



SOCIEDAD ESTÁNDARES DE INGENIERÍA PARA AGUAS Y SUELOS LTDA.

MÓDULO 2

CURVAS

INTENSIDAD

DURACIÓN

FRECUENCIA

Autores:

Dr. Ing. Roberto Pizarro T.

Ing. Juan Pablo Flores V.

Ing. Claudia Sangüesa P.

Ing. Enzo Martínez A.



1. INTRODUCCIÓN

El estudiar las precipitaciones y conocer su distribución temporal es motivo de interés para diversos fines, por ejemplo meteorológicos y edafológicos, como también hidrológicos, al tiempo de lo cual se pueden proporcionar índices para realizar estudios de crecidas o permitir la alimentación de modelos precipitación-escorrentía que permitan mejorar la información disponible, para un adecuado diseño y dimensionamiento de las obras civiles. Para esto, es necesario conocer las intensidades de precipitación, para distintos períodos de retorno.

Ahora bien, la disponibilidad de datos de caudal es imprescindible para el diseño y planificación de actividades físicas. No obstante, muchas veces no se dispone de registros de caudales, o éstos no tienen la suficiente duración como para hacer los análisis de frecuencia requeridos; debe entonces usarse la información pluviométrica para estimar crecidas de cierta frecuencia.

Es, por lo tanto, muchas veces necesario presentar la información pluviométrica correspondiente a una tormenta o lluvia en formas de intensidades, a partir de los registros de las estaciones pluviográficas en estudio.

El presente documento pretende analizar el diseño y construcción de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF). Para ello, se necesitará conocer el comportamiento de las precipitaciones a través de una curva que entrega la intensidad media en función de la duración y la frecuencia, y cuya única finalidad será la de aportar patrones de conductas de las lluvias, tal que permitan diseños confiables y efectivos para la ingeniería hidráulica, además de poner a disposición de los ingenieros y personal técnico capacitado una herramienta de análisis y planificación en el largo plazo.

2. Curvas IDF

2.1 Definición de las curvas IDF.

Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en

intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez, 1978).

Junto con la definición de las curvas, surgen otros elementos a considerar, como son la intensidad de precipitación, la frecuencia o la probabilidad de excedencia de un determinado evento. Por ello, es de suma importancia tener claro el concepto de cada una de estas variables, de modo de tener una visión más clara de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.

En este sentido, se debe destacar que la intensidad, según Chow *et al* (1994), se define como la tasa temporal de precipitación, o sea, la profundidad por unidad de tiempo (mm/hr), y ésta (1) se expresa como:

$$i = \frac{P}{Td} \quad (1)$$

Donde P es la profundidad de lluvia en mm o pulg, y Td es la duración, dada usualmente en hr.

Es importante señalar, que cuando sólo se dispone de un pluviómetro en una estación, es evidente que, en general, sólo se podrá conocer la intensidad media en 24 horas. Como se comprenderá, esta información puede inducir a grandes errores por defecto, por cuanto las lluvias de corta duración son, en general, las más intensas.

Es natural entonces que las determinaciones de intensidades de lluvia se hagan a partir de los registros proporcionados por los pluviógrafos (Aros, 1997).

2.2 Construcción de las Curvas IDF.

La construcción de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), según diversos autores, plantean distintas formas o métodos para su construcción. Para Aparicio (1997) existen dos métodos; el primero, llamado de intensidad - período de retorno, relaciona estas dos variables para cada duración por separado, mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología.



SOCIEDAD ESTÁNDARES DE INGENIERÍA PARA AGUAS Y SUELOS LTDA.

El otro método relaciona simultáneamente la intensidad, la duración y el período de retorno en una familia de curvas, cuya ecuación (2) es:

$$I = \frac{k * T^m}{(d + c)^n} \quad (2)$$

Donde k, m, n y c son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple, y en tanto que l y d corresponden a la intensidad de precipitación y la duración, respectivamente.

Por otra parte, Chow *et al* (1994), plantean dos formas de trabajar con las curvas. La primera, utiliza un análisis de frecuencia de la lluvia, considerando para ello una función de distribución de probabilidad de valor extremo como la función Gumbel.

El segundo método, expresa las curvas IDF como ecuaciones, con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica.

Wenzel (1982), citado por Chow *et al* (1994), dedujo para algunas ciudades de los Estados Unidos, algunos coeficientes para utilizarlos en una ecuación (3) de la forma:

$$I = \frac{c}{(Td^e + f)} \quad (3)$$

Donde I es la intensidad de lluvia de diseño, y Td la duración, en tanto c, e y f son coeficientes que varían con el lugar y el período de retorno.

Por otro lado, Varas y Sánchez, citado por EULA (1993), han propuesto otra metodología para el diseño de las curvas IDF. Dicho procedimiento plantea la siguiente expresión (4) para estimar la intensidades máximas, para distintos períodos de retorno y duraciones:

$$P_{t,T} = K * P_{10,D} * C_{d,t} * C_{f,T} \quad (4)$$

Donde:

$P_{t,T}$ = Lluvia con período de retorno de T años y duración t horas en (mm).

K = Coeficiente para obtener la lluvia máxima absoluta en 24 horas en función del valor máximo diario (k= 1,1).

$P_{10,D}$ = Lluvia Máxima diaria con 10 años de período de retorno.

$C_{d,t}$ = Coeficiente de duración para t horas.

$C_{f,T}$ = Coeficiente de frecuencia para T años de período de retorno.

Entonces, la intensidad máxima (5) de precipitación queda dada por:

$$I_{t,T} (mm / hr) = \frac{P_{t,T}}{d} \quad (5)$$

donde:

d = Duración en hr.

Siguiendo esta metodología, se pueden diseñar las curvas IDF en aquellas ciudades o zonas en que sólo exista información pluviométrica, para lo cual se deberán seleccionar los coeficientes de duración y frecuencia de la estación pluviográfica más cercana.

Otra forma o método para determinar las curvas IDF, es el que se presenta en este documento, y corresponde al que ha planteado Témez (1978), el cual relaciona las intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno, con el propósito de graficar la relación entre las tres variables (Intensidad- Duración –Frecuencia), y cuyo esquema de la curva IDF es el siguiente:

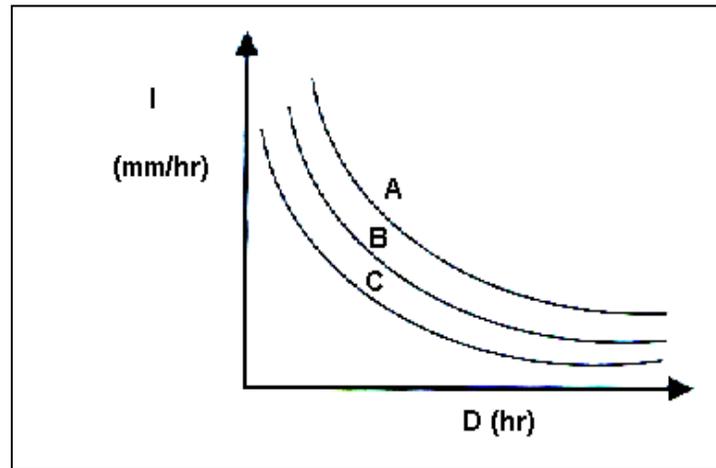


Figura 1. Curvas IDF

Con;
 D = Duración en horas.
 I = Intensidad de precipitación en mm/hr. Véase (6).
 A, B y C representan distintos períodos de retorno en años.

$$I = \frac{P}{D} \quad (6)$$

Donde P es la profundidad de lluvia en mm o pulg, y D es la duración, dada usualmente en horas.

3. METODOLOGÍA

3.1 Selección de las Estaciones Pluviográficas

El criterio de selección de las estaciones pluviográficas se basó en el tipo, cantidad y periodicidad de los datos. El caso de estudio de este documento es la estación Talca (Lat: 35°26'; Long: 71°38'), tomándose como referencia de análisis el período comprendido entre 1982 - 1998.

3.2 Recolección de la Información Requerida

Los datos pluviométricos necesarios para el desarrollo de éstas, corresponden a las bandas de los pluviógrafos con los registros de las precipitaciones diarias y horarias.

3.3 Determinación de intensidades máximas

Esta etapa se analiza las bandas de registro de los pluviógrafos, para lo cual se realizan diversos muestreos. Se parte con mediciones de 08:00 hr de la mañana de un día hasta las 08:00 hr. del día siguiente, para una duración de 24 horas; luego, es necesario desplazarse en intervalos de tiempo de forma discreta y estable, utilizando para ello cuñas, con el propósito de ir seleccionando para cada año los valores extremos de precipitación para tiempos de 1,2,4, 6, 8, 12 y 24 horas. Luego, se toman los valores de cada una de las series y se dividen por su duración D en (horas), obteniéndose así las intensidades en mm/ hr.

TABLA N° 1. Alturas máximas de precipitación (mm) asociada a 1 hora

Año	Duraciones (hr)						
	1	2	4	6	8	12	24
1982	8,1	14,2	23,8	35,3	37,2	43,8	59,7
1983	8,2	8,7	13,7	15,0	19,3	19,7	19,7
1984	13,1	21,4	30,8	39,2	52,0	69,8	91,8
1985	5,9	7,7	11,1	13,3	16,2	16,9	16,9
1986	9,4	13,7	26,6	32,9	42,0	45,5	69,4
1987	14,3	25,7	40,6	49,1	51,3	50,5	64,2
1988	10,0	14,7	29,0	30,7	29,0	40,7	40,7
1989	10,2	16,6	28,1	25,6	23,5	35,0	49,3
1990	10,8	20,8	34,2	39,5	44,3	42,3	57,1
1991	9,2	14,7	20,8	23,7	25,6	37,6	45,0
1992	10,2	13,4	21,6	25,3	30,4	28,2	47,6
1993	9,5	12,8	15,0	18,3	22,3	26,8	27,8
1994	6,1	7,8	11,4	13,3	13,3	13,3	14,8
1995	6,1	9,9	13,8	18,0	19,4	18,7	19,4
1996	7,8	9,0	15,1	14,8	19,5	21,2	31,1
1997	8,2	12,2	19,4	24,3	20,3	29,0	35,6
1998	8,5	15,0	20,9	25,4	26,3	26,3	30,5



Es importante mencionar, que para la estación en estudio (Talca), se utilizó las bandas pluviográficas con la información anual completa, del período comprendido entre 1982 y 1998. Ver tabla N° 1.

En función de la metodología planteada por Témez, cada altura máxima de precipitación horaria se divide por su duración en horas, obteniéndose las intensidades de precipitación máximas anuales en mm/hr para cada duración. En la tabla N° 2, se da a conocer los valores de intensidad de precipitación, su desviación estándar y la media.

TABLA N° 2. Intensidades máximas horarias anuales de precipitación (mm/hr).

Años	Duraciones (hr)						
	1	2	4	6	8	12	24
1982	8,10	7,10	5,95	5,88	4,65	3,65	2,49
1983	8,20	4,35	3,43	2,50	2,41	1,64	0,82
1984	13,10	10,70	7,70	6,53	6,50	5,82	3,83
1985	5,90	3,85	2,78	2,22	2,02	1,41	0,70
1986	9,40	6,85	6,65	5,48	5,25	3,79	2,89
1987	14,30	12,85	10,15	8,18	6,41	4,21	2,68
1988	10,00	7,35	7,25	5,12	3,63	3,39	1,69
1989	10,20	8,30	7,03	4,27	2,94	2,92	2,05
1990	10,80	10,4	8,55	6,58	5,54	3,53	2,38
1991	9,20	7,35	5,20	3,95	3,20	3,13	1,88
1992	10,20	6,70	5,40	4,22	3,80	2,35	1,98
1993	9,50	6,40	3,75	3,05	2,79	2,23	1,16
1994	6,10	3,90	2,85	2,22	1,66	1,11	0,62
1995	6,10	4,95	3,45	3,00	2,43	1,56	0,81
1996	7,80	4,50	3,78	2,47	2,44	1,77	1,30
1997	8,20	6,10	4,85	4,05	2,54	2,42	1,48
1998	8,50	7,50	5,23	4,23	3,29	2,19	1,27
Media	9,15	7,01	5,53	4,35	3,62	2,77	1,77
Desviación estándar	2,27	2,50	2,13	1,74	1,52	1,21	0,88

3.4 Ajuste de los datos a la función de distribución de probabilidad de Gumbel.

El siguiente paso metodológico, corresponde al ajuste de los valores de intensidad de precipitación a la función de distribución de probabilidad de Gumbel (Pizarro, 1986). Los parámetros de la función para cada duración se presentan en la tabla N° 3.

TABLA N° 3. Estimación de los parámetros de la Función de Gumbel por hora.

Duración	μ	σ
1	8,132	0,566
2	5,884	0,513
4	4,572	0,604
6	3,566	0,736
8	2,934	0,846
12	2,225	1,057
24	1,368	1,448

3.5 Determinación de las pruebas de bondad de ajuste.

Una vez ajustada la función de Gumbel, se determina las pruebas de bondad de ajuste, utilizándose como medidas de bondad al test de Kolmogorov-Smirnov y el Coeficiente de Determinación R^2 (Cid *et al*, 1990; Shao, 1970). Ver tablas N°s 4 y 5.

TABLA N° 4. Determinación del nivel de Ajuste del test Kolmogorov – Smirnov para cada duración.

Estación Talca Dt = 0,318		
Duración	Dc	Ajuste
1	0,124	A
2	0,091	A
4	0,135	A
6	0,111	A
8	0,091	A
12	0,081	A
24	0,112	A

Donde:

A : Es aceptado el modelo.

Dc: Estadístico de Kolmogorov-Smirnov calculado.

Dt : Valor de tabla.

Por consiguiente se acepta para toda la estación el ajuste del test Kolmogorov-Smirnov, y para cada duración considerada. Asimismo, los valores del coeficiente de determinación (R^2), explican en gran medida el comportamiento entre las intensidades de la precipitación y las duraciones de las mismas.

TABLA N° 5. Coeficiente de Determinación (R^2), para cada duración.

Duración	R^2
1	0,957
2	0,956
4	0,953
6	0,951
8	0,955
12	0,970
24	0,969

3.6 Diseño de las curvas IDF para la estación en estudio.

A continuación se presenta la figura N° 2, que muestra la representación gráfica de las curvas intensidad-duración-frecuencia para la estaciones en estudio.

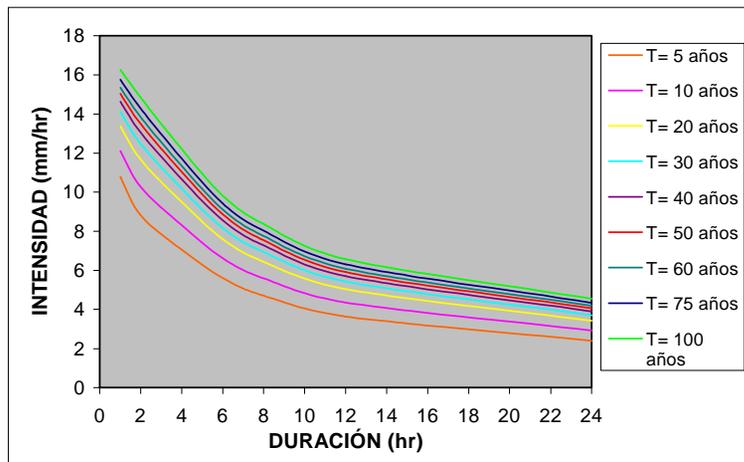


Figura 2. Curvas IDF Estación Talca

Es importante destacar que los resultados gráficos obtenidos, son producto de un intenso muestreo que fue repetido en más de dos ocasiones, debido a que no era posible un modelo gráfico que representase adecuadamente las curvas IDF.

3.7 Determinación de las tablas de uso práctico.

En esta etapa se procede a la construcción de tablas, tomándose para esto la relación de cada duración con los distintos períodos de retorno, los cuales son asociados a una probabilidad de excedencia, cuyo propósito es obtener intensidades máximas de precipitación en mm/hr, para distintos períodos de retorno, entregándose la relación entre la intensidad de precipitación en 1,2,4,..., 12 hr, y la intensidad de 24 hr. Ello, porque la precipitación de 24 horas es la más común de encontrar y estas relaciones permitirían la extrapolación a zonas sin datos.

A la relación de las intensidades horarias con respecto a la intensidad de 24 hr, se le denomina parámetro k, el cual es calculado para cada duración y período de retorno. Dicho parámetro (7) queda establecido como:

$$k = \frac{I_d}{I_{24}} \quad (7)$$

Donde:

I_d = Intensidad de precipitación horaria.

I_{24} = Intensidad de precipitación para una duración de 24 horas.

Para hacer más adecuado el uso de esta información, se muestra la tabla N° 6, la que permite estimar las intensidades para distintos períodos de retorno (T).



TABLA N° 6. Intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno.

Duración	Períodos de retorno (T)								
	T5	T10	T20	T30	T40	T 50	T60	T75	T100
1	10,78	12,11	13,38	14,12	14,63	15,03	15,36	15,75	16,27
2	8,81	10,27	11,67	12,48	13,05	13,49	13,85	14,28	14,85
4	7,06	8,30	9,49	10,18	10,66	11,04	11,34	11,71	12,19
6	5,60	6,62	7,60	8,16	8,56	8,87	9,12	9,42	9,81
8	4,71	5,60	6,45	6,94	7,28	7,55	7,77	8,03	8,37
12	3,64	4,35	5,04	5,43	5,70	5,92	6,09	6,30	6,58
24	2,40	2,92	3,42	3,70	3,91	4,06	4,19	4,34	4,54

A continuación, se estima el parámetro k calculado, el cual da cuenta de la relación entre la intensidad horaria y la intensidad de precipitación en 24 horas para cada período de retorno. Estas relaciones permiten la extrapolación a zonas o estaciones que carezcan de registros pluviográficos. Así, para extrapolarlas a otra estación de carácter meramente pluviométrica, sólo debería multiplicar la precipitación de 24 hr de su estación, a un determinado período de retorno por el factor k ligado a la nueva duración horaria. Ver tabla N° 7.

TABLA N° 7. Parámetro k para distintos períodos de retorno y duraciones.

Duración	Parámetro k para los distintos períodos de retorno (T)								
	T5	T10	T20	T30	T40	T 50	T60	T75	T100
1	4,49	4,15	3,91	3,82	3,74	3,70	3,67	3,63	3,58
2	3,67	3,52	3,41	3,37	3,34	3,32	3,30	3,29	3,27
4	2,94	2,84	2,78	2,75	2,73	2,72	2,71	2,70	2,69
6	2,33	2,27	2,22	2,21	2,19	2,18	2,18	2,17	2,16
8	1,96	1,92	1,88	1,87	1,86	1,86	1,85	1,85	1,84
12	1,52	1,49	1,47	1,47	1,46	1,46	1,45	1,45	1,45
24	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

3.8 Análisis Estadístico de las curvas IDF

Otra forma de desarrollar las curvas IDF es a través de una forma analítica propuesta por Aparicio (1997). Dicho autor plantea la alternativa de obtener una ecuación que genere las curvas IDF a través de un modelo de regresión lineal, de modo de extrapolar la ecuación generada, a zonas que carezcan de registros pluviográficos y que se encuentren relativamente cerca. Por lo que, se procede a analizar el

comportamiento de las variables involucradas en este estudio, relacionando simultáneamente las tres variables en una familia de curvas, para lo cual se utiliza la ecuación (8) propuesta por Aparicio (1997), la cual ha sufrido una pequeña modificación, a saber:

$$I = \frac{kT^m}{D^n} \quad (8)$$

Donde **k**, **m** y **n** son constantes de regresión lineal múltiple, donde T es el período de retorno en años, **D** la duración en minutos u horas, e **I** la intensidad de precipitación en mm/hr.

Luego, aplicando los logaritmos a la ecuación (8) propuesta se pretende llegar a la forma de un modelo de regresión lineal múltiple y cuyo modelo se expresa en la ecuación (9):

$$\log I = \log k + m \log T - n \log D \quad (10)$$

$$y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 \quad (11)$$

Donde:

$$y = \log I \quad a_0 = \log k$$

$$X_1 = \log T \quad a_1 = m$$

$$X_2 = \log D \quad a_2 = -n$$

Una vez calculados los coeficientes a_0 , a_1 y a_2 fue posible obtener los valores de los parámetros k, m y n de la ecuación (10). Finalmente el modelo ajustado para la estación Talca es el siguiente:

$$I = (35,205 * T^{0,195247}) / D^{0,381204} \quad R^2 = 96,79 \%$$

La calidad de la regresión, se verifica al analizar los supuestos de regresión para la función modelada, es decir, se debe cumplir los



supuestos de Normalidad, Homocedasticidad y no-Autocorrelación (Gujarati, 1992).

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- APARICIO, F. 1997. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Balderas, México: Limusa. 303 p.
- AROS, V. 1997. Apuntes de Hidrología. Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción. Chile. 25 - 31 p.
- CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. 1994. Manual de Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. 584 p.
- CID, L.; MORA, C.; VALENZUELA, M. 1990. Estadística matemática. Probabilidades e Inferencia Estadística. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias. Departamento de Matemáticas. Chile. 319 p.
- EULA. 1993. Programa Interuniversitario. Di Ricerca Scientifica Applicata e Formazione. "Gestión de los recursos hídricos de la cuenca del río Bío-Bío y del área marina costera adyacente". Universidad de Concepción. Concepción. Chile. 600 p.
- GUJARATI, D. 1992. Econometría. Segunda edición. Mc Graw- Hill Latinoamericana. D. F. México. 597 p.
- PIZARRO, R.; NOVOA, P. 1986. Instructivo n° 5. Determinación de valores probabilísticos para variables hidrológicas. Elementos técnicos de Hidrología. Corporación Nacional Forestal (CONAF). Chile. 78 p.
- SHAO, S. 1970. Estadística para economistas y administradores de empresas. Editorial Herrero Hermanos, SUCS. S.A. México. 786 p.
- TÉMEZ, J. 1978. Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. 111p.