6. REFERENCIAS.

- Anderson, O.D., "Time Series Analysis and Forecasting" Butterworths & Co. Ltd., London, (1976).

- Box, G.E.P. & Jenkins, G.M., "Time Series Analysis Forecasting and Control", Ed. Holden-Day, U.S.A., (1976).

- Comisión Nacional de Energía, "Aplicación de Modelos de Box-Jenkins a la predicción de corto plazo de ventas de hidrocarburos y derivados", Santiago, (1981).

- Dirección General de Aguas, "Caudales Medios Mensuales de los ríos de Chile", Ministerio de Obras Públicas, Chile, (1976).

- Larrain, Felipe, "El uso de series de tiempo con fines predictivos". Trabajo docente Nº 33, Instituto de Economía, U.C., Santiago, (1981).

- Tao, P.C. & Delleur, J.W. "Seasonal and Nonseasonal ARIMA Models in Hidrology", Proc. Am. Soc-Civil Engrs., Journal of Hydraulic Division 102, Nº HY10, pp. 1541-1559, (1976).

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

VI CONGRESO NACIONAL

RELACIONES INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA GENERALIZADAS

Eduardo Varas C. (*)

Santiago Sánchez G. (**)

RESUMEN

Este estudio presenta una metodología para estimar las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) de lluvias en zonas con poca información, mediante coeficientes de duración y de frecuencia generalizados. Se proponen coeficientes para la zona central y sur del país, basados en el análisis de los registros pluviográficos de 13 estaciones bien distribuidas en dichas zonas.

(*) Ing. Civil U.C., M.Sc., E., Ph.D. Stanford University. Profesor Titular Depto. Ingeniería Hidráulica, Escuela de Ingeniería, Universidad Católica de Chile.

(**) Ing. Civil U.C., Socio firma Luis Erazo N. y Asociados.

1. INTRODUCCION.

El cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia de precipitaciones, necesarias para el diseño de las obras de drenaje en carreteras, canales y obras hidráulicas en general, requiere del análisis de datos pluviográficos. Sin embargo, en Chile los registros pluviográficos son escasos y de corta extensión, por lo cual, es usual tener que estimar lluvias de corta duración con distintas probabilidades, contando sólo con observaciones de lluvias máximas diarias.

Este trabajo propone una metodología para estimar las intensidades de lluvias de corta duración asociadas a distintos períodos de retorno en función de las observaciones de lluvias máximas diarias. El método se basa en la utilización de coeficientes de duración y de frecuencia definidos en base al análisis de los registros pluviográficos de 13 estaciones ubicadas en la zona central y sur de Chile.

2. METODOLOGIA.

Uno de los primeros enfoques para este problema es el asociado a Grunsky, el cual utiliza la siguiente relación para estimar la intensidad de lluvia de una duración cualquiera t en función de la intensidad media en 24 horas :

$$I_t = I_{24} \sqrt{\frac{24}{t}}$$

siendo, I_t = intensidad media máxima en t horas.
I_{24} = intensidad media máxima en 24 horas.
t = duración de la lluvia en horas.

Más recientemente, Bell (1969) estudió las razones entre lluvias de distinta duración y de igual período de retorno y también la razón entre lluvias de diferentes períodos de retorno y de la misma duración. Para su análisis utilizó datos de un gran número de estaciones ubicadas en Estados Unidos de América, Hawai , Australia, Rusia, Alaska, Puerto Rico y Africa. Las conclusiones obtenidas indican que estas razones son muy constantes en todos los

puntos estudiados debido a que las grandes intensidades se producen en tormentas convectivas las cuales, tienen gran independencia geográfica y regional. Los coeficientes de duración (que relacionan lluvias de distinta duración) y los coeficientes de frecuencia (relaciones entre lluvias de distinto período de retorno) propuestos son válidos para tormentas entre 10 minutos y 2 horas de duración y períodos de retorno entre 2 y 100 años.

Espíldora (1971) verificó la aplicación de los coeficientes propuestos por Bell, calculando los coeficientes de duración y de frecuencia, resultantes de curvas IDF elaboradas para algunas regiones del país por instituciones o ingenieros chilenos. Se verificó su aplicación en Santiago, Valparaíso, Concepción, Chillán, Talcahuano y Valdivia y se concluyó que los coeficientes de duración y frecuencia presentaban una notable coincidencia con los valores obtenidos por Bell.

El U.S. Bureau of Reclamation (1965) propuso también coeficientes para obtener lluvias de diseño de distintas duraciones basados en el análisis de más de 200 tormentas acaecidas en Estados Unidos al oeste del meridiano 105 W. Dichos valores han sido publicados en mapas que muestran intensidades de diseño para distintas duraciones.

Reich y Hiemstra (1965) proponen coeficientes de duración, los cuales son función de la lluvia caída en 24 horas y en una hora. Estos coeficientes son válidos para tormentas con duraciones entre 1 y 24 horas.

Sin embargo, en Chile no existen estudios similares, ni antecedentes que justifiquen la adopción de los valores obtenidos en otras regiones. Por tal motivo, en este trabajo se analizaron los registros pluviográficos de estaciones distribuidas entre La Serena y Puerto Montt y se proponen coeficientes de duraciones y de frecuencia que permiten en base a la precipitación máxima en 24 horas con 10 años de período de retorno, el cálculo de curvas IDF para tormentas con duraciones entre 1 y 24 horas y períodos de retorno entre 10 y 100 años.

3. ANALISIS DE DATOS PLUVIOGRAFICOS.

A fin de contar con antecedentes para el cálculo de los coeficientes de duración y de frecuencia se seleccionaron inicialmente 20 estaciones pluviográficas distribuidas entre La Serena y Puerto Montt, de las que fueron utilizables 13, las cuales se listan en la Tabla 1 y en la Figura 1. Estas estaciones se eligieron por contar con registros de mayor extensión y por ser representativas de regímenes de lluvia de la costa, valle central y faldeos de la Cordillera de Los Andes. En cada una de ellas se seleccionaron las tormentas más intensas del registro completo y se leyeron los valores horarios del gráfico del pluviógrafo. Para cada tormenta se buscó la mayor intensidad observada para duración de 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 18 y 24 horas y se formó la serie anual de estos valores, calculando los mayores episodios de lluvia para cada duración. Los valores de 24 horas se cotejaron con los registros pluviométricos de lluvias máximas diarias para confirmar los valores del pluviógrafo y para verificar que los registros estuviesen completos y consistentes. Esta comparación justificó en algunos casos la eliminación de años con registro incompleto o bien años con fallas en el funcionamiento del pluviógrafo. Adicionalmente, del análisis crítico de cada registro surgió la conveniencia de eliminar las estaciones de Peñuelas, la Tranquilla, Embalse Digua y Puerto Montt las cuales presentaban inconsistencias en una parte importante de los años con información, quedando, por lo tanto, un registro consistente de muy corta duración.

A la serie anual de precipitaciones para cada duración se ajustó un modelo de valores extremos tipo I, el cual ha sido utilizado con éxito para representar muestras de este tipo (Oyebande, 1982). Las intensidades de lluvia calculadas para distintas duraciones y períodos de retorno se incluyen en la Tabla 2.

Las intensidades de lluvia para una hora de duración y 10 años de período de retorno varían entre 11,6 mm/hr en Embalse La Paloma y 27,6 mm/hr en Armerillo, siendo las intensidades para igual período de retorno y 24 horas de duración 3,1 mm/hr y 14,4 mm/hr para los mismos lugares respectivamente.

Las características de las lluvias registradas en Embalse La Paloma y Santiago son muy semejantes. Los valores calculados en estos puntos son con -

TABLA 1

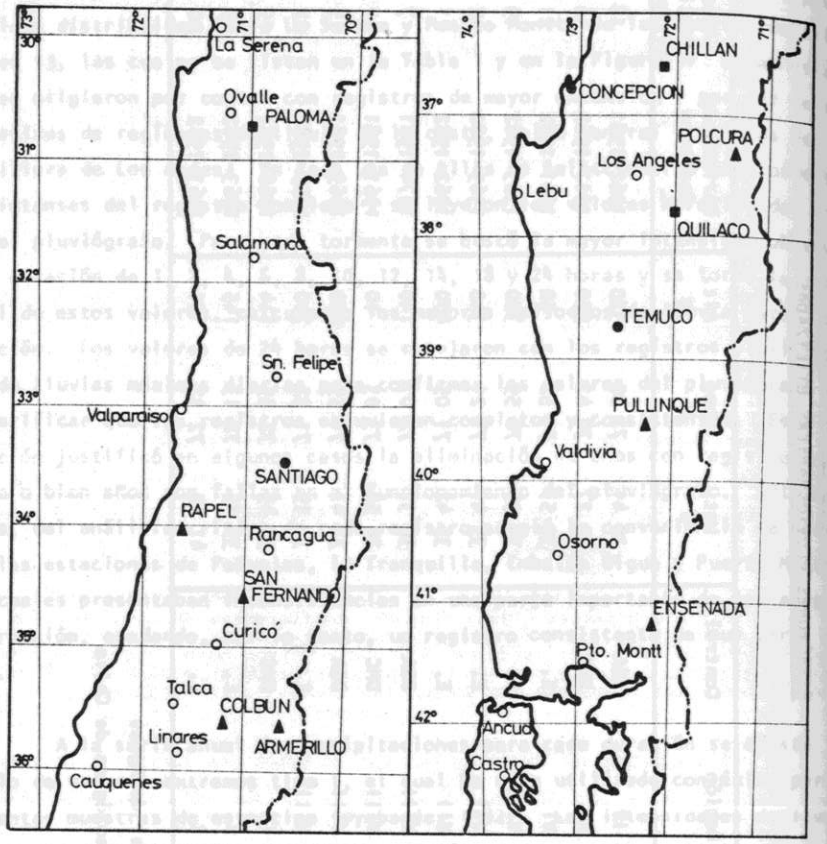
ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS UTILIZADAS

Nombre	Región	Control	Lat. S	Long W	Alt. m	Período de Registro	Años Efectivos Utilizados	Años Eliminados y/o sin datos
Embalse Paloma	IV	DGA	30 41	71 02	320	1962-1981	18	62, 68
Santiago-Qta.Normal	RM	DMC	33 27	70 42	520	1917-1962	46	-
Rapel	VI	E.	33 57	71 52	50	1961-1982	21	80
San Fernando	VI	E.	34 35	70 59	350	1963-1982	19	73
Colbún-Colorado	VII	E.	35 41	71 21	340	1969-1980	12	-
Armerillo	VII	E.	35 42	71 05	470	1962-1982	21	-
Chillán	VIII	DGA	36 37	72 07	140	1974-1981	7	75
Concepción	VIII	DMC	36 50	73 03	10	1961-1981	17	64,68/65,69
Quilaco	VIII	DGA	37 41	71 59	250	1965-1981	15	69, 78
Polcura	VIII	E.	37 19	71 32	740	1959-1982	22	78, 79
Temuco	IX	DMC	38 45	72 35	114	1966-1981	15	76
Pullinque	X	E.	39 35	72 13	145	1963-1982	19	66
Ensenada	X	E.	41 12	72 32	51	1963-1982	20	-

DGA = Dirección General de Aguas

DMC = Dirección Metereológica de Chile

E = ENDESA



FUENTES

- ■ DIRECCION GENERAL DE AGUAS
- ● DIRECCION METEOROLOGICA DE CHILE
- ▲ ENDESA

FIGURA 1 ESQUEMA DE UBICACION DE LAS ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS

TABLA 2

INTENSIDADES PARA DISTINTAS DURACIONES Y PERIODOS DE RETORNO

(mm/hr.)

Estación Pluviográfica	Período de retorno (años)	Duración (horas) 1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Embalse La Paloma (IV Región)	10	11,6	9,9	8,2	7,4	6,2	5,8	5,1	4,6	3,8	3,1
	25	14,0	12,1	10,2	9,2	7,8	7,2	7,2	5,8	4,8	3,9
	50	15,8	13,6	11,6	10,5	9,0	8,3	7,4	6,7	5,6	4,5
	100	17,6	15,2	13,0	11,9	10,1	9,4	8,4	7,5	6,4	5,1
Santiago en Quinta Normal (Area Metropolitana)	10	12,0	9,7	7,9	6,9	6,0	5,3	4,8	4,5	3,9	3,1
	25	13,6	10,8	9,0	8,1	7,0	6,2	5,7	5,1	4,5	3,8
	50	15,0	11,8	10,0	8,9	7,9	7,0	6,2	5,8	5,0	4,1
	100	16,0	12,6	10,8	9,7	8,6	7,8	6,9	6,5	5,5	4,7
Rapel (VI Región)	10	15,2	12,0	8,7	8,0	7,2	6,6	6,1	5,8	5,2	4,3
	25	17,8	14,0	10,1	9,5	8,5	7,8	7,3	6,9	6,4	5,3
	50	19,6	15,5	11,0	10,5	9,4	8,7	8,2	7,8	7,3	6,0
	100	21,5	16,9	12,0	11,5	10,3	9,6	9,1	8,6	8,1	6,7
San Fernando (VI Región)	10	20,1	16,9	13,7	11,3	10,1	9,3	8,7	8,3	7,3	6,6
	25	24,1	20,0	16,1	13,2	11,8	10,9	10,3	9,8	8,7	7,9
	50	27,1	22,3	17,9	14,7	13,1	12,1	11,5	11,0	9,7	8,9
	100	30,0	24,6	19,7	16,1	14,3	13,3	12,7	12,1	10,7	9,9

TABLA 2 (CONTINUACION)

Estación Pluviográfica	Período de retorno (años)	Duración (horas)									
		1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Colbún-Colorado (VII Región)	10	26,3	20,7	15,7	14,5	13,9	12,6	12,1	11,1	9,8	8,9
	25	31,7	24,6	18,7	17,4	16,9	15,2	14,6	13,3	11,9	10,9
	50	35,8	27,6	20,9	19,6	19,1	17,1	16,5	14,9	13,4	12,5
	100	39,8	30,5	23,1	21,7	21,3	19,0	18,3	16,6	14,8	13,9
Armerillo (VII Región)	10	27,6	24,4	21,6	20,1	19,1	18,3	17,5	16,5	15,5	14,4
	25	31,4	27,7	24,8	23,2	22,4	21,7	20,8	19,7	18,6	17,5
	50	34,2	30,1	27,2	25,6	24,9	24,2	23,3	22,0	20,9	19,8
	100	37,0	32,6	29,5	27,9	27,3	26,7	25,8	24,3	23,2	22,1
Chillán (VIII Región)	10	20,1	14,1	10,5	8,5	7,5	7,0	6,5	6,0	5,7	4,8
	25	23,5	16,0	12,0	9,6	8,5	8,0	7,5	6,9	6,7	5,7
	50	26,1	17,5	13,0	10,4	9,2	8,8	8,3	7,6	7,5	6,4
	100	28,6	18,9	14,1	11,2	9,9	9,5	9,0	8,3	8,2	7,1
Concepción (VIII Región)	10	22,7	17,7	11,1	9,2	8,2	7,4	6,8	6,4	5,7	4,8
	25	27,0	20,9	12,6	10,6	9,5	8,6	8,0	7,6	6,9	5,8
	50	30,2	23,4	13,7	11,5	10,4	9,5	8,9	8,4	7,8	6,5
	100	33,3	25,8	14,8	12,5	11,3	10,4	9,8	9,3	8,7	7,3
Quilaco (VIII Región)	10	20,9	16,8	12,4	10,0	8,8	7,9	7,1	6,7	6,2	5,3
	25	24,4	19,7	14,4	11,5	10,2	9,2	8,2	7,9	7,3	6,3
	50	27,1	21,9	15,9	12,7	11,2	10,1	9,0	8,7	8,1	7,0
	100	29,7	24,0	17,4	13,8	12,3	11,0	9,9	9,5	8,9	7,7

TABLA 2 (CONTINUACION)

Estación Pluviográfica	Período de retorno (años)	Duración (horas)									
		1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Polcura (VIII Región)	10	18,6	14,6	12,3	10,3	9,9	9,2	8,6	8,0	7,3	6,3
	25	21,4	16,6	14,0	12,3	11,3	10,5	9,9	9,2	8,4	7,3
	50	23,5	18,1	15,2	13,4	12,3	11,5	10,8	10,1	9,3	8,0
	100	25,5	19,6	16,4	14,5	13,4	12,5	11,8	11,0	10,1	8,7
Temuco (IX Región)	10	16,7	13,7	10,3	8,4	7,1	6,2	5,7	5,1	4,4	3,6
	25	19,6	16,2	12,2	9,8	8,3	7,2	6,7	6,0	5,1	4,3
	50	21,7	18,0	13,6	10,8	9,2	8,0	7,4	6,6	5,7	4,7
	100	23,8	19,8	14,9	11,9	10,1	8,7	8,1	7,3	6,3	5,2
Pullinque (X Región)	10	16,5	13,5	10,9	9,4	8,2	7,6	7,2	6,7	6,1	5,5
	25	18,5	15,4	12,5	10,8	9,5	8,8	8,3	7,9	7,2	6,5
	50	20,0	16,8	13,6	11,9	10,4	9,7	9,2	8,7	8,0	7,2
	100	21,4	18,2	14,8	13,0	11,3	10,5	10,0	9,5	8,7	7,9
Ensenada (X Región)	10	21,5	15,1	11,3	10,1	8,8	7,9	7,3	6,8	6,2	5,4
	25	25,3	17,5	13,0	11,8	10,2	9,2	8,6	8,0	7,4	6,5
	50	28,2	19,2	14,2	13,0	11,3	10,1	9,5	8,8	8,2	7,3
	100	31,0	20,9	15,5	14,2	12,4	11,1	10,4	9,7	9,0	8,1

cordantes para todas las duraciones y períodos de retorno.

Las estaciones de Santiago, Rapel y San Fernando presentan intensidades de lluvia para tormentas de una hora de duración y 10 años de período de retorno que varían entre 12 mm/hr y 20,1 mm/hr. San Fernando tiene lluvias bastante más intensas que los otros dos lugares, siendo incluso superiores a los valores observados en Chillán.

Más al Sur, destaca la alta pluviosidad de la zona de Armerillo y en menor grado Colbún-Colorado. Los valores de intensidad de lluvia de una hora de duración son de 27,6 mm/hr y de 23,6 mm/hr, respectivamente, para 10 años de período de retorno. Las tormentas de mayor duración son mucho más intensas en Armerillo, observándose que las intensidades medias para tormentas de 24 horas de duración y 10 años de período de retorno son de 14,4 mm/hr en Armerillo y sólo 8,9 mm/hr en Colbún-Colorado.

Chillán, Concepción, Quilaco y Polcura presentan lluvias de características similares. La magnitud de las tormentas de 24 horas aumenta con la latitud, pero no muy marcadamente. En tormentas de 1 hora y de 2 horas de duración, Concepción presenta valores mayores, superiores en un 10% aproximadamente, a los registrados en Chillán y Quilaco. Polcura, sin embargo, a pesar de su cercanía a la cordillera y a su mayor latitud, presenta valores algo menores para tormentas cortas.

Temuco, Pullinque y Ensenada tienen valores similares para lluvias de duraciones iguales o inferiores a 12 horas. Para tormentas más largas, Temuco registra valores aparentemente pequeños para la latitud en que se encuentra, ya que son significativamente menores que los de Pullinque, Polcura, Ensenada, e incluso Chillán. Las intensidades medias para tormentas de 24 horas son del orden de los valores observados para Santiago, hecho que llama la atención. Por consiguiente, aun cuando en un examen cuidadoso de los registros de Temuco no permitió detectar inconsistencias ni errores de medición, se sugiere utilizar los valores de tormentas de larga duración con prudencia. Ensenada registra intensidades para tormentas de una hora 30% superiores a las de Pullinque y Temuco.

Como conclusión general, se puede decir que se observa una buena concordancia entre las tormentas registradas en un rango de latitud y situación geográfica bastante amplio. Dado que se registran tormentas similares en regiones extensas, los registros de una estación pueden ser utilizados para representar zonas cercanas con buena aproximación. Lo anterior se explica también por el hecho que la mayoría de las tormentas en Chile son de origen frontal y orográfico y por consiguiente, afectan a zonas extensas. Por tal motivo, un análisis generalizado puede ser de utilidad al proyectista para estimar curvas IDF para otras areas, a partir de los datos pluviométricos.

4. COEFICIENTES DE DURACION Y DE FRECUENCIA.

Como una forma de extender los resultados obtenidos, se pensó en utilizar un procedimiento similar al empleado por Bell en lluvias de corta duración, definiendo coeficientes de duración y de frecuencia.

Se definió coeficiente de duración (CD) como la razón entre la lluvia caída en una duración cualquiera y la lluvia caída en 24 horas ambas para un período de retorno de 10 años. Analogamente, se definió coeficiente de frecuencia (CF) como la razón entre la lluvia asociada a un cierto período de retorno y la lluvia de igual duración pero de 10 años de período de retorno.

Los coeficientes de duración calculados para las estaciones incluidas en el estudio se indican en la Tabla 3. Ellos presentan una varianza pequeña. Los coeficientes de duración para una hora excluyendo a Armerillo, varían entre 0,12 y 0,20 con un promedio de 0,155 y una desviación estandar de 0,026. El valor promedio es muy concordante con el valor 0,16 propuesto por el U.S. Bureau of Reclamation. Los coeficientes de variación son del orden de 15 % para lluvias de menos de 6 horas y del orden de 8% para lluvias más largas. Como es razonable esperar, la mayor variación se presenta en las lluvias de 1 y de 2 horas de duración. Sólo los valores calculados para Armerillo difieren de la tendencia general, debido a la gran magnitud que tienen las intensidades de tormentas de 24 horas de duración en este sitio.

En la Figura 2 se presenta gráficamente el rango de CD para distintas duraciones y su comparación con los valores sugeridos por el U.S. Bureau of

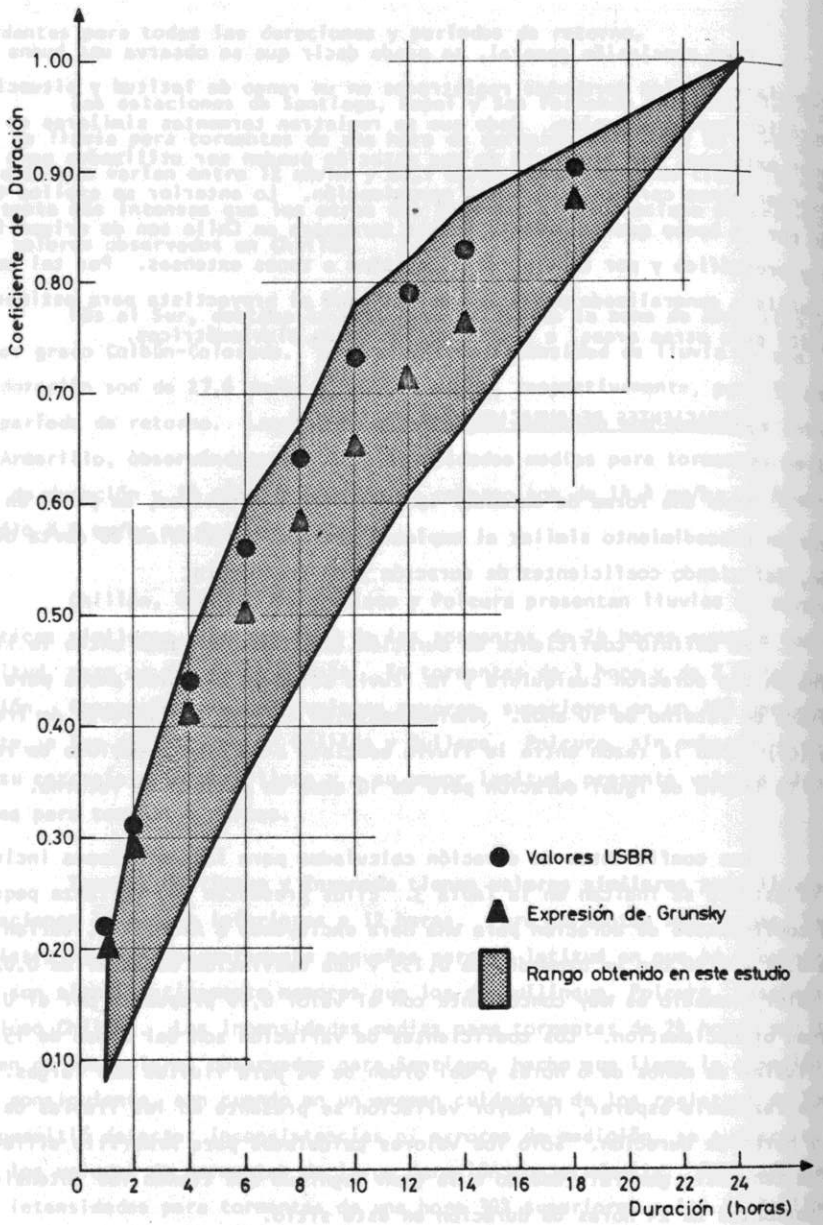


FIGURA 2 VARIACION DEL COEFICIENTE DE DURACION

TABLA 3

COEFICIENTES DE DURACION

Estación Pluviográfica	Región	Duración (horas) 1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Embalse La Paloma	IV	0,156	0,266	0,441	0,597	0,667	0,780	0,823	0,866	0,919	1,000
Santiago Qta.Normal	RM	0,161	0,261	0,425	0,556	0,645	0,712	0,774	0,847	0,944	1,000
Rapel	VI	0,147	0,233	0,337	0,465	0,558	0,640	0,709	0,787	0,907	1,000
San Fernando	VI	0,127	0,213	0,346	0,428	0,510	0,587	0,659	0,734	0,830	1,000
Colbún-Colorado	VII	0,123	0,194	0,294	0,407	0,521	0,590	0,680	0,728	0,826	1,000
Armerillo	VII	0,080	0,141	0,250	0,349	0,442	0,530	0,608	0,668	0,807	1,000
Chillán	VIII	0,174	0,245	0,365	0,443	0,521	0,608	0,677	0,729	0,891	1,000
Concepción	VIII	0,197	0,307	0,385	0,479	0,569	0,642	0,708	0,778	0,891	1,000
Quilaco	VIII	0,164	0,264	0,390	0,472	0,553	0,621	0,670	0,737	0,877	1,000
Polcura	VIII	0,123	0,193	0,325	0,433	0,524	0,608	0,683	9,741	0,869	1,000
Temuco	IX	0,193	0,317	0,477	0,583	0,657	0,718	0,792	0,826	0,917	1,000
Pullinque	X	0,125	0,205	0,330	0,427	0,497	0,576	0,655	0,711	0,832	1,000
Ensenada	X	0,166	0,233	0,349	0,468	0,543	0,610	0,676	0,735	0,861	1,000
* Promedio		0,155	0,244	0,372	0,481	0,564	0,641	0,708	0,768	0,880	1,000
* Desviación Estandar		0,026	0,041	0,054	0,065	0,060	0,063	0,056	0,052	0,038	0,000
* Coeficiente de Variación		0,170	0,167	0,144	0,135	0,106	0,098	0,079	0,068	0,044	0,000

* Excluyendo Armerillo

Reclamation y con los calculados con la fórmula de Grunsky. Se puede apreciar que los valores del USBR tienden a acercarse a la envolvente superior de los valores obtenidos de los datos pluviográficos, en especial, en el caso de las tormentas de una hora, donde incluso son superiores. Algo similar ocurre con los valores de la expresión de Grunsky para tormentas cortas, sin embargo, en tormentas más largas, estos tienden a ser menores que los promedios observados.

En relación a los coeficientes de frecuencia, se observó que ellos eran bastante independientes de la duración y se propone utilizar un sólo coeficiente de frecuencia cualquiera sea la duración de la lluvia para el rango estudiado (1 a 24 horas). Los valores calculados para el coeficiente de frecuencia en las distintas estaciones y su rango para todas las duraciones se presentan en la Tabla 4.

Los coeficientes de frecuencia son bastante constantes, en parte debido a que se ajustó el mismo modelo de probabilidad a las muestras. Los promedios globales muestran valores de 1,18 ; 1,31 y 1,43 para períodos de retorno de 25 años, 50 años y 100 años respectivamente. Los coeficientes de variación son del orden del 4% para estos valores, lo cual confirma su pequeña variabilidad. Estos coeficientes, son muy similares también a los valores sugeridos por Bell para tormentas con duraciones comprendidas entre 5 minutos y 2 horas.

Los coeficientes de duración y de frecuencia anteriores están definidos en base a las lluvias máximas absolutas en 24 horas, o períodos de máxima precipitación con una duración total de 24 horas, independiente de la hora de inicio o término. Este dato se tiene sólo en aquellas estaciones equipadas con pluviógrafo. En el resto de las estaciones sólo se conoce el valor de lluvia máxima diaria, controlado entre las 8 AM del día actual y las 8 AM del día anterior. Por ello, para utilizar los coeficientes de duración y de frecuencia mencionados anteriormente se necesita obtener la relación entre las lluvias máximas absolutas en 24 horas y las lluvias máximas diarias.

Por este motivo, se estudió la razón entre la lluvia máxima absoluta en 24 horas y la lluvia máxima diaria en las estaciones seleccionadas. Sin embargo, no se pudo lograr juicios concluyentes sobre este aspecto debido a que las diversas fuentes de información, registran estos valores con distintos criterios. En algunos casos se reporta la lluvia máxima absoluta en 24 horas co-

TABLA 4

COEFICIENTES DE FRECUENCIA

Estación	Período de Retorno (años) 25	50	100
Embalse La Paloma	1,25	1,43	1,61
Santiago Quinta Normal	1,16	1,29	1,41
Rapel	1,19	1,33	1,46
San Fernando	1,18	1,32	1,45
Colbún - Colorado	1,21	1,36	1,51
Armerillo	1,17	1,30	1,43
Chillán	1,15	1,27	1,38
Concepción	1,18	1,30	1,43
Quilaco	1,17	1,29	1,41
Polcura	1,14	1,25	1,36
Temuco	1,17	1,30	1,43
Pullinque	1,16	1,27	1,38
Ensenada	1,17	1,30	1,42
Promedio	1,18	1,31	1,44
Desviación Estandar	0,03	0,05	0,07

mo valor máximo diario y en otras ocasiones se registra el valor observado en el pluviómetro. Por ello las razones cambian y no siempre se contó con información suficiente para realizar las correcciones requeridas. Sin embargo, con los resultados preliminares obtenidos se puede estimar que en promedio la lluvia máxima absoluta en 24 horas es un 10% superior al valor máximo diario y se recomienda usar esta proporción mientras se reunen antecedentes adicionales.

La información presentada puede utilizarse para estimar las curvas IDF en base a los datos pluviométricos. El procedimiento consiste en realizar un análisis de frecuencia de la serie anual de lluvias máximas diarias (8 AM a 8 AM) con el objeto de calcular el valor con 10 años de período de retorno. Este valor se amplifica por el coeficiente 1,1 para obtener la precipitación máxima absoluta en 24 horas con 10 años de período de retorno. En seguida, con los coeficientes de duración y con los coeficientes de frecuencia de una estación con un régimen similar de lluvias se pueden estimar las curvas IDF para la zona de interés.

El procedimiento se resume en la siguiente expresión :

$$P_t^T = K \times P_{24}^{10} \times CD_t \times CF_T$$

siendo : P_t^T = lluvia con período de retorno T años y duración t horas.

CD_t = coeficiente de duración para t horas.

CF_T = coeficiente de frecuencia para T años de período de retorno

K = coeficiente para obtener la lluvia máxima absoluta en 24 horas en función del valor máximo diario (se sugiere por el momento usar 1.1)

P_{24}^{10} = lluvia máxima diaria con 10 años de período de retorno.

5. CONCLUSIONES.

En este trabajo se han obtenido curvas IDF para 13 estaciones pluviográficas distribuidas entre La Serena y Puerto Montt. Dichas curvas se han calculado utilizando los registros completos observados en cada estación, los

cuales en total alcanzan a 252 años.

En base a los resultados anteriores se propone el uso de coeficientes de duración y de frecuencia para estimar curvas IDF en zonas que cuentan sólo con información pluviométrica. Se estima que este procedimiento es utilizable en la zona central y sur de Chile, y que entrega estimaciones de lluvia con precisión suficiente para diseños de obras hidráulicas en zonas con información escasa.

6. AGRADECIMIENTOS.

El trabajo expuesto fue realizado en el contexto de un estudio elaborado por la firma Luis Erazo N. y Asociados solicitado por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, el cual consistió en la preparación del Volumen 2 del Manual de Carreteras, "Procedimientos de Estudios para Obras Viales". En la etapa de recopilación y análisis de información participó personal profesional de dicha firma. Se agradece asimismo la colaboración prestada por ENDESA, Dirección General de Aguas y Dirección Meteorológica de Chile , instituciones que facilitaron la información pluviográfica de sus estaciones.

7. REFERENCIAS.

Bell, F.C. (1965) "Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships", Jour. Hidraulics Div. Am. Soc. of Civil Engineers, vol. 95, HY1 , pp. 311-327.

Espíldora, B. (1969) "Estimación de Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia Mediante Coeficientes Generalizados", I Coloquio Nacional, Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, 1979.

Oyebande, L. (1982) "Deriving Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationships and Estimates for Regions With Inadequate Data", Hydrological Science Journal, vol. 27, Nº 2, September, pp. 353-367.

Reich, B.M. y L.A.V. Hiemstra, (1965) "Tacitly Maximized Small Watershed Flood Estimates", Jour. of the Hydraulics Div., Am. Society of Civil Engineers, vol. 91, HY3, Mayo, pp. 217-245.

U.S. Bureau of Reclamation, (1965) "Design of Small Dams", U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

VI CONGRESO NACIONAL

PRECIPITACIONES MAXIMAS DIARIAS EN CHILE.

Ludwig Stowhas B. (1)

RESUMEN.

Se recopilan y analizan estadística y probabilísticamente las precipitaciones máximas diarias en Chile a fin de allegar antecedentes respecto a máximos factores de frecuencia y aplicabilidad de métodos "estadísticos" para la estimación de la precipitación máxima probable (PMP). El análisis de frecuencia de los coeficientes máximos de frecuencia de 190 estaciones con un total de 6504 años de registro revela que un factor de frecuencia máximo probable igual a 11 aparece como un valor suficiente conservador para la estimación probabilística de la PMP.

A partir del trazado de envolventes superiores a los eventos más extremos registrados, en función de los parámetros estadísticos de las series de precipitaciones máximas diarias, se propone un procedimientos alternativo de doble envolvente para la estimación "estadística" de la PMP, que entrega en la gran mayoría de los casos, valores menos conservadores que los procedimientos actualmente en uso. Esto, sin comprometer mayormente la seguridad de las obras, ya que se respetan los eventos más extremos registrados en Chile y aún a nivel mundial, de los que se dispuso de información.

(1) Ingeniero Civil, Profesor Depto. Obras Civiles, Universidad Técnica Federico Santa María.