,79
10	52	1,00	28	1,00	19	1,00	14	1,00
20	62	1,19	35	1,25	23	1,21	17	1,21
50	77	1,48	43	1,54	28	1,47	21	1,50
100	90	1,73	50	1,79	33	1,74	25	1,79
RANCAGUA DOH-MOP (1999)								
	INTENSIDAD mm/h (7)							
2	20	0,65	11	0,65	7	0,70	6	0,55
5	26	0,84	15	0,88	9	0,90	8	0,73
10	31	1,00	17	1,00	10	1,00	11	1,00
20	35	1,13	19	1,12	12	1,20	11,5	1,05
50	40	1,29	22	1,29	14	1,40	12,4	1,13
100	60	1,94	25	1,47	16	1,60	14	1,27
CONCEPCION DOH-MOP (1999)								
	INTENSIDAD mm/h (8)							
2	41	0,66	23	0,64	17	0,68	13	0,65
5	54	0,87	31	0,86	22	0,88	17	0,85
10	62	1,00	36	1,00	25	1,00	20	1,00
25	73	1,18	42	1,17	29	1,16	23	1,15
50	81	1,31	47	1,31	33	1,32	25	1,25
100	89	1,44	51	1,42	36	1,44	28	1,40
PUERTO MONTT DOH-MOP (1999)								
	INTENSIDAD mm/h (9)							
2	29	0,71	16	0,70	11	0,73	8	0,73
5	37	0,90	20	0,87	13	0,87	10	0,91
10	41	1,00	23	1,00	15	1,00	11	1,00
25	46	1,12	25	1,09	17	1,13	12	1,09
50	50	1,22	28	1,22	18	1,20	13	1,18
100	54	1,32	30	1,30	20	1,33	14	1,27
PUNTA ARENAS DOH-MOP (1999)								
	INTENSIDAD mm/h (10)							
2	15	0,59	9	0,59	6	0,59	4	0,59
5	21	0,81	12	0,82	8	0,82	6	0,81
10	25	1,00	15	1,00	10	1,00	7	1,00
25	34	1,36	20	1,31	14	1,39	10	1,40
50	41	1,64	24	1,57	17	1,68	12	1,69
100	50,5	2,02	29	1,94	21	2,07	15	2,08

(4) pp. 50-51, sacado de memoria de título Relaciones Intensidad Duración Frecuencia para las Lluvias de Santiago E. Schroder 1973.

(base estadística Stgo en Q. Normal 1917-1962).

(18) pp. 13-34, sacado de estudio Plan Maestro de Alcantarillado de Aguas Lluvias del Gran Santiago 1983. (base estadística 1911-1981).

(6) Etapa II, (estadística 1941-1998).

(5) Etapa II, (estadística 1941-1997).

(7) Etapa II, (estadística 1960-1998).

(8) Etapa II, (estadística 1941-1998).

(9) Etapa II, (estadística 1950-1998).

En esta misma tabla también se ha expresado la variación de la precipitación con respecto al período de retorno de diez años (coeficiente de frecuencia), así se tiene que el coeficiente de frecuencia para 100 años/10 años varía entre 2,08 en Punta Arenas y 1,27 en Puerto Montt (es un 108 a 27% mayor, razón inferior para duraciones mayores) y el coeficiente de frecuencia para 2 años/10 años varía entre 0,50 en Valparaíso y 0,80 en Santiago (es un 50 a 20% menor, razón muy similar para distintas duraciones). La precipitación de período de retorno cien años comparada con dos años es superior en un 275% en Punta Arenas y 75% en P. Montt (en general razón inferior para duraciones mayores).

5.- COMPARACION DE INTENSIDADES MÁXIMAS HORARIAS.

La información recopilada de intensidades horarias en otros países y en Chile se puede observar en la FIGURA 5.1, FIGURA 5.2 y FIGURA 5.3 para períodos de retorno de dos, diez y cien años, separados por duraciones entre 2 y 24 hrs y entre 10 y 120 minutos.

Para duraciones menores se puede resumir como sigue:

a) Período de retorno de dos años, para:

- ✓ 10 minutos de duración entre 140 mm/h en P. Ayacucho-Venezuela y 18 mm/h en Vancouver-Canadá y en Chile entre 41 mm/h en Concepción y 13 mm/h en Santiago.
- ✓ 120 minutos de duración entre 32 mm/h en Iguazú-Argentina y 5 mm/h en Okanagan-Canadá y en Chile entre 13 mm/h en Concepción y 4 mm/h en Punta Arenas.

b) Período de retorno de diez años, para:

- ✓ 10 minutos de duración entre 200 mm/h en P. Ayacucho-Venezuela y 26 mm/h en Vancouver-Canadá y en Chile entre 62 mm/h en Concepción y 17 mm/h en Santiago.
- ✓ 120 minutos de duración entre 41 mm/h en Manaus-Brasil y 8 mm/h en Vancouver-Canadá y en Chile entre 20 mm/h en Concepción y 7 mm/h en Punta Arenas.

c) Período de retorno de cien años, para:

- ✓ 10 minutos de duración entre 280 mm/h en P. Ayacucho-Venezuela y 36 mm/h en Vancouver-Canadá y en Chile entre 90 mm/h en Valparaíso y 35 mm/h en Santiago.
- ✓ 120 minutos de duración entre 70 mm/h en Mendoza-Argentina y 11 mm/h en Okanagan-Canadá y en Chile entre 28 mm/h en Concepción y 12 mm/h en Santiago.

El coeficiente de frecuencia o la razón entre precipitaciones de distinto período de retorno de otros países entrega una fracción que para 100 años/10 años varía entre 1,00 y 1,89 (razón superior para duraciones mayores) y la fracción para 2 años/10 años varía entre 0,56 y 0,83 (razón inferior para duraciones mayores). Las precipitaciones de período de retorno cien años tienen valores entre 57 y 183% superiores a dos años (razón superior para duraciones mayores).

FIGURA 5.1

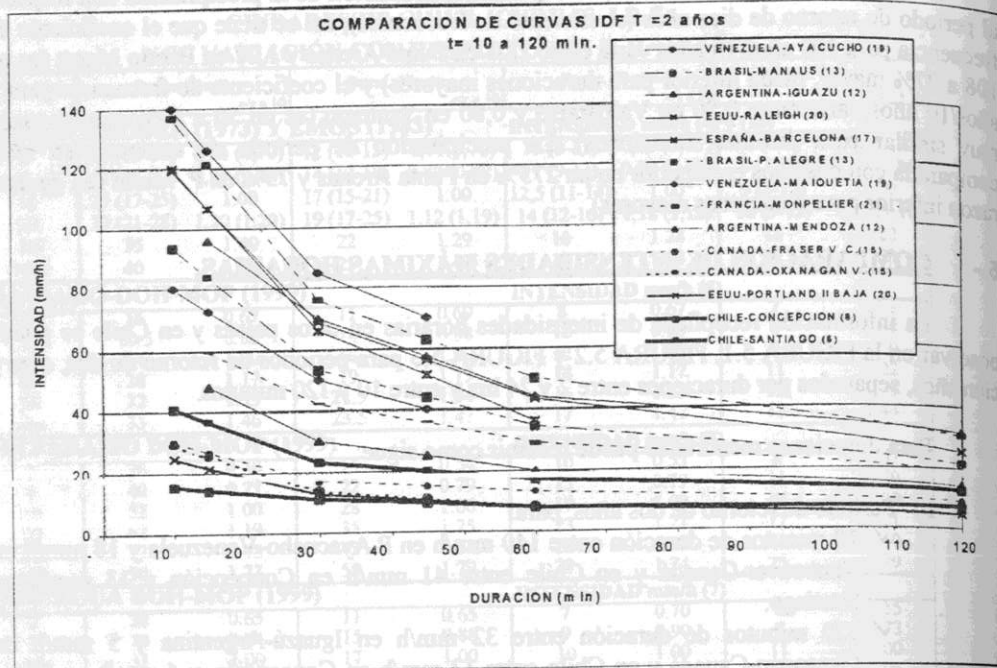


FIGURA 5.2

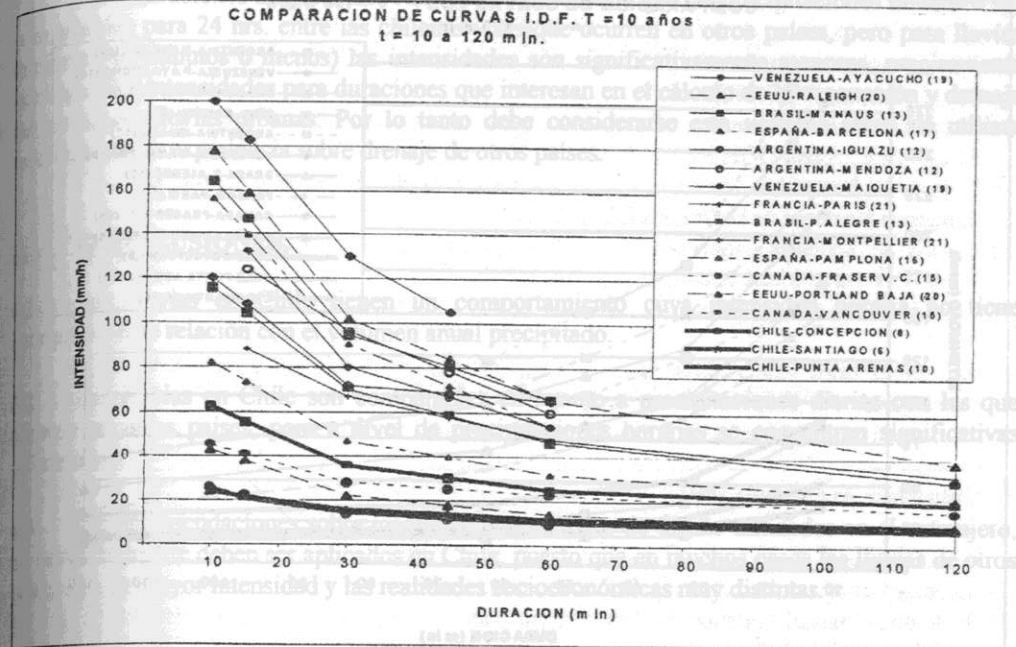


FIGURA 5.3

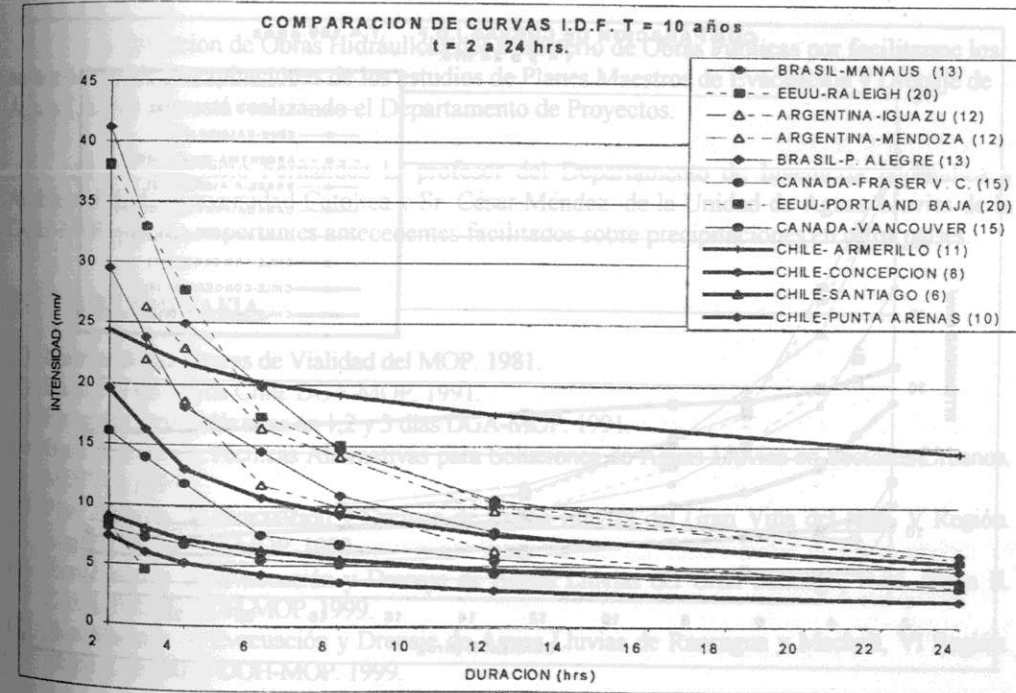
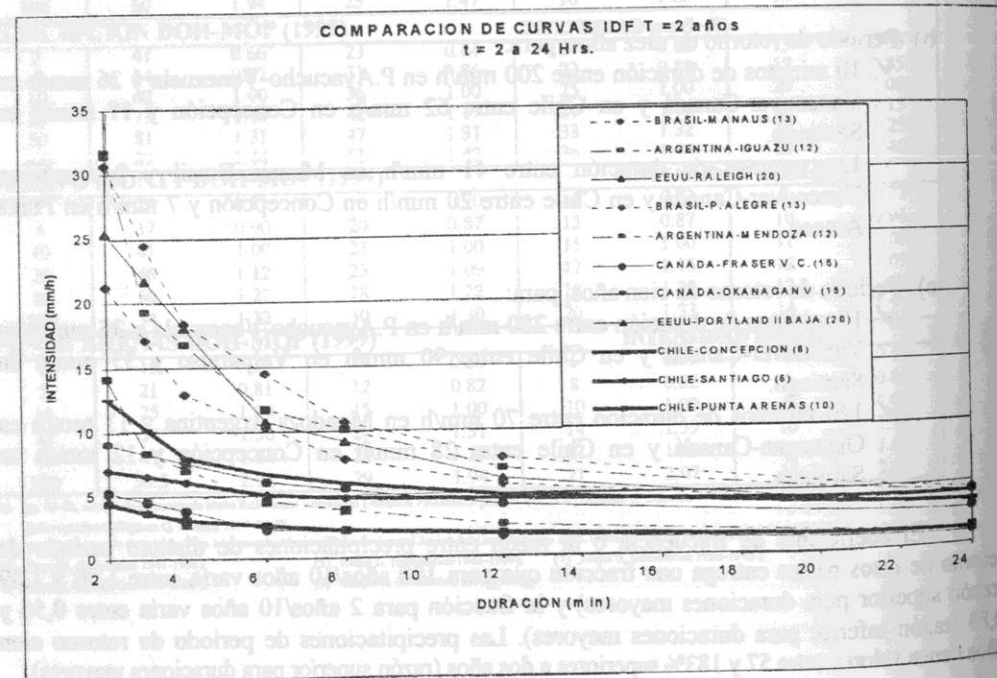
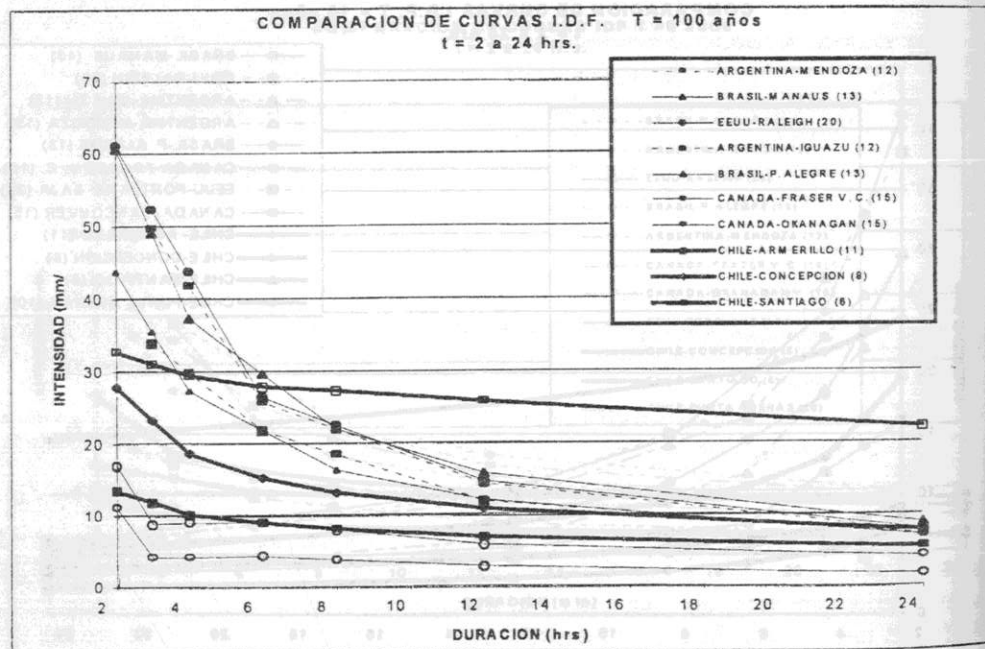
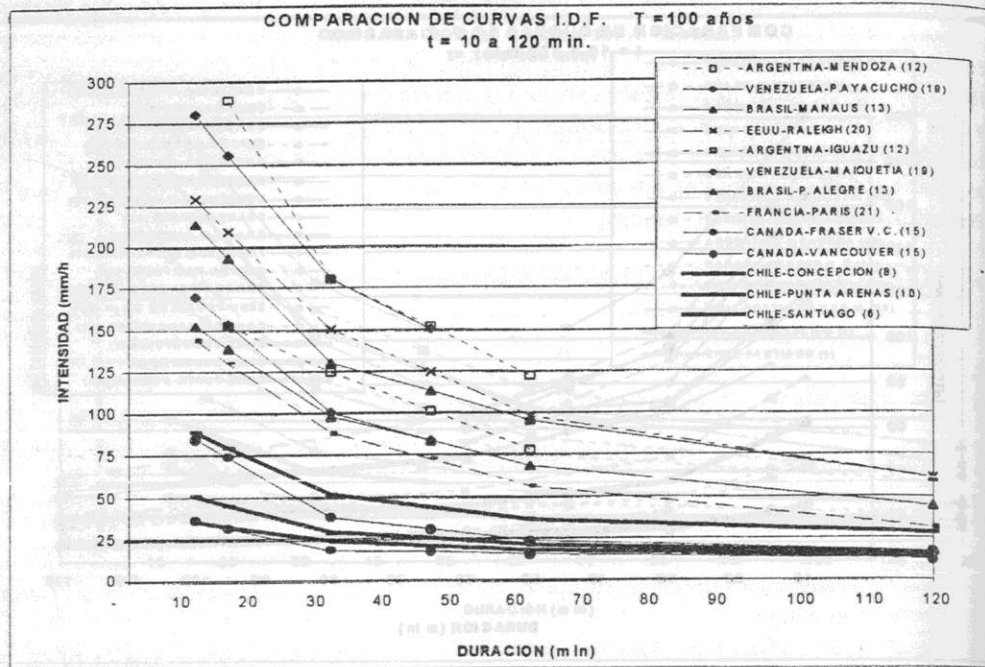


FIGURA 5.3



Para duraciones mayores entre 2 y 24 hrs. se deduce que las precipitaciones tienden a ser comparables para 24 hrs. entre las chilenas y las que ocurren en otros países, pero para lluvias menores (60 minutos o menos) las intensidades son significativamente menores, precisamente para aquellas intensidades para duraciones que interesan en el cálculo de la evacuación y drenaje de las aguas lluvias urbanas. Por lo tanto debe considerarse esta variable antes de utilizar resultados de la experiencia sobre drenaje de otros países.

6.- CONCLUSIONES.

6.1 Las lluvias en Chile tienen un comportamiento cuya intensidad horaria no tiene necesariamente relación con el volumen anual precipitado.

6.2 Las lluvias en Chile son comparables en cuanto a precipitaciones diarias con las que ocurren en otros países, pero a nivel de precipitaciones horarias se encuentran significativas diferencias.

6.3 Las recomendaciones sobre los períodos de retorno de diseño utilizados en el extranjero, no necesariamente deben ser aplicados en Chile, puesto que en muchos casos las lluvias de otros países son de mayor intensidad y las realidades socioeconómicas muy distintas.

7.- AGRADECIMIENTOS.

A la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas por facilitarme los antecedentes de precipitaciones de los estudios de Planes Maestros de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias que está realizando el Departamento de Proyectos.

Al Sr. Bonifacio Fernández L. profesor del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Universidad Católica y Sr. César Méndez de la Unidad de Aguas Lluvias de la DOH-MOP por los importantes antecedentes facilitados sobre precipitaciones en otros países.

8.- BIBLIOGRAFIA.

- Manual de Carreteras de Vialidad del MOP. 1981.
- Balance Hídrico de Chile DGA-MOP. 1991. del análisis de caudales y costos para distintos
- Precipitaciones Máximas en 1,2 y 3 días DGA-MOP. 1991. últimos años en Chile, además de los
- Guía de Diseño. Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. MINVU. 1996.
- Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias del Gran Viña del Mar, V Región. Etapa II. GSI-DOH-MOP. 1999.
- Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias del Gran Santiago, R.M. Etapa II. CADE-IDEPE-DOH-MOP. 1999.
- Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Rancagua y Machalí, VI Región. Etapa II. IFARLE-DOH-MOP. 1999.

FIGURA 5.3

- (8) Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Concepción, VIII Región. Etapa II. CONIC-BF-DOH-MOP. 1999.
- (9) Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Puerto Montt, X Región. Etapa II. A.y C. Cabrera-DOH-MOP. 1999.
- (10) Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Punta Arenas, XII Región. Informe Final. A.y C. Ayala-DOH-MOP. 1998.
- (11) Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia Generalizadas. E. Varas y S. Sánchez SOCHID VI Congreso Nacional de Hidráulica Chile. 1983.
- (12) Cursos de Técnicas Modernas de Predicción en Hidrología, Apuntes de Hidrología Urbana I.N.C.T.H. Jorge Maza. Mendoza, Argentina. 1993.
- (13) Hidrología Ciencia e Aplicacao U. Federal de Rio Grande do Sul. Carlos E.M. Tucci 2º edición 1997.
- (14) Municipal Storm Water Management Thomas N. Deb. y A.J. Reese Florida U.S.A. 1995.
- (15) Atmospheric Enviroment Service Canada.
- (16) Curso de Hidrología Urbana U. Politécnica de Cataluña, 3º Edición Barcelona Feb. 1998.
- (17) Inundaciones y Redes de Drenaje Urbano. Monografía N°10. J.Dolz, M.Gómez y J.P.Martin U. Politécnica de Cataluña. 1992.
- (18) La Evaluación Económica y los Períodos de Retorno en el Diseño de Soluciones. R. Caro y M.L.Córdova V Jornadas de Hidráulica F.J.D. Nov. 1998.
- (19) Drenaje Urbano Juan J.Bolinaga INOS Caracas Venezuela. 1979.
- (20) Hydraulics Manual Location. Section Oregon State. Highway Division. State Highway Engineer. F.Klaboe. U.S.A. 1974.
- (21) Encyclopédie de L'Hydrologie Urbaine et de L'Assainissement B. Chocat. París, Francia. 1997.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRAULICA

XIV CONGRESO CHILENO DE HIDRAULICA

PERIODOS DE RETORNO DE DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUAS LLUVIAS EN CHILE

CARLOS ANDRES STAPPUNG RUFF (1)

RESUMEN

La determinación del período de retorno de diseño de un sistema de aguas lluvias es un tema relativamente complejo, puesto que depende del grado de seguridad ante las inundaciones que requiera la ciudadanía, del comportamiento de las precipitaciones (intensidades y recurrencia anual), caudales involucrados, consecuencias de que los caudales excedan la capacidad de las obras y el costo de inversión asociado a las mismas.

En el presente trabajo se hace una revisión bibliográfica de los criterios internacionales utilizados para seleccionar el período de retorno de diseño en otros países como Brasil, Venezuela, Estados Unidos, Canada, España y Francia.

También se indican los valores utilizados en experiencias chilenas al respecto, como son el caso del alcantarillado de Santiago, Plan Maestro de Aguas Lluvias de Punta Arenas, Instructivo Serviu Metropolitano y Manual de Carreteras del MOP.

Se presentan los resultados obtenidos del análisis de caudales y costos para distintos períodos de retorno de algunos proyectos realizados en los últimos años en Chile, además de los resultados de las evaluaciones económicas de algunos proyectos y la determinación del período de retorno de diseño.

En las conclusiones se hacen algunas recomendaciones sobre como elegir el periodo de retorno de diseño para proyectos de aguas lluvias en Chile.

(1) Ingeniero Civil U. de Ch. D.O.H.-M.O.P.