

LIBRO: PRY. PROYECTO
TEMA: CAR. Carreteras
PARTE: 1. ESTUDIOS
TÍTULO: 06. Estudios Hidráulico-Hidrológicos para Puentes
CAPÍTULO: 003. Procesamiento de Información

A. CONTENIDO

Este Manual contiene los procedimientos para procesar, conforme a lo señalado en la Norma N·PRY·CAR·1·06·003, *Procesamiento de Información*, la información disponible y todos los datos que se obtengan del reconocimiento de campo y del levantamiento topográfico para la elaboración del estudio hidráulico-hidrológico para puentes que realice la Secretaría con recursos propios o mediante un Contratista de Servicios.

B. REFERENCIAS

Es referencia de este Manual, la última versión de la publicación *Isoyetas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la República Mexicana*, editada por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría.

Además, este Manual se complementa con las últimas versiones de las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Ejecución de Estudios, Proyectos y Consultorías	N·LEG·2
Ejecución de Estudios Hidráulico-Hidrológicos para Puentes	N·PRY·CAR·1·06·001
Trabajos de Campo	N·PRY·CAR·1·06·002
Procesamiento de Información	N·PRY·CAR·1·06·003
Análisis Hidrológicos	N·PRY·CAR·1·06·004
Análisis Hidráulicos	N·PRY·CAR·1·06·005
Análisis Hidráulicos	M·PRY·CAR·1·06·005

C. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISOGRÁFICAS

Para determinar las características fisiográficas de la cuenca en estudio, el Ingeniero o Contratista de Servicios puede seguir los procedimientos que a continuación se indican:

C.1. ÁREA DE LA CUENCA

El área de la cuenca se determina con base en las fotografías aéreas y en las cartas topográficas a que se refieren la Fracción D.3. y el Inciso E.1.1. de la Norma N·PRY·CAR·1·06·001, *Ejecución de Estudios Hidráulico-Hidrológicos para Puentes*, como sigue:

- C.1.1.** Una vez corroborada en campo la topografía como se indica en el Inciso C.1.1. de la Norma N·PRY·CAR·1·06·002, *Trabajos de Campo* y, en su caso, ajustada según el Inciso C.2.1. de la misma Norma, se traza en las cartas topográficas el eje de la carretera para la que se proyectará el puente, con base en el proyecto geométrico a que se refiere la

Fracción D.1. de la Norma N·PRY·CAR·1·06·001, *Ejecución de Estudios Hidráulico-Hidrológicos para Puentes.*

- C.1.2. Con ayuda de las fotografías aéreas, se identifican y remarcan en las cartas topográficas todos los cauces, las zonas bajas, las canalizaciones y los almacenamientos de agua existentes, que tengan influencia en el nuevo puente.
- C.1.3. En las cartas topográficas y con auxilio de las fotografías aéreas, se traza el parteaguas que delimita la cuenca, por los puntos de mayor elevación topográfica, de forma que abarque todos los cauces y canalizaciones que influyan en el nuevo puente.
- C.1.4. Con un planímetro, se determina en las cartas topográficas el área de la cuenca (A), que corresponde a la superficie delimitada por el parteaguas y por el eje de la carretera, expresada en kilómetros cuadrados.

C.2. PENDIENTE MEDIA Y LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL

En las cartas topográficas se selecciona el cauce o canalización más largo dentro de la cuenca, desde su inicio hasta su cruce con el eje de la carretera, que se considera como cauce principal, determinando su longitud y pendiente media como sigue:

- C.2.1. La longitud del cauce principal (L), expresada en kilómetros, es la distancia desde su origen en el parteaguas hasta su cruce con el eje de la carretera, medida perpendicularmente a las curvas de nivel, con un curvímetro o un escalímetro.
- C.2.2. Se deduce y dibuja el perfil del eje del cauce principal, desde su origen hasta su cruce con el eje de la carretera, con el propósito de observar, en su caso, las variaciones de las pendientes a lo largo del cauce, seleccionar los tramos de igual pendiente y determinar, de cada tramo, sus longitudes (L_j), expresadas en metros y sus pendientes (Sc_j), expresadas adimensionalmente con aproximación al diezmilésimo.

La pendiente media del cauce principal (Sc), desde su origen hasta su cruce con el eje de la obra, se calcula mediante la expresión de Taylor-Schwarz, como sigue:

$$Sc = \left[\frac{L}{\sum_{j=1}^N \frac{L_j}{\sqrt{Sc_j}}} \right]^2$$

Donde:

- Sc = Pendiente media del cauce principal, adimensional con aproximación al diezmilésimo
- Sc_j = Pendiente del tramo j , adimensional con aproximación al diezmilésimo
- L = Longitud del cauce principal, desde su origen hasta su cruce con el eje de la obra, (m)
- L_j = Longitud del tramo j , (m)
- N = Número de tramos

Si el cauce principal, ya sea natural o canalizado, muestra una sola pendiente desde su origen hasta su cruce con el eje de la obra, dicha pendiente se considera como la pendiente media del cauce (Sc).

C.3. COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO DE LA CUENCA

Utilizando la información contenida en el estudio geológico, con apoyo en las fotografías aéreas y en las cartas topográficas, geológicas, edafológicas y de uso del suelo, a que se refieren las Fracciones D.2. y D.3., así como el Inciso E.1.1. de la Norma N-PRY-CAR-1-06-001, *Ejecución de Estudios Hidráulico-Hidrológicos para Puentes*, y con base en los datos recabados durante el reconocimiento de campo conforme a lo indicado en el Inciso C.2.3. de la Norma N-PRY-CAR-1-06-002, *Trabajos de Campo*, se determina el coeficiente de escurrimiento de la cuenca, definido por las condiciones de su superficie, de la siguiente manera:

- C.3.1.** Mediante el análisis de las cartas geológicas, edafológicas y de uso del suelo, se identifican y dibujan en las cartas topográficas, las zonas que representen las distintas condiciones de la superficie de la cuenca, cuidando que cada una tenga características uniformes de topografía, geología, tipo y uso del suelo, estado de humedad del suelo, así como tipo y densidad de la vegetación, ya que dichas características representan condiciones particulares de infiltración y escurrimiento. Cada una de las zonas se identifica mediante números progresivos.
- C.3.2.** Con un planímetro se determinan las áreas (A_i) de las zonas identificadas, expresándolas en kilómetros cuadrados, revisando que su suma corresponda al área total de la cuenca (A) determinada como se indica en la Fracción C.1. de este Manual. Para cada zona se calcula la pendiente (S_i) en por ciento y se determina su coeficiente de escurrimiento (C_i), conforme a las condiciones de su superficie, utilizando la Tabla 1 de este Manual.

TABLA 1.- Coeficientes de escurrimiento (C) para el Método Racional

Tipo de superficie por drenar	Pendiente (%)	Coeficiente de escurrimiento (C)	
		Mínimo	Máximo
A) Praderas:			
1. Suelo arenoso plano	< 2	0,05	0,10
2. Suelo arenoso medio	2 a 7	0,10	0,15
3. Suelo arenoso empinado	> 7	0,15	0,20
4. Suelo arcilloso plano	< 2	0,13	0,17
5. Suelo arcilloso medio	2 a 7	0,18	0,22
6. Suelo arcilloso empinado	> 7	0,25	0,35
B) Zonas pavimentadas:			
1. Pavimento asfáltico	---	0,70	0,95
2. Pavimento de concreto hidráulico	---	0,80	0,95
3. Pavimento adoquinado	---	0,70	0,85
4. Estacionamientos	---	0,75	0,85
5. Patios de ferrocarril	---	0,20	0,40
C) Zonas residenciales:			
1. Unifamiliares	---	0,30	0,50
2. Multifamiliares, espaciados	---	0,40	0,60
3. Multifamiliares, juntos	---	0,60	0,75
4. Suburbanas	---	0,25	0,40
5. Casas habitación	---	0,50	0,70
D) Zonas comerciales:			
1. Zona comercial (áreas céntricas)	---	0,70	0,95
2. Areas vecinas	---	0,50	0,70
E) Zonas industriales:			
1. Construcciones espaciadas	---	0,50	0,80
2. Construcciones juntas	---	0,60	0,90
F) Campos cultivados	---	0,20	0,40
G) Zonas forestadas	---	0,10	0,30
H) Parques y cementerios	---	0,10	0,25
I) Areas de recreo y campos de juego	---	0,20	0,35
J) Azoteas y techados	---	0,75	0,95

C.3.3. Se elabora una relación que contenga todas las zonas identificadas, indicando para cada una de ellas, su área (A_i), su pendiente (S_i), su coeficiente de escurrimiento (C_i) y las condiciones de su superficie, describiendo su geología, tipo y uso del suelo, así como tipo y densidad de la vegetación.

C.3.4. Se obtiene el coeficiente de escurrimiento de la cuenca (C) aplicando la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^k C_i A_i}{A}$$

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento de la cuenca, adimensional

C_i = Coeficiente de escurrimiento de la zona i , adimensional

A_i = Área de la zona i , (km^2)

A = Área total de la cuenca determinada como se indica en la Fracción C.1. de este Manual, (km^2)

k = Número de zonas identificadas

C.4. PENDIENTES HIDRÁULICAS MEDIAS DEL CAUCE PRINCIPAL

A partir de los puntos nivelados del perfil de la pendiente geométrica o hidráulica, levantado de acuerdo a lo indicado en la Fracción D.5. de la Norma N·PRY·CAR·1·06·002, *Trabajos de Campo*, se determinan las pendientes hidráulicas medias del cauce principal, como sigue:

C.4.1. Se calcula la pendiente geométrica media o la pendiente hidráulica media, siempre que sea posible, en doscientos (200) metros o dos (2) veces el ancho del cauce, lo que resulte mayor, aguas arriba de cada sección hidráulica considerada, determinando el promedio pesado de las pendientes calculadas entre los puntos nivelados, utilizando la siguiente expresión:

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=2}^N S_i d_i}{\sum_{i=2}^N d_i}$$

Donde:

\bar{S} = Pendiente geométrica media o pendiente hidráulica media, adimensional con aproximación al diezmilésimo

S_i = Pendiente entre dos puntos contiguos nivelados, obtenida como $S_i = h_i / L_i$, adimensional con aproximación al diezmilésimo

d_i = Distancia entre dos puntos contiguos nivelados, obtenida como $d_i = (L_i^2 + h_i^2)^{1/2}$, (m)

L_i = Longitud horizontal entre dos puntos contiguos nivelados, que determinan la pendiente S_i , (m)

h_i = Desnivel entre dos puntos contiguos nivelados, que determinan la pendiente S_i , (m)

N = Número de puntos contiguos nivelados para calcular la pendiente media

C.4.2. El cálculo de la pendiente geométrica media o de la pendiente hidráulica media puede efectuarse usando como hoja de cálculo la Tabla 2, en la que se ejemplifica el cálculo para el perfil que define la pendiente geométrica que se muestra en la Figura 1 de este Manual.

TABLA 2.- Ejemplo del cálculo de la pendiente geométrica media

Punto	Cadenamiento m	Longitud L_i m	Elevación m	Desnivel h_i m	Distancia d_i m	S_i	$S_i d_i$
N	C_N	$L_i = C_N - C_{N-1}$	E_N	$h_i = E_{N-1} - E_N$	$d_i = (L_i^2 + h_i^2)^{1/2}$	$S_i = h_i / L_i$	$S_i d_i$
1	0	-----	60,32	-----	-----	-----	-----
2	20	20	59,66	0,66	20,01	0,0330	0,66
3	40	20	59,43	0,23	20,00	0,0115	0,23
4	60	20	59,27	0,16	20,00	0,0080	0,16
5	80	20	59,14	0,13	20,00	0,0065	0,13
6	100	20	58,55	0,59	20,01	0,0295	0,59
7	120	20	57,62	0,93	20,02	0,0465	0,93
8	140	20	57,48	0,14	20,00	0,0070	0,14
9	160	20	57,35	0,13	20,00	0,0065	0,13
10	180	20	56,54	0,81	20,02	0,0405	0,81
11	200	20	56,52	0,02	20,00	0,0010	0,02
Sumas				$\Sigma d_i =$	200,06	$\Sigma S_i d_i =$	3,80
Pendiente media (\bar{S})						$\Sigma d_i / \Sigma S_i d_i =$	0,0190

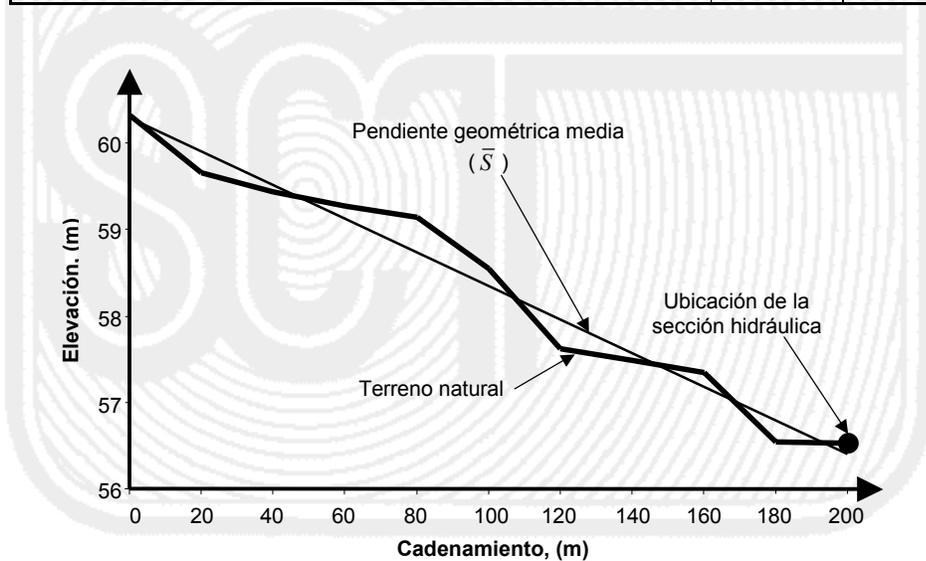


FIGURA 1.- Ejemplo de un perfil que define la pendiente geométrica de un cauce

- C.4.3.** Para el cálculo de la pendiente geométrica media, no se deben utilizar puntos nivelados que correspondan a pozas o caídas debidas a la extracción de material, o a depósitos de materiales.
- C.4.4.** Si la pendiente geométrica media o la pendiente hidráulica media, resulta igual o menor de 2%, la pendiente hidráulica media que se utiliza para determinar la velocidad y los tirantes de la corriente mediante el Método de Manning indicado en la Fracción D.2. del Manual M·PRY·CAR·1·06·005, *Análisis Hidráulicos*, se considera paralela a la calculada. Si ésta es mayor de 2%, dicho método no proporciona valores confiables, y la velocidad de la corriente se ha de obtener por otros procedimientos, según se indica en la Cláusula C. de la Norma N·PRY·CAR·1·06·005, *Análisis Hidráulicos*. En este último caso es de fundamental importancia la información que se obtenga relativa al comportamiento de puentes cercanos ubicados en la corriente que se estudia.

C.5. COEFICIENTES DE RUGOSIDAD

Utilizando la información contenida en el estudio geológico, con apoyo en las fotografías aéreas y en las cartas topográficas, geológicas, edafológicas y de uso del suelo, a que se refieren las Fracciones D.2. y D.3., así como el Inciso E.1.1. de la Norma N-PRY-CAR-1-06-001, *Ejecución de Estudios Hidráulico-Hidrológicos para Puentes*, y con base en los datos recabados durante el reconocimiento de campo conforme a lo indicado en el Inciso C.2.3. de la Norma N-PRY-CAR-1-06-002, *Trabajos de Campo*, para cada tramo de las diferentes secciones hidráulicas levantadas como se indica en la Fracción D.6. de dicha Norma, se determina su coeficiente de rugosidad de Manning (n), el que define el grado de influencia sobre la velocidad del escurrimiento que tienen las condiciones del cauce y sus llanuras de inundación, tales como las características de los materiales que los constituyen, de la vegetación, del uso del suelo y del tirante del agua, utilizando los valores que se indican en las Tablas 3, 4 y 5 de este Manual.

TABLA 3.- Coeficientes de rugosidad de Manning (n) para canales recubiertos o en relleno

Tipo de recubrimiento o relleno y condiciones del cauce	Coeficiente de rugosidad (n)		
	Mínimo	Normal	Máximo
A) Cemento:			
1. Superficie lisa	0,010	0,011	0,013
2. En mortero	0,011	0,013	0,015
B) Concreto:			
1. Acabado con llana metálica	0,011	0,013	0,015
2. Acabado con llana de madera	0,013	0,015	0,016
3. Acabado con grava en el fondo	0,015	0,017	0,020
4. Sin acabar	0,014	0,017	0,020
5. Lanzado, buena sección	0,016	0,019	0,023
6. Lanzado, sección ondulada	0,018	0,022	0,025
7. Sobre roca bien excavada	0,017	0,020	---
8. Sobre roca, excavado irregular	0,022	0,027	---
C) Fondo de concreto, acabado con llana y taludes de:			
1. Mampostería cuidada sobre mortero	0,015	0,017	0,020
2. Mampostería burda sobre mortero	0,017	0,020	0,024
3. Mampostería junteada y aplanada con mortero	0,016	0,020	0,024
4. Mampostería junteada con mortero	0,020	0,025	0,030
5. Mampostería seca o volteo	0,020	0,030	0,035
D) Fondo de grava con lados de:			
1. Concreto cimbrado	0,017	0,020	0,025
2. Mampostería sobre mortero	0,020	0,023	0,026
3. Mampostería seca a volteo	0,023	0,033	0,036
E) Mampostería:			
1. Junteada con mortero	0,017	0,025	0,030
2. Seca	0,023	0,032	0,035
3. Piedra labrada	0,013	0,015	0,017
G) Asfalto:			
1. Liso	0,013	0,013	---
2. Rugoso	0,016	0,016	---
H) Cubierta vegetal	0,030	---	0,500

TABLA 4.- Coeficientes de rugosidad de Manning (n) para canales excavados o dragados

Tipo de suelo y condiciones del cauce	Coeficiente de rugosidad (n)		
	Mínimo	Normal	Máximo
A) Tierra, recto y uniforme:			
1. Limpio, recientemente terminado	0,016	0,018	0,020
2. Limpio, intemperizado	0,018	0,022	0,025
3. Grava, sección uniforme y limpia	0,022	0,025	0,030
4. Con poco pasto y poca hierba	0,022	0,027	0,033
B) Tierra con curvas y en régimen lento:			
1. Sin vegetación	0,023	0,025	0,030
2. Pasto y algo de hierba	0,025	0,030	0,033
3. Hierba densa o plantas acuáticas y canales profundos	0,030	0,035	0,040
4. Fondo de tierra y mampostería en los lados	0,028	0,030	0,035
5. Fondo rocoso y hierba en los bordos	0,025	0,035	0,040
6. Fondo empedrado y bordos limpios	0,030	0,040	0,050
C) Excavado o dragado:			
1. Sin vegetación	0,025	0,028	0,033
2. Pocos arbustos en los bordos	0,035	0,050	0,060
D) Cortes en rocas:			
1. Lisos y uniformes	0,025	0,035	0,040
2. Astillado e irregular	0,035	0,040	0,050
E) Canales abandonados, hierbas y arbustos sin cortar:			
1. Hierba densa, tan altas como el tirante	0,050	0,080	0,120
2. Fondo limpio, arbustos en las paredes	0,040	0,050	0,080
3. Igual al anterior con máximo escurrimiento	0,045	0,070	0,110
4. Denso de arbustos, altos niveles de escurrimiento	0,080	0,100	0,140

C.6. FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL CAUCE PRINCIPAL

De existir dentro de la cuenca zonas bajas, almacenamientos de agua u otras obras que influyan en el funcionamiento hidráulico del cauce principal, con base en los datos de campo a que se refiere el Inciso C.2.4. de la Norma N·PRY·CAR·1·06·002, *Trabajos de Campo*, se determinan los efectos de regulación o control del flujo que dichas zonas u obras tienen en el cauce principal.

D. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

Para determinar las características hidrológicas de la cuenca en estudio, el Ingeniero o Contratista de Servicios puede seguir los procedimientos que a continuación se indican:

D.1. CARACTERÍSTICAS DE LA PRECIPITACIÓN

La precipitación se caracteriza por la variación de las intensidades de lluvia dentro de la cuenca respecto a la duración de las tormentas que las generan con diferentes periodos de retorno (Tr). La intensidad de lluvia (I), expresada normalmente en milímetros por hora, es la relación entre un incremento de altura de precipitación (P) ocurrida y el tiempo de duración (t) que la generó y su variación se representa en forma gráfica mediante curvas de *intensidad-duración-periodo de retorno*, las que se determinan en función de los datos hidrológicos disponibles, como sigue:

TABLA 5.- Coeficientes de rugosidad de Manning (n) para cauces naturales

Condiciones del cauce	Coeficiente de rugosidad (n)		
	Mínimo	Normal	Máximo
A) Arroyos (ancho de la superficie libre del agua en avenidas hasta de 30 m):			
1. Corrientes en planicies:			
a) Limpios, rectos, sin deslaves ni remansos profundos	0,025	0,030	0,033
b) Igual al anterior, pero más rocosos y con hierba	0,030	0,035	0,040
c) Limpio, curvo, algunas irregularidades del fondo	0,033	0,040	0,045
d) Igual al anterior, con hierba y roca	0,035	0,045	0,050
e) Igual al anterior, pero menor profundidad y secciones poco eficientes	0,040	0,048	0,055
f) Igual que en d), pero más rocosas	0,045	0,050	0,060
g) Tramos irregulares con hierbas y estanques profundos	0,050	0,070	0,080
h) Tramos con mucha hierba, estanques profundos, o cauces de avenidas con raíces y plantas subacuáticas	0,075	0,100	0,150
2. Corrientes de montañas, sin vegetación en el cauce; taludes muy inclinados, árboles y arbustos a lo largo de las márgenes que quedan sumergidos en las avenidas:			
a) Fondo de grava, boleo y algunos cantos rodados	0,030	0,040	0,050
b) Fondo de boleo y grandes rocas	0,040	0,050	0,070
B) Planicies de avenidas:			
1. Pastura sin arbustos:			
a) Pasto bajo	0,025	0,030	0,035
b) Pasto alto	0,030	0,035	0,050
2. Areas cultivadas:			
a) Sin cosecha	0,020	0,030	0,040
b) Cosecha en tierra labrada y pradera	0,025	0,035	0,045
c) Cosecha de campo	0,030	0,040	0,050
3. Arbustos:			
a) Arbustos diseminados y mucha hierba	0,035	0,050	0,070
b) Pocos arbustos y árboles, en invierno	0,035	0,050	0,060
c) Pocos arbustos y árboles, en verano	0,040	0,060	0,080
d) Mediana a densa población de arbustos, en invierno	0,045	0,070	0,110
e) Mediana a densa población de arbustos, en verano	0,070	0,100	0,160
4. Árboles:			
a) Población densa de sauces, en verano, rectos	0,110	0,150	0,200
b) Terrenos talados con troncos muertos	0,030	0,040	0,050
c) Igual al anterior, pero con troncos retoñables	0,050	0,060	0,080
d) Árboles de sombra y avenidas debajo de las ramas	0,080	0,100	0,120
e) Igual al anterior, pero las avenidas alcanzan las ramas	0,100	0,120	0,160
C) Ríos (ancho de la superficie libre del agua en avenidas mayor de 30 m):			
1. Secciones regulares sin cantos rodados ni arbustos	0,025	---	0,060
2. Secciones rugosas e irregulares	0,035	---	0,100

D.1.1. A partir de isoyetas

A menos que se indique otra cosa en los Términos de Referencia a que se refiere el Inciso C.1.2. de la Norma N-LEG-2, *Ejecución de Estudios, Proyectos y Consultorías*, las características de la precipitación se determinan, como se describe a continuación, mediante la utilización de las isoyetas o curvas de igual intensidad de lluvia contenidas en la última versión de la publicación *Isoyetas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la República Mexicana*, editada por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría, mismas que se han determinado con base en datos obtenidos de estaciones pluviográficas, así como en alturas de precipitación medidas en estaciones pluviométricas de las que se infirieron sus distribuciones en el tiempo y se han trazado en mapas geográficos de cada Estado de la República, para diferentes duraciones de tormenta y periodos de retorno.

- D.1.1.1.** Se ubica la cuenca que se estudia en los mapas geográficos correspondientes e Interpolando las isoyetas se estima la intensidad de lluvia (I) para cada duración de tormenta (t) y periodo de retorno (Tr), asentándola en un registro como el ejemplificado en la Tabla 6.

TABLA 6.- Ejemplo de registro de intensidades de lluvia obtenidas de isoyetas para diferentes duraciones de tormenta y periodos de retorno

Duración t , (min)	Periodo de retorno T_r , (años)				
	10	25	50	100	500
	Intensidad de lluvia I , (mm/h)				
10	163,0	190,0	210,0	230,0	274,0
30	97,6	115,0	129,0	143,0	177,0
60	63,5	75,0	85,0	96,0	120,0
120	36,0	44,7	51,0	56,0	68,0
240	19,5	23,1	26,8	31,0	37,0

D.1.1.2. En un papel semilogarítmico, en el que las ordenadas en escala natural corresponden a las intensidades de lluvia y las abscisas en escala logarítmica, a las duraciones, se dibujan los datos contenidos en la Tabla 6 para cada periodo de retorno, definiendo de esta manera las curvas intensidad – duración - periodo de retorno respectivas, como se muestra en la Figura 2.

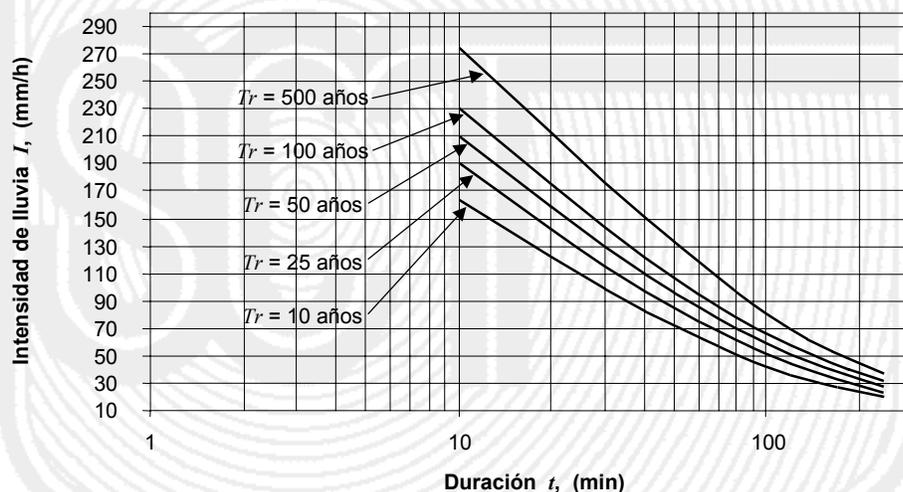


FIGURA 2.- Ejemplo de curvas de intensidad-duración-periodo de retorno obtenidas a partir de isoyetas

D.1.2. A partir de datos obtenidos en estaciones pluviográficas

Si se establece en los Términos de Referencia a que se refiere el Inciso C.1.2. de la Norma N-LEG-2, *Ejecución de Estudios, Proyectos y Consultorías*, los registros de lluvias generados en las estaciones pluviográficas que se hayan recopilado conforme a lo señalado en la Fracción E.1. de la Norma N-PRY-CAR-1-06-001, *Ejecución de Estudios Hidráulico-Hidrológicos para Puentes*, se analizan estadísticamente para diferentes duraciones y periodos de retorno, con el propósito de determinar las curvas de intensidad-duración-periodo de retorno, como se indica a continuación:

D.1.2.1. Ordenación de los datos

Antes de proceder al análisis estadístico y con el propósito de seleccionar los datos que sean útiles, se determina si durante el lapso que abarca el registro de lluvias obtenido en un pluviógrafo, se realizaron obras en la cuenca que hayan provocado cambios en sus características hidrológicas, como por ejemplo, la construcción de

alguna presa, en cuyo caso sólo pueden usarse los datos obtenidos a partir del momento en que la última obra construida haya entrado en operación normal. Los datos útiles se ordenan en función de la intensidad de la lluvia y la duración de la tormenta que la generó, agrupando dichas intensidades en intervalos de duración de tormenta constantes, de los que se considera como representativa la duración media de cada uno, como se detalla más adelante.

Sin embargo, los registros pluviográficos o pluviogramas, que representan la altura de la precipitación y su distribución en el tiempo, son continuos, mostrando la altura total de lluvia y su variación con el tiempo, como se muestra en la Figura 3 de este Manual, por lo que es necesario analizar cada pluviograma, valuando la máxima variación de la altura de lluvia en intervalos de duración constante, que generalmente son múltiplos de un cierto intervalo de tiempo. Esto se puede lograr de la siguiente manera:

- A partir del pluviograma se dibuja la curva masa de la tormenta, que representa la altura de la precipitación acumulada desde su inicio hasta que termina, considerando que cada vez que se vacía el receptor del pluviógrafo se han acumulado 10 mm (cada vez que la gráfica representativa del pluviograma marca cero). La curva masa correspondiente al pluviograma de la Figura 3, se muestra en la Figura 4 de este Manual.
- Se dibujan en un papel transparente y con la misma escala de tiempo que la de la curva masa, los pares de líneas verticales que representen, en el sentido horizontal, las duraciones seleccionadas.

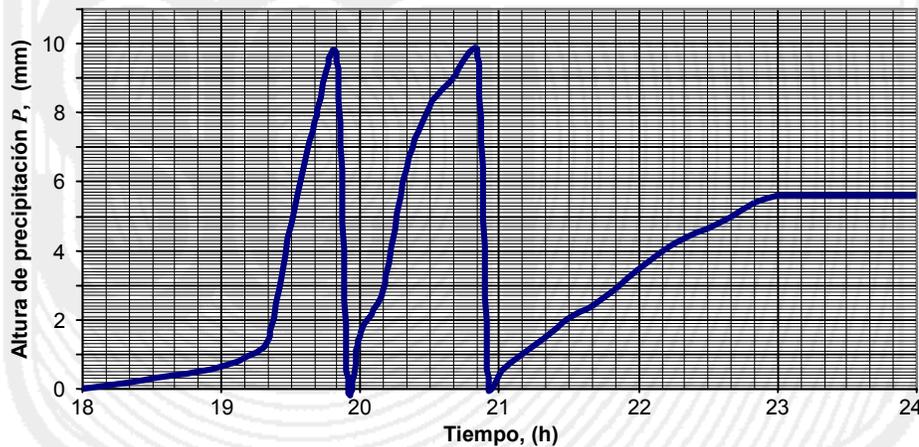


FIGURA 3.- Registro obtenido en un pluviógrafo

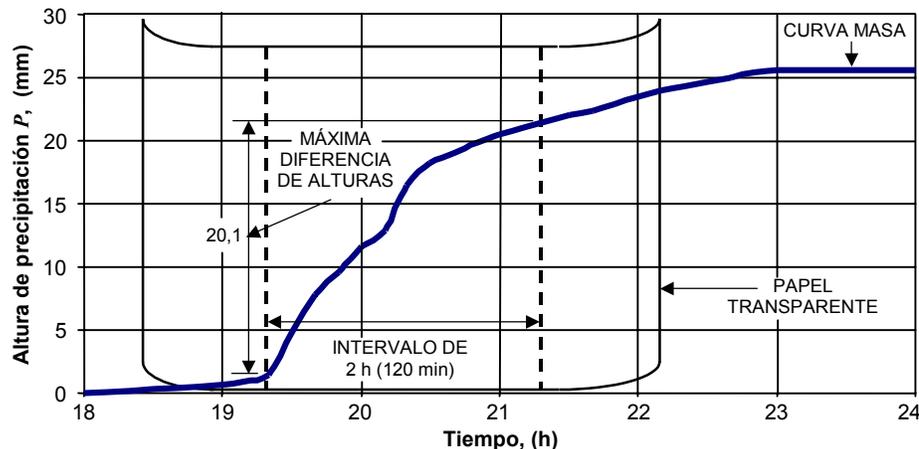


FIGURA 4.- Curva masa de una tormenta

- c) El papel transparente se coloca sobre la curva masa y se desplaza horizontalmente hasta determinar la máxima diferencia de alturas de precipitación dentro del intervalo marcado con las líneas verticales (Figura 4). Dicha diferencia se divide entre la duración (t) en horas, del intervalo considerado, obteniéndose la intensidad de lluvia (I) correspondiente, que se asienta en una relación como la ejemplificada en la Tabla 7 de este Manual. Esto se repite para cada duración seleccionada, en las curvas masa obtenidas de los pluviogramas disponibles.

TABLA 7.- Ejemplo de registro de intensidades de lluvia para diferentes duraciones de tormenta

Fecha			Duración t , (min)					
			5	10	20	45	80	120
Año	Mes	Día	Intensidad de lluvia I , (mm/h)					
1953	Jul	14	119,0			39,0		
	Oct	3	120,0	67,8	48,6	40,0	28,5	19,0
1954	Oct	5				14,0	9,6	7,1
	Oct	8	96,0	54,0	27,9			
1955	Jul	8	96,0	47,0				
	Nov	2		48,0	43,5	27,3	25,5	24,0
1956	May	15	150,0	93,0	60,0	33,0	19,1	12,8
1957	Sep	21	90,0	66,0	42,9	25,3	19,3	14,5
1958			Sin datos					
1959	Jun	14	68,4		27,6	13,3	11,4	7,8
	Ago	13		40,8				
1960	Ago	11	117,6	70,2	54,0	27,4	15,8	11,3
1961	Jul	10	85,2	42,6	21,3	9,4	5,3	3,6
1962	Sep	10	162,0	111,0	62,1	51,3	45,0	40,0
1963	May	17	96,0	60,0	34,5			15,0
	Jun	16				22,3	17,3	
1964	May	31	120,0	105,0	53,4	17,8	13,4	8,9

Las intensidades en cuadro sombreado no corresponden a las máximas de los años en que se observaron para la duración considerada, por lo que serán eliminadas en la ordenación de datos.

- d) Para cada duración, de la Tabla 7 se seleccionan las máximas intensidades de lluvia anuales, ordenándolas de mayor a menor, asignándoles un número de orden, como se ejemplifica en la Tabla 8 de este Manual y se calculan sus periodos de retorno (Tr) en años, mediante la siguiente expresión:

$$Tr = \frac{N}{j}$$

Donde:

Tr = Periodo de retorno, (años)

N = Número total de años de registro

j = Número de orden de los datos de intensidad de lluvia

- e) Si se analiza un registro corto que contenga datos de una precipitación extraordinaria, con una recurrencia muchas veces mayor que el período de registro, los análisis estadísticos pueden conducir a resultados absurdos. En estos casos es necesario descartar dicha precipitación extraordinaria para que los resultados sean más confiables. Con tal propósito es conveniente elaborar una gráfica en papel de probabilidades, de la intensidad de lluvia contra su periodo de retorno, ordenando los datos del registro de menor a mayor frecuencia, a fin de observar el dato que pudiera salir del rango de los demás y de esta manera poder eliminarlo.

TABLA 8.- Ejemplo de ordenación de los datos de intensidad de lluvia

Orden <i>j</i>	Periodo de retorno <i>Tr</i> , (años)	Duración <i>t</i> , (min)					
		5	10	20	45	80	120
		Intensidad de lluvia <i>I</i> , (mm/h)					
1	11,0	162,0	111,0	62,1	51,3	45,0	40,0
2	5,5	150,0	105,0	60,0	40,0	28,5	24,0
3	3,7	120,0	93,0	54,0	33,0	25,5	19,0
4	2,8	120,0	70,2	53,4	27,4	19,3	15,0
5	2,2	117,6	67,8	48,6	27,3	19,1	14,5
6	1,8	96,0	66,0	43,5	25,3	17,3	12,8
7	1,6	96,0	60,0	42,9	22,3	15,8	11,3
8	1,4	96,0	54,0	34,5	17,8	13,4	8,9
9	1,2	90,0	48,0	27,9	14,0	11,4	7,8
10	1,1	85,2	42,6	27,6	13,3	9,6	7,1
11	1,0	68,4	40,8	21,3	9,4	5,3	3,6

D.1.2.2. Determinación de las curvas de intensidad-duración-periodo de retorno

Las curvas de intensidad-duración-periodo de retorno se obtienen mediante un análisis estadístico de la información disponible, ordenada como se indica en el Párrafo anterior, ajustando para cada duración la función de distribución de probabilidad que más se apegue a los datos. Normalmente, dichas curvas se determinan mediante los procedimientos que enseguida se describen:

a) Método de Intensidad de Lluvia – Periodo de Retorno

En este método se utiliza una función de distribución de probabilidad tipo Gumbel, como la que se muestra a continuación:

$$F(X) = e^{-e^{-\frac{X+a}{c}}}$$

De la que se desprende la siguiente ecuación:

$$I = -a - c \text{LnLn} \frac{Tr}{Tr - 1}$$

Donde:

I = Intensidad de lluvia asociada al periodo de retorno (*Tr*), (mm/h)

Tr = Periodo de retorno, (años)

Ln = Logaritmo natural (base *e*)

a y *c* son parámetros de la función de distribución, que se determinan como sigue:

$$a = Y_N c - \bar{I}$$

$$c = \frac{\sigma_I}{\sigma_N}$$

Donde:

\bar{I} = Promedio de las intensidades de lluvia para una duración determinada, (mm/h)

σ_I = Desviación estándar de las intensidades de lluvia para una duración determinada, (mm/h)

Y_N y σ_N son funciones del tamaño de la muestra, es decir, del número total de años de registro N y se obtienen de la Tabla 9 de este Manual

TABLA 9.- Valores de Y_N y σ_N para diferentes tamaños de muestras

N	Y_N	σ_N	N	Y_N	σ_N	N	Y_N	σ_N
8	0,48430	0,90430	36	0,54100	1,13130	68	0,55430	1,28340
9	0,49020	0,92880	37	0,54180	1,13391	70	0,55477	1,18536
10	0,49520	0,94970	38	0,54240	1,13630	72	0,55520	1,18730
11	0,49960	0,96760	39	0,54300	1,13880	74	0,55570	1,18900
12	0,50350	0,98330	40	0,54362	1,14132	76	0,55610	1,19060
13	0,50700	0,99720	41	0,54420	1,14360	78	0,55650	1,19230
14	0,51000	1,00950	42	0,54480	1,14580	80	0,55688	1,19382
15	0,51280	1,02057	43	0,54530	1,14800	82	0,55720	1,19530
16	0,51570	1,03160	44	0,54580	1,14990	84	0,55760	1,19670
17	0,51810	1,04110	45	0,54630	1,15185	86	0,55800	1,19800
18	0,52020	1,04930	46	0,54680	1,15380	88	0,55830	1,19940
19	0,52200	1,05660	47	0,54730	1,15570	90	0,55860	1,20073
20	0,52355	1,10628	48	0,54770	1,15740	92	0,55890	1,20200
21	0,52520	1,06960	49	0,54810	1,15900	94	0,55920	1,20320
22	0,52680	1,07540	50	0,54854	1,16066	96	0,55950	1,20440
23	0,52830	1,08110	51	0,54890	1,16230	98	0,55980	1,20550
24	0,52960	1,08640	52	0,54930	1,16380	100	0,56002	1,20649
25	0,53086	1,09145	53	0,54970	1,16530	150	0,56461	1,22534
26	0,53200	1,09610	54	0,55010	1,16670	200	0,56715	1,23598
27	0,53320	1,00400	55	0,55040	1,16810	250	0,56878	1,24292
28	0,53430	1,10470	56	0,55080	1,16960	300	0,56993	1,24786
29	0,53530	1,10860	57	0,55110	1,17080	400	0,57144	1,25450
30	0,53622	1,11238	58	0,55150	1,17210	500	0,57240	1,25880
31	0,53710	1,11590	59	0,55180	1,17340	750	0,57577	1,26506
32	0,53800	1,11930	60	0,55208	1,17467	1000	0,57450	1,26851
33	0,53880	1,12260	62	0,55270	1,17700	∞	0,57722	1,28255
34	0,53960	1,12550	64	0,55330	1,17930	---	---	---
35	0,54034	1,12847	66	0,55380	1,18140	---	---	---

Con base en los datos de intensidad de lluvia ordenados, se calculan los parámetros a y c para cada duración considerada y se determinan las ecuaciones correspondientes de la intensidad en términos del periodo de retorno, que para el ejemplo mostrado en la Tabla 8 de este Manual, resultan las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Para } t = 5 \text{ min} \quad & I = 94,70 - 29,03 \text{LnLn} \frac{Tr}{Tr-1} \\ \text{Para } t = 10 \text{ min} \quad & I = 56,42 - 25,08 \text{LnLn} \frac{Tr}{Tr-1} \\ \text{Para } t = 20 \text{ min} \quad & I = 36,10 - 14,33 \text{LnLn} \frac{Tr}{Tr-1} \\ \text{Para } t = 45 \text{ min} \quad & I = 19,13 - 12,86 \text{LnLn} \frac{Tr}{Tr-1} \\ \text{Para } t = 80 \text{ min} \quad & I = 13,48 - 11,26 \text{LnLn} \frac{Tr}{Tr-1} \\ \text{Para } t = 120 \text{ min} \quad & I = 9,69 - 10,45 \text{LnLn} \frac{Tr}{Tr-1} \end{aligned}$$

Para un determinado periodo de retorno, con las ecuaciones correspondientes a cada duración considerada, se calculan las intensidades de lluvia que se asientan en un papel semilogarítmico, en el que las ordenadas en escala natural corresponden a las intensidades y las abscisas en escala logarítmica, a las duraciones, definiendo de esta manera la curva intensidad-duración-periodo de retorno respectiva. Lo mismo se hace para los periodos de retorno que se establezcan conforme a lo indicado en la Cláusula D. de la Norma N·PRY·CAR·1·06·004, *Análisis Hidrológicos*, como se muestra en la Figura 5 de este Manual, en la que se observan las curvas correspondientes a periodos de retorno de 2, 5, 10, 15 y 20 años, determinadas con las ecuaciones anteriores.

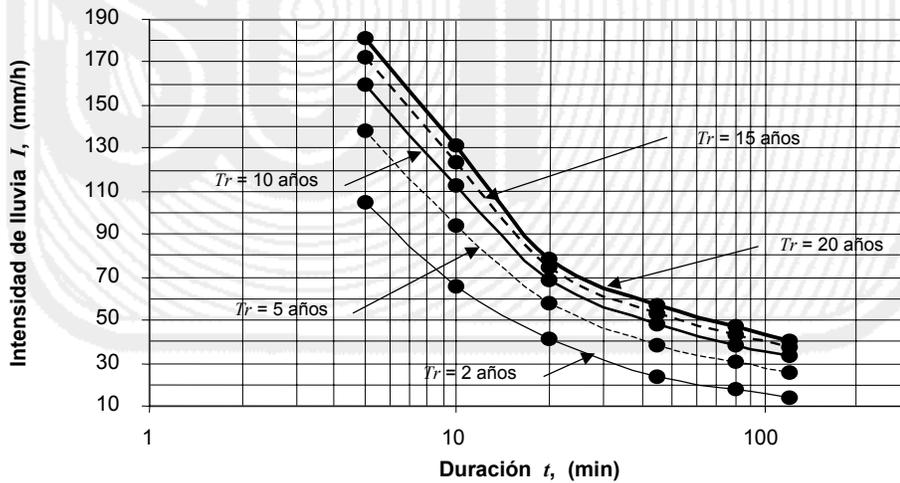


FIGURA 5.- Ejemplo de curvas de intensidad-duración-periodo de retorno obtenidas por el Método de Intensidad de Lluvia-Periodo de Retorno

b) Método de Correlación Lineal Múltiple

Este método se basa en la siguiente función de distribución:

$$I = \frac{\kappa Tr^\mu}{t^\lambda}$$

Donde:

I = Intensidad de lluvia, (mm/h)

Tr = Periodo de retorno, (años)

t = Duración de la tormenta, (min)

κ , λ y μ son parámetros de la función de distribución

Aplicando logaritmos base 10 a esa función se obtiene la siguiente ecuación:

$$\log I = \log \kappa + \mu \log Tr - \lambda \log t$$

Lo que se puede escribir como:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2$$

Donde:

$$Y = \log I \qquad a_0 = \log \kappa$$

$$X_1 = \log Tr \qquad a_1 = \mu$$

$$X_2 = \log t \qquad a_2 = -\lambda$$

Que es una ecuación lineal de tres variables y los valores de a_0 , a_1 y a_2 , se obtienen resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\Sigma Y = M a_0 + a_1 \Sigma X_1 + a_2 \Sigma X_2$$

$$\Sigma X_1 Y = a_0 \Sigma X_1 + a_1 \Sigma X_1^2 + a_2 \Sigma X_1 X_2$$

$$\Sigma X_2 Y = a_0 \Sigma X_2 + a_1 \Sigma X_1 X_2 + a_2 \Sigma X_2^2$$

Donde:

M = Número de sumandos

Con todos los datos del ejemplo mostrado en la Tabla 8 de este Manual, dicho sistema de ecuaciones resulta:

$$100,360 = 66,000 a_0 + 48,864 a_1 + 94,990 a_2$$

$$77,803 = 48,864 a_0 + 42,461 a_1 + 70,327 a_2$$

$$133,820 = 94,990 a_0 + 70,327 a_1 + 152,450 a_2$$

Resolviendo simultáneamente estas ecuaciones, se obtienen:

$$a_0 = 2,0786, a_1 = 0,5575 \text{ y } a_2 = -0,6740$$

Por lo que, para este ejemplo:

$$\kappa = \text{antilog } a_0 = 119,83$$

$$\mu = a_1 = 0,5575$$

$$-\lambda = a_2 = -0,6745$$

Y la función de distribución queda:

$$I = \frac{119,83Tr^{0,5575}}{t^{0,6745}}$$

Una vez resuelta la función de distribución, para un determinado periodo de retorno, se calculan las intensidades de lluvia para cada duración considerada, que se asientan en un papel semilogarítmico, en el que las ordenadas en escala natural corresponden a las intensidades y las abscisas en escala logarítmica, a las duraciones, definiendo de esta manera la curva intensidad-duración-periodo de retorno respectiva. Lo mismo se hace para los periodos de retorno que se establezcan conforme a lo indicado en la Cláusula D. de la Norma N·PRY·CAR·1·06·004, *Análisis Hidrológicos*, como se muestra en la Figura 6 de este Manual, en la que se observan las curvas correspondientes a periodos de retorno de 2, 5, 10, 15 y 20 años, determinadas para el caso que se ejemplifica.

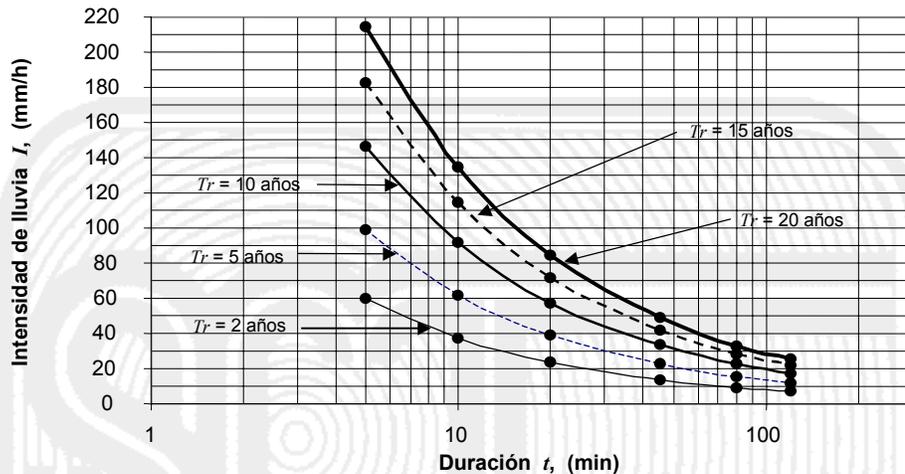


FIGURA 6.- Ejemplo de curvas de intensidad-duración-periodo de retorno obtenidas por el Método de Correlación Lineal Múltiple

c) Selección de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno

Las curvas intensidad – duración - periodo de retorno determinadas mediante distintos métodos, normalmente presentan tendencias diferentes, por lo que han de seleccionarse las curvas que más se ajusten a los datos disponibles, dibujando en las gráficas elaboradas con los métodos que se hayan utilizado, los datos de las intensidades de lluvia ordenados como se indica en el Párrafo D.1.2.1. de este Manual, que correspondan a los periodos de retorno más próximos a los de las curvas obtenidas y se seleccionan aquellas que presenten la tendencia más parecida a la de los datos dibujados, como se muestra en la Figura 7, donde se puede ver que la tendencia los datos ejemplificados en la Tabla 8 de este Manual, para periodos de retorno de 1,8, 5,5 y 11,0 años, muestran tendencias más parecidas a las de las curvas obtenidas por el Método de Intensidad de Lluvia - Periodo de Retorno, que serían las representativas de las características de precipitación, en este caso.

La Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría, ha elaborado un programa de cómputo que ajusta las distribuciones de probabilidad de los métodos referidos, entre otros, a la serie de datos que se desea analizar, proporcionando, para cada distribución y cada periodo de retorno que se establezca, las intensidades de lluvia asociadas a las duraciones de tormenta que se consideren y el grado en que se ajustan a los datos, valorándolo según los criterios de mínimos cuadrados, momentos y Kolmogorov–Smirnov. Este programa solamente requiere

ingresar los datos de las máximas intensidades de lluvia anuales para que proporcione los resultados mencionados, lo que permite elegir las curvas intensidad – duración - periodo de retorno determinadas con el método que mejor se ajuste a los datos.

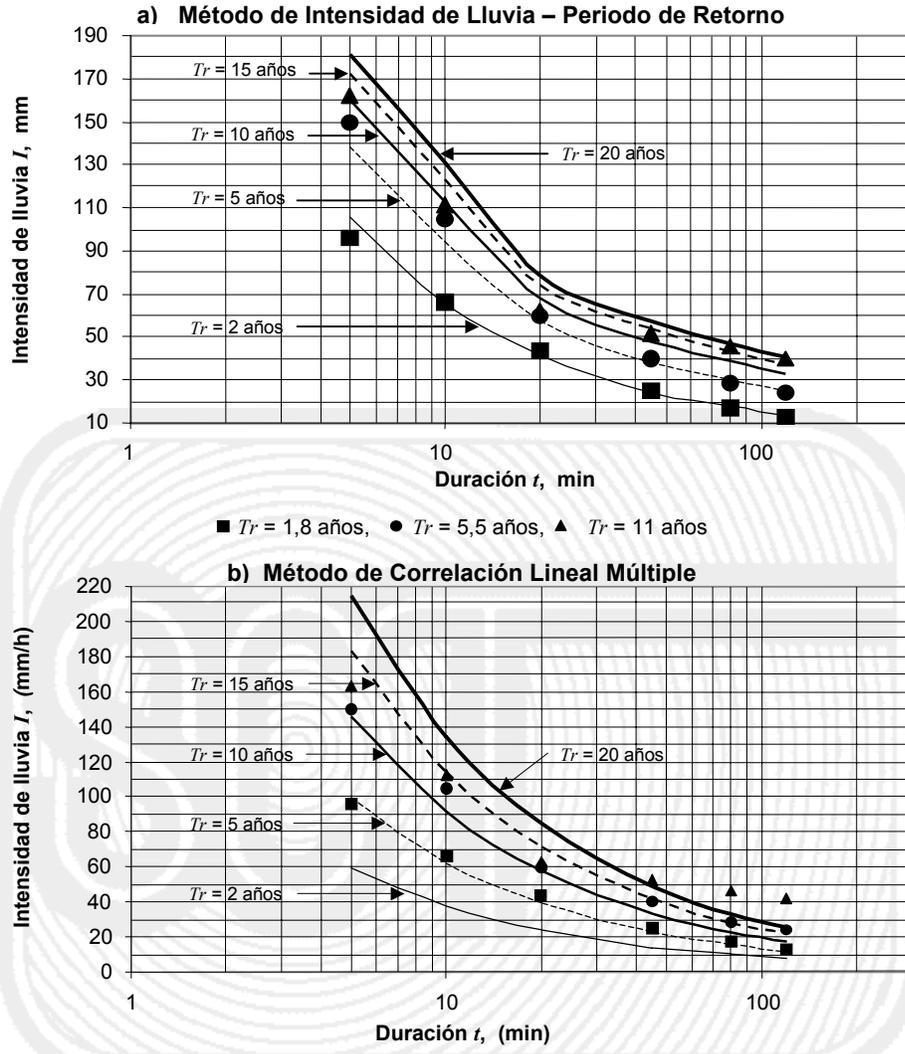


FIGURA 7.- Selección de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno

D.1.3. A partir de datos obtenidos en estaciones pluviométricas

Si se establece en los Términos de Referencia a que se refiere el Inciso C.1.2. de la Norma N·LEG-2, *Ejecución de Estudios, Proyectos y Consultorías*, los registros de lluvias generados en las estaciones pluviométricas, que se hayan recopilado conforme a lo señalado en Fracción E.1. de la Norma M·PRY·CAR·1·06·001, *Ejecución de Estudios Hidráulico-Hidrológicos para Puentes*, y que sólo representan la altura de la precipitación en 24 h, ignorándose la forma en que dicha precipitación se distribuye en ese lapso, se analizan para inferir la distribución de la lluvia en el tiempo con base en la información obtenida de estaciones pluviográficas vecinas, con el propósito de determinar las curvas intensidad-duración-periodo de retorno como se indica en el Inciso D.1.2. de este Manual.

D.2. CARACTERÍSTICAS DEL ESCURRIMIENTO

Si se establece en los Términos de Referencia a que se refiere el Inciso C.1.2. de la Norma N·LEG-2, *Ejecución de Estudios, Proyectos y Consultorías*, los registros de los gastos máximos

anuales aforados en las estaciones hidrométricas, que se hayan recopilado conforme a lo señalado en Fracción E.1. de la Norma N-PRY-CAR-1-06-001, *Ejecución de Estudios Hidráulico-Hidrológicos para Puentes*, se analizan estadísticamente, ajustando una función de distribución de probabilidad a dichos gastos, para caracterizar el escurrimiento y determinar los gastos que se utilizarán en el diseño hidráulico del puente, según los periodos de retorno que se establezcan conforme a lo indicado en la Cláusula D. de la Norma N-PRY-CAR-1-06-004, *Análisis Hidrológicos*.

Los métodos estadísticos que comúnmente se utilizan son el de Gumbel, Gumbel I, Log Gumbel, Log Gumbel I, Normal, Doble Normal, Log Normal, Log Normal 3 Parámetros, Pearson y Gamma, entre otros.

Para que un método estadístico se considere aplicable basta que su distribución de probabilidad muestre cierta concordancia con los datos que se procesen. Así el método que dará mejores resultados será aquel cuya distribución de probabilidades se ajuste más a los gastos máximos anuales registrados.

La Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría, ha elaborado un programa de cómputo que ajusta las distribuciones de probabilidad de los métodos estadísticos referidos, a la serie de datos que se desea analizar, proporcionando para cada distribución los gastos máximos asociados a los períodos de retorno que se establezcan y el grado en que se ajusta a los datos, valorándolo según los criterios de mínimos cuadrados, momentos y Kolmogorov-Smirnov. Este programa solamente requiere ingresar los datos de gastos máximos anuales para que proporcione los resultados mencionados, lo que permite elegir los gastos máximos calculados con el método que mejor se ajuste a los datos.

Prácticamente en todos los métodos estadísticos mencionados se sigue el mismo procedimiento de cálculo, sin embargo, el más frecuentemente utilizado es el de Gumbel, que a manera de ejemplo se describe a continuación:

D.2.1. Ordenación de los datos

Antes de proceder a la aplicación del método estadístico y con el propósito de seleccionar los datos que sean útiles, se determina si durante el lapso que abarca el registro de gastos aforados en una estación hidrométrica, se realizaron obras en la cuenca que hayan provocado cambios en sus características hidrológicas, como por ejemplo, la construcción de alguna presa, en cuyo caso sólo pueden usarse los datos obtenidos a partir del momento en que la última obra construida haya entrado en operación normal. Los datos útiles han de ser ordenados como sigue:

D.2.1.1. Para cada año de registro se selecciona el mayor de los gastos medidos, que corresponde al gasto máximo anual de ese año, elaborando una relación como la ejemplificada en la Tabla 10 de este Manual.

TABLA 10.- Ejemplo de registro de gastos máximos anuales

Año	Gasto máximo anual Q , (m ³ /s)
1967	4 000
1968	5 100
1969	3 270
1970	2 860
1971	2 660
1972	4 400
1973	3 690
1974	3 120
1975	3 460
1976	2 570
1977	2 760
1978	2 990

D.2.1.2. Los gastos máximos seleccionados como se indica en el Párrafo anterior, se ordenan de mayor a menor, asignándoles un número de orden, como se muestra en la Tabla 11 de este Manual y se calcula para cada uno su periodo de retorno (Tr) en años, mediante la siguiente expresión:

$$Tr = \frac{N+1}{j}$$

Donde:

Tr = Periodo de retorno, (años)

N = Número total de años de registro

j = Número de orden de los datos de gastos máximos anuales

TABLA 11.- Ejemplo de ordenación de gastos máximos anuales

Número de orden j	Gasto máximo anual Q , (m ³ /s)	Periodo de retorno Tr , (años)
1	5 100	13,00
2	4 400	6,50
3	4 000	4,33
4	3 690	3,25
5	3 460	2,60
6	3 270	2,17
7	3 120	1,86
8	2 990	1,63
9	2 860	1,44
10	2 760	1,30
11	2 660	1,18
12	2 570	1,08

D.2.1.3. Si se analiza un registro corto que contenga datos de una avenida extraordinaria, con una recurrencia muchas veces mayor que el período de registro, el método estadístico puede conducir a resultados absurdos. En estos casos es necesario descartar dicha avenida extraordinaria para que los resultados sean más confiables. Con tal propósito es conveniente elaborar una gráfica en papel de probabilidades, de los gastos contra su periodo de retorno, ordenando los datos del registro de menor a mayor frecuencia, a fin de observar el dato que pudiera salir del rango de los demás y de esta manera poder eliminarlo.

D.2.2. Determinación de la distribución de probabilidad por el Método de Gumbel

Para ajustar la función de distribución de probabilidad de los gastos máximos anuales, ordenados como se indica en el Inciso anterior, el Método de Gumbel se basa en la siguiente función:

$$F(X) = e^{-e^{-\frac{X+a}{c}}}$$

De la que se desprende la ecuación:

$$Q = -a - c \text{LnLn} \frac{Tr}{Tr - 1}$$

Donde:

Q = Gasto máximo para el periodo de retorno Tr , (m^3/s)

Tr = Periodo de retorno, (años)

Ln = Logaritmo natural (base e)

a y c son parámetros de la función de distribución, que se determinan como sigue:

$$a = Y_N c - \bar{Q}$$

$$c = \frac{\sigma_Q}{\sigma_N}$$

Donde:

\bar{Q} = Promedio de los gastos máximos anuales, (m^3/s)

σ_Q = Desviación estándar de los gastos máximos anuales, (m^3/s)

Y_N y σ_N son funciones del tamaño de la muestra, es decir, del número total de años de registro N y se obtienen de la Tabla 9 de este Manual

Con base en los gastos máximos anuales ordenados, se calculan los parámetros a y c , y se determina la ecuación correspondiente al gasto máximo en términos del periodo de retorno, que para el ejemplo mostrado en la Tabla 11 de este Manual, resulta de:

$$Q = 3011,9 - 784,1 Ln Ln \frac{Tr}{Tr - 1}$$

Con esta ecuación se calculan los gastos máximos para los periodos de retorno que se establezcan conforme a lo indicado en la Cláusula D. de la Norma N·PRY·CAR·1·06·004, *Análisis Hidrológicos*, que se asientan en un papel semilogarítmico, en el que las ordenadas en escala natural corresponden a los gastos y las abscisas en escala logarítmica, a los periodos de retorno, y se dibujan en la gráfica, según sus correspondientes periodos de retorno, los gastos máximos anuales observados y ordenados como se indica en la Fracción D.2.1. de este Manual, para verificar que su distribución corresponda a la considerada en el método utilizado, como se muestra en la Figura 8, donde se puede ver que la distribución de los datos ejemplificados en la Tabla 11 de este Manual coincide razonablemente con la distribución de Gumbel. Sin embargo, generalmente ambas distribuciones no son exactamente las mismas, por lo que se determina el intervalo de confianza dentro del que puede variar el gasto máximo con una determinada probabilidad.

D.2.3. Determinación del intervalo de confianza por el Método de Gumbel

Para calcular el intervalo de confianza, es decir, aquel dentro del cual puede variar el gasto máximo para un determinado periodo de retorno, dependiendo del número total de años de registro, primero se determina el parámetro φ como sigue:

$$\varphi = 1 - \frac{1}{Tr}$$

Donde:

Tr = Periodo de retorno, (años)

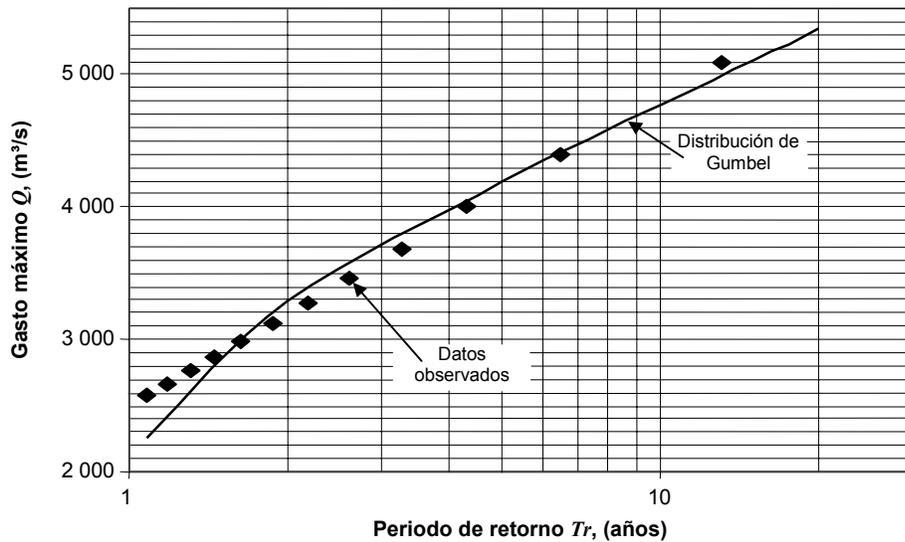


FIGURA 8.- Ejemplo de distribución de probabilidad por el método de Gumbel

Si $0,2 \leq \varphi \leq 0,8$, el intervalo de confianza se calcula con la fórmula:

$$\Delta_Q = \pm \sqrt{N\alpha\sigma_m} \frac{\sigma_Q}{\sigma_N \sqrt{N}}$$

Si $\varphi \geq 0,9$, el intervalo de confianza se calcula con la fórmula:

$$\Delta_Q = \pm \frac{1,14\sigma_Q}{\sigma_N}$$

Donde:

Δ_Q = Intervalo de confianza, (m³/s)

σ_Q = Desviación estándar de los gastos máximos anuales, (m³/s)

N = Número total de años de registro

σ_N y $\sqrt{N\alpha\sigma_m}$ son funciones del tamaño de la muestra, es decir, del número total de años de registro N y del parámetro φ , respectivamente. Se obtienen de las Tablas 9 y 12 de este Manual.

Si $0,80 < \varphi < 0,90$, el intervalo de confianza se considera de transición y se determina interpolando entre los valores calculados con las dos fórmulas anteriores. Para valores de φ menores de 0,2, el intervalo de confianza es despreciable.

TABLA 12.- Valores de $\sqrt{N\alpha\sigma_m}$ para diferentes valores de φ

φ	$\sqrt{N\alpha\sigma_m}$	φ	$\sqrt{N\alpha\sigma_m}$	φ	$\sqrt{N\alpha\sigma_m}$
0,01	2,1607	0,35	1,2981	0,75	2,0069
0,02	1,7894	0,40	1,3366	0,80	2,2408
0,05	1,4550	0,45	1,3845	0,85	2,5849
0,10	1,3028	0,50	1,4427	0,90	3,1639
0,15	1,2548	0,55	1,5113	0,95	4,4721
0,20	1,2427	0,60	1,5984	0,98	7,0710
0,25	1,2494	0,65	1,7034	0,99	10,0000
0,30	1,2687	0,70	1,8355	---	---

D.2.4. Ajuste de los gastos máximos calculados

Los gastos máximos para los periodos de retorno que se establezcan conforme a lo indicado en la Cláusula D. de la Norma N·PRY·CAR·1·06·004, *Análisis Hidrológicos*, calculados con el método estadístico seleccionado, se ajustan considerando sus correspondientes intervalos de confianza, para obtener los gastos que han de utilizarse en el análisis hidrológico a que se refiere la Norma mencionada, aplicando la siguiente fórmula:

$$Q_{Tr} = Q + \Delta_Q$$

Donde:

Q_{Tr} = Gasto máximo ajustado para el periodo de retorno Tr establecido, (m³/s)

Q = Gasto máximo para el periodo de retorno Tr establecido, calculado según el método estadístico seleccionado, (m³/s)

Δ_Q = Intervalo de confianza para el periodo de retorno Tr , (m³/s)

Los gastos máximos así ajustados, se asientan en un papel semilogarítmico, elaborando una gráfica de *gastos máximos–periodos de retorno según el Método de Gumbel*, similar a la mostrada en la Figura 8 de este Manual, en la que las ordenadas en escala natural corresponden a dichos gastos y las abscisas en escala logarítmica, a los periodos de retorno.

