

01162
19.2

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ANALISIS DE TORMENTAS EN EL
VALLE DE MEXICO

TESIS QUE PRESENTA
Agustín Felipe Breña Puyol
para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERIA HIDRAULICA

Ciudad Universitaria, D.F.

Noviembre 1983

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Pág
1.- INTRODUCCION	1
2.- ANALISIS DE PRECIPITACIONES	7
2.1 Introducci3n	7
2.2 Regionalizaci3n de las lluvias en la zona de estudio	9
2.3 Análisis estadístico regional	16
2.4 Análisis de errores	18
2.5 Conclusiones finales	20
2.6 Tablas y gráficas	22
3.- FACTORES DE AJUSTE POR DURACION Y PERIODO DE RETORNO	44
3.1 Factor de ajuste por duraci3n	44
3.2 Factor de ajuste por periodo de retorno	47
3.3 Tablas y gráficas	52
4.- FACTOR DE AJUSTE POR AREA	59
4.1 Introducci3n	59
4.2 Factor de ajuste por área con tormentas centradas	60
4.3 Factor de ajuste por área con áreas fijas	62
4.4 Factor de ajuste por área para el Valle de México	64
4.5 Conclusiones	66
4.6 Proceso para determinar una tormenta de diseño en el Valle de México	70
4.7 Tablas y gráficas	72

5.- ANALISIS DE VARIANCIA	98
5.1 Introducción	98
5.2 Densidad de la red de estaciones climatológicas	99
5.3 Variabilidad de las precipitaciones asociadas a diversas duraciones	102
5.4 Análisis variacional de un registro de lluvias máximas	104
5.5 Tablas y gráficas	109
6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
Referencias	122
Bibliografía	124

1.- INTRODUCCION

Hoy día, uno de los problemas más graves que se presentan en los grandes núcleos urbanos, es el del drenaje urbano insuficiente, situación motivada, principalmente, por el desarrollo urbano acelerado producido por la elevada tasa de crecimiento de la población.

Estos asentamientos, localizados en áreas reducidas, modifican drásticamente las condiciones naturales del escurrimiento, lo cual puede provocar inundaciones locales o generalizadas durante las temporadas de lluvias, si no se aumenta en forma paralela al crecimiento urbano, el drenaje urbano correspondiente.

El objetivo primordial del drenaje urbano es evacuar de las ciudades las aguas residuales y pluviales, siendo necesario para ello disponer de circuitos naturales o artificiales. La longitud total de tuberías, requeridas para

satisfacer las necesidades de drenaje en las principales ciudades del mundo, se ha incrementado en forma alarmante en los últimos años. Las siguientes cifras dan una idea de la magnitud de las inversiones que se han efectuado en este campo y de las que se tendrán que realizar en aquellas ciudades donde el crecimiento urbano sobrepasa los valores medios.

Más de 300,000 km es la longitud total de tuberías y colectores de evacuación de aguas pluviales en los Estados Unidos.

En Suecia, país con una población veinte veces menor, esa cifra era de 35,000 km en 1971. Estas redes de drenaje urbano han alcanzado grandes magnitudes, tal como lo demuestra la siguiente comparación. Si se suman las longitudes respectivas de los ríos Nilo, Amazonas y del conjunto formado por el Mississippi y el Missouri, se obtiene la cifra de 20,000 km. En síntesis, se puede decir que ha nacido una nueva geografía del agua.

Así pues las ciudades modifican el circuito de las aguas. Los circuitos artificiales urbanos miden más de 7,000 km en Nueva York, cifra que corresponde solamente a la ciudad propiamente dicha, no a la totalidad de la aglomeración neoyorquina. También en Estados Unidos, la ciudad de Milwaukee, a orillas del Lago Michigan, posee 60 km de corrientes naturales, a las que deben añadirse 13 km de ribera lacustre: pero existen 900 km de colectores y...

1,300 km de tuberías solo para evacuar las aguas residuales.

En nuestro país, es evidente la magnitud de los problemas que se presentan año con año, durante la época de lluvias, en las ciudades de México, Guadalajara, Monterrey, Acapulco, etc. La longitud total de la red de drenaje para el D.F., en el año de 1980 (ref 12), era de 13,100 km distribuidos de la siguiente forma: 11,500 km de red secundaria (conductos con diámetro menor 60 cm), 1,100 km de red primaria (colectores cuyos diámetros oscilan entre 0.60 m y 4.00 m) y 500 km de conductos naturales y artificiales constituyendo el Sistema General de Desagüe, cuya función es recibir las descargas de la red primaria y posteriormente, desalojar las aguas residuales y pluviales fuera del Valle de México.

Por otra parte, uno de los problemas más agudos que se presentan al diseñar redes de colectores en las grandes metrópolis, es la falta de uniformidad de los métodos que tradicionalmente se han utilizado para determinar tormentas de diseño. Para resolver este problema, en este trabajo se desarrollan las bases teóricas para definir tormentas pluviales con un criterio regional, observándose que una de las ventajas más importantes consiste en lo siguiente: con sus resultados se podrán diseñar o revisar estructuras de drenaje en cualquier punto que es té ubicado en la Cuenca del Valle de México.

La concepción original del método regional fué realizada por B. C. Bell (ver refs 1 y 2), obteniéndose resultados satisfactorios. Posteriormente, aplicado al Valle de México se han desarrollado dos estudios, con este mismo método, cuyas características y resultados se describen en las refs 3 y 5.

Para mostrar los diferentes aspectos que deben tomarse en cuenta, al realizar el análisis regional de tormentas, esta tesis se ha dividido en los siguientes capítulos.

El capítulo 2, denominado "Análisis de Precipitaciones", presenta la metodología que se utilizó para efectuar la regionalización de lluvias máximas en la zona de estudio, tomando como base precipitaciones asociadas a diferentes duraciones.

Con la regionalización de lluvias máximas, únicamente se pueden calcular, para un periodo de retorno de 5 años y duraciones de 30 min ó 24 horas, las precipitaciones máximas que ocurren en un punto. Para ampliar el rango de aplicación, en el capítulo 3, se describe el procedimiento a través del cual es posible estimar las precipitaciones para cualquier otra duración y periodo de retorno, utilizando para ello factores de corrección.

Una de las aportaciones más relevantes de esta tesis, es el método aplicado para calcular el factor de ajuste por área, desarrollado en el capítulo 4. Con este factor se

reduce la precipitación puntual máxima a un valor medio sobre un área dada. Sin embargo, debido a la falta de información pluviográfica suficiente, en este trabajo, se calculó solamente el factor de reducción por área para una duración de 24 horas, suponiendo que este valor será constante para cualquier otra duración analizada. Esta suposición se justifica con el análisis de la distribución temporal de las lluvias en la región de estudio, efectuadas al respecto. Por ejemplo, en la ref 13, se muestran varias curvas de altura de precipitación - duración - periodo de retorno, en donde se puede observar que casi toda (más del 90%) la lluvia asociada a una duración de 24 horas, cae aproximadamente en 3 horas. Otro indicador, que justifica la hipótesis anterior es que del total de lluvia que ocurre durante una tormenta, más del 50% se efectúa en solo 30 min.

En el capítulo 5, se desarrollan tres problemas, utilizando parámetros estadísticos que miden la dispersión o variabilidad de los datos registrados. En el primer ejemplo, se revisa la densidad de la red de estaciones de medición en la zona de estudio, empleando las precipitaciones máximas registradas para diversas duraciones, mientras que en el segundo ejemplo, se analizan las fluctuaciones que presenta la variación relativa de las lluvias registradas para diversas duraciones. En el último ejemplo, mediante un análisis de variancia, se determinó el número de años de registro necesario para definir la

función de distribución de probabilidad de la precipitación máxima anual para una duración de 24 horas.

Finalmente, en el capítulo 6, se mencionan las conclusiones y recomendaciones que se derivaron de este trabajo.

2.- ANALISIS DE PRECIPITACIONES

2.1 Introducción

Al diseñar un sistema de drenaje urbano intervienen diversas variables tales como, pendiente del terreno, área drenada y gasto a desalojar, siendo esta última la más importante. Para calcular dicho gasto, se debe definir una tormenta de diseño, que asociada con un modelo que relacione la lluvia y el escurrimiento permita definirlo.

En cuencas urbanas, la tormenta de diseño puede determinarse con cualquiera de los métodos siguientes:

- Tormenta puntual.- Es la que ocurre en un punto, obteniéndose mediante el análisis de las precipitaciones registradas en una estación. Para definir este tipo de tormentas, se ajustan en forma simultánea los valores de las variables que intervienen en este proceso, -intensidad de la lluvia-

-duración-periodo de retorno-, a través de una regresión lineal múltiple o bien ajustando a las precipitaciones máximas registradas una función de distribución de probabilidad. Este método, según estudios realizados en zonas urbanas, puede aplicarse adecuadamente hasta extensiones de 10 km². (ver ref 14)

- Tormenta espacial.- Para establecer este tipo de tormentas, es necesario analizar las precipitaciones registradas simultáneamente en varias estaciones ubicadas en la cuenca que se estudia. Con la información anterior, se construyen las curvas altura de precipitación-área-duración, método que permite estimar la distribución espacial de la lluvia o variación de la lluvia con respecto al área. Con estas curvas se puede calcular, para una tormenta, las cantidades de precipitación máxima que caen para diferentes duraciones y sobre áreas de diferentes tamaños.
- Tormenta regional.- Con este método se determina la tormenta de diseño en forma regional, agrupando para tal efecto la información general disponible en la cuenca de estudio. El procedimiento para definir este concepto consiste básicamente en estimar, en una primera etapa, la precipitación máxima que ocurre en cualquier punto de la zona

analizada. Posteriormente, para calcular el valor de la precipitación correspondiente a cualquier duración, periodo de retorno y área, se estiman los llamados factores de ajuste para cada uno de los elementos anteriores. Con ellos se puede obtener de la precipitación puntual un valor promedio para el área de estudio.

2.2 Regionalización de las lluvias en la zona de estudio

El objetivo de la regionalización de lluvias máximas es obtener fórmulas o procedimientos que puedan aplicarse a una región, aprovechando las características estadísticas de la precipitación que son comunes para todos los puntos de la región y señalando la forma como influyen para el fenómeno en estudio las características no comunes. El proceso para su definición es el siguiente:

- Regionalización de lluvias máximas

La regionalización de precipitaciones máximas de una zona se obtiene al construir planos de isoyetas, ya que con este procedimiento es posible tomar en cuenta la variación espacial de la lluvia. Dichos planos se construyeron utilizando varias hipótesis, cuyas características se enuncian a continuación.

- En primer término, se supuso que el fenómeno que provocan las precipitaciones máximas en la cuenca

(precipitación ciclónica, convectiva u orográfica), es el mismo para cualquier duración que se analice. Con este supuesto, puede decirse que la forma de las isoyetas será igual para todas las duraciones analizadas y que únicamente variará el valor asignado a cada isoyeta.

- Por otra parte, se tomó como base la forma de las isoyetas correspondientes a una duración de un año y un periodo de retorno de cinco años (frecuencia recomendada para diseñar estructuras de drenaje urbano), determinado con la información de otras duraciones, el valor que se le debe asignar a cada isoyeta.

El método para construir estos planos, para cada una de las duraciones analizadas en este estudio, es el siguiente:

- a) Plano de isoyetas para una duración de un año y un periodo de retorno de 5 años

Este plano de isoyetas (fig 2.1), se construyó con los valores obtenidos del análisis estadístico, efectuado a las precipitaciones registradas en los pluviómetros del Valle de México. Dicho análisis, realizado en cada una de las estaciones, consistió en ajustar a los valores de precipitación total anual, diferentes funciones de distribución de probabilidad (Gumbel, expo-

nencial, etc), y de la comparación entre ellos, se seleccionó la función exponencial para el ajuste definitivo. Con la función anterior se calcularon, para cada estación, los valores de la precipitación correspondiente a un periodo de retorno de 5 años, trazando con esta información el plano de isoyetas. La tabla 2.1, muestra los resultados obtenidos con la función de distribución exponencial.

Analizando los resultados se deduce que la regionalización obtenida, para esta duración, fué satisfactoria debido a que solamente se desecharon las precipitaciones de las estaciones Comisión Federal de Electricidad (728 mm) y Col. Del Valle (751 mm), situación motivada por su distribución irregular, ya que estos dos valores quedaron ubicados en la franja comprendida entre los 800 y los 900 mm.

- b) Plano de isoyetas para una duración de un mes y un periodo de retorno de 5 años

Para trazar el plano de isoyetas, correspondiente a este caso, se utilizó el mismo método del inciso anterior, con la salvedad de que para cada estación se obtuvieron los valores máximos anuales registrados para una duración de un mes.

A cada uno de estos conjuntos de datos se les

ajustó, según las características del método, una función de distribución de probabilidad exponencial. Los resultados obtenidos, valores de precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 5 años, se indican en la tabla 2.1 .

La fig 2.2, muestra el plano de isoyetas para una duración de un mes y un periodo de retorno de 5 años. Con respecto a este resultado, debe indicarse que para asignar a cada isoyeta su valor correspondiente, no se tomaron en cuenta las precipitaciones de las estaciones Comisión Federal de Electricidad (209 mm), Col. Escandón (249 mm), Servicio Meteorológico Nacional (255 mm), Molino Blanco (255 mm) y Tepexpan (186 mm), debido a que estos valores mostraron grandes variaciones en relación a los resultados obtenidos para toda la cuenca.

En conclusión, de 36 estaciones utilizadas para este análisis únicamente se desecharon cinco.

- c) Plano de isoyetas para una duración de 24 horas y un periodo de retorno de 5 años

Para esta duración, la metodología empleada fué la misma que la de los dos casos anteriores. Los valores seleccionados, en cada estación pluviométrica, para el ajuste exponencial fueron los va-

lores máximos anuales registrados para una duración de 24 horas. Los valores de las precipitaciones máximas estimadas para una duración de 24 horas y un periodo de retorno de 5 años, correspondientes a cada estación, se encuentran resumidas en la tabla 2.2 . El plano de isoyetas construido con los resultados anteriores, se muestra en la fig 2.3 .

Comparando las isoyetas determinadas para las duraciones de un año y un mes con las de 24 horas, se observa que para este último caso hay mayor variación entre los resultados regionales y los valores obtenidos en forma independiente en cada estación. Una de las posibles causas de esta fluctuación es que para el análisis de este inciso se utilizaron 63 estaciones, mientras que para las duraciones de un año y un mes el número de estaciones fué de 36, en ambos casos.

Finalmente, para asignar a cada isoyeta su valor correspondiente, no se tomaron en cuenta aquellas precipitaciones con diferencias mayores del 10%, entre el valor puntual medido en la estación y el valor medio calculado con las dos isoyetas adyacentes al punto de registro. En la fig 2.3, se indican con un círculo las precipitaciones descartadas, sumando un total de 11 valores, equivalentes al 17% del número total de estaciones.

- d) Plano de isoyetas para una duración de 30 min y un periodo de retorno de 5 años

El objetivo de este análisis es tomar en cuenta los incrementos importantes que se presentan en los escurrimientos, producidos por precipitaciones que tienen una duración entre cero y dos horas.

Existen varios métodos que relacionan, las precipitaciones o intensidades que ocurren en intervalos de tiempo pequeños para una frecuencia dada. En este caso, la metodología empleada consistió en ajustar a las intensidades máximas anuales correspondientes a una sola duración (método de intensidad de lluvia-periodo de retorno), una función de distribución. La función que mejor se ajusta a las dos variables anteriores es del tipo Gumbel, cuya expresión es:

$$i = -a - b \cdot \ln \ln \left(\frac{T_n}{T_n - 1} \right) \quad (2.1)$$

donde:

- i intensidad de la precipitación, en mm/h
- T_n periodo de retorno, en años
- a, b parámetros que se obtienen al ajustar la ec 2.1, a los datos registrados

Estimados los valores a y b , para cada una de las estaciones pluviográficas, se calculó la precipitación para una duración de 30 min. y un periodo de retorno de 5 años. Con estas cifras, se asignó

a cada isoyeta su valor correspondiente, definiéndose de esta forma el plano de la fig 2.4 . Las precipitaciones máximas correspondientes a esta duración, se indican en la tabla 2.2 .

Analizando los resultados (ver fig 2.4), se observan variaciones apreciables en los valores puntuales de las lluvias máximas estimadas para la cuenca en estudio. Posible causa de estas diferencias es que el número de años de registro en las estaciones es muy variable, tal como puede observarse en la tabla 2.2 . Esta situación produce resultados diferentes; en una estación o en estaciones cercanas, si el número de años de registro es sensiblemente diferente.

A continuación, se analizan los resultados obtenidos en dos estaciones localizadas aproximadamente en el mismo sitio geográfico. La tabla siguiente muestra lo anterior:

ESTACION	COORDENADAS		P, en mm (d=30 min)	Años de Registro
	Norte	Oeste		
Monte Altai y Alpes, D.F.	19° 26'	99° 13'	34	19
Tecamachalco, D.F.	19° 26'	99° 13'	39	12

En conclusión, para un mismo punto se obtienen

diferencias notables al ajustar las precipitaciones para intervalos de tiempo cortos, ya que con siete años menos de registros, hay una variación en los resultados de 5 mm de precipitación. Esta alteración tanto a nivel puntual o regional, es muy significativa.

Finalmente, para construir el plano de isoyetas se descartaron las estaciones (ver fig 2.4) cuyas precipitaciones están encerradas en un círculo.

Estos valores presentaron diferencias mayores del 10%, entre el valor puntual medido en la estación y el valor medio obtenido con las dos isoyetas adyacentes al punto de registro.

2.3 Análisis estadístico regional

El análisis estadístico regional, descrito en este inciso tiene por objeto, explicar el comportamiento de las precipitaciones utilizando para ello varios parámetros estadísticos.

En Hidrología, se pueden usar varios parámetros estadísticos para analizar un conjunto de observaciones, ya sea desde el punto de vista puntual (datos registrados en una estación climatológica) o bien en forma regional (conjunto de estaciones de una cuenca, de una zona específica, etc.). En general los parámetros estadísticos se clasifican, según sus características, en medidas de tendencia central (tales como la media, mediana, moda), medidas de

dispersión (desviación estándar, variancia, coeficiente de variación, coeficiente de correlación), medidas de asimetría, etc.

El análisis estadístico regional, efectuado a la cuenca del Valle de México, consistió en calcular la media y el coeficiente de variación para cada una de las precipitaciones y sus correspondientes duraciones. Con el promedio aritmético, se determinó el valor alrededor del cual se agrupan los datos de cada conjunto, mientras que con el coeficiente de variación, definido como el cociente entre la desviación estándar y la media de la muestra, se estimó el grado de dispersión de cada conjunto de valores. Para lograr esto, fue necesario calcular en primer término, los valores puntuales, de ambos parámetros, en cada estación los cuales se encuentran resumidos en las tablas 2.3 y 2.4 . Los resultados globales definidos para toda la zona en estudio, se indican en la tabla 2.5 .

Se pueden deducir varias conclusiones de este análisis estadístico, realizado a los valores de precipitaciones registradas para diferentes duraciones de ocurrencia.

A nivel regional, la principal conclusión es que son más estables (menos variables) las precipitaciones medias para las duraciones grandes que para las de menor duración. Esta característica se observa claramente al analizar los coeficientes de variación regionales, deduciéndose que a mayor duración de la tormenta menor es su coeficiente de variación. Lo anterior implica que para estudios de re-

gionalización de lluvias es más preciso utilizar como base los valores de precipitaciones con duraciones grandes debido a que existe entre ellos más homogeneidad.

Además, se dedujo al analizar los coeficientes de variación estimados en cada estación, que por regla general los valores más grandes se obtuvieron en aquellos puntos en donde se tenían pocos años de registro.

2.4 Análisis de errores

Analizando los resultados de la regionalización de lluvias máximas, se observó que el número de puntos en los cuales los valores individuales difieren de los regionales, crece conforme la duración de la precipitación disminuye. En efecto, la siguiente tabla muestra, para cada duración, el número de estaciones descartadas y su porcentaje respecto al total de estaciones utilizadas.

DURACION PRECIPITACION	NUMERO DE ESTACIONES DESCARTADAS	%
1 año	2	6
1 mes	5	14
24 horas	11	17
30 min	9	26

Por otro lado, las variaciones anteriores están relacionadas muy estrechamente con los siguientes factores:

- 1) El coeficiente de variación
- 2) El número de años de registro por estación
- 3) El coeficiente de variación espacial

La tabla 2.6 indica los resultados de los tres factores anteriores, calculados para cada duración. En relación al número de años de registro por estación, según las tablas 2.1 y 2.2, se observa que es muy variable calculándose, por consiguiente, el número de años de registro promedio. El coeficiente de variación espacial se calculó con la siguiente expresión:

$$F = (P_{máx} - P_{mín}) / \left(\frac{P_{máx} + P_{mín}}{2} \right)$$

donde:

- F coeficiente de variación espacial
- $P_{máx}$ valor de la isoyeta máxima
- $P_{mín}$ valor de la isoyeta mínima

De este análisis de errores, se deduce que hay una vinculación muy estrecha entre los tres siguientes elementos: duración de la precipitación, coeficiente de variación y variación espacial, definiéndose, en consecuencia, varias características. Una de ellas estipula que a menor duración de la tormenta, los resultados presentan un coeficiente de variación grande y una variación espacial pequeña. En otras palabras, para duraciones cortas los valores de lluvias, son desde el punto de vista estadístico, muy variables, mientras que desde el punto de vista regional debido a su poca amplitud espacial (variación

espacial pequeña) los valores puntuales presentan mucha dispersión en la zona de estudio. Para duraciones grandes sucede lo contrario.

2.5 Conclusiones finales

Al concluir la regionalización de lluvias máximas se obtuvieron resultados satisfactorios, en la Cuenca del Valle de México.

En efecto, para regionalizar la zona en estudio se utilizaron en total 170 valores puntuales de precipitaciones máximas, para diferentes duraciones, de los cuales únicamente se eliminaron 27 valores, equivalentes al 16% del total de lluvias puntuales.

Por otra parte, el resultado anterior se puede modificar si se eliminan, por ejemplo, aquellas estaciones que tengan menos de 15 años de registro. Si este proceso se lleva a cabo, el porcentaje de valores desechados se reduce al 13%.

Finalmente, se puede decir que se comprueba eficazmente, en este estudio, el objetivo fundamental del método de regionalización de lluvias máximas, ya que este criterio establece que para determinar la tormenta de diseño en una región, hay que agrupar toda la información disponible en la zona de estudio, desechando las precipitaciones registradas en algunas estaciones aisladas cuyas características sean diferentes en relación a los demás

puntos de la región. Como se mencionó en el párrafo anterior, al realizar este análisis, únicamente se eliminó al 16% de la información disponible, comprobando de esta forma la hipótesis de partida.

22.	Monte Altai y Alpes, D.F.	19° 26'	99° 13'		
23.	Mosqueta N° 52, D.F.	19° 27'	99° 08'		
24.	Moyoguarda, D.F.	19° 17'	99° 06'		
25.	Presa Anzaldo, D.F.	19° 19'	99° 13'	272.9	27
26.	Presa Mixcoac, D.F.	19° 22'	99° 14'	284.4	27
27.	Presa Tacubaya, D.F.	19° 24'	99° 13'	268.0	27
28.	San Angel, D.F.	19° 21'	99° 11'		
29.	San Juan de Aragón, D.F.	19° 28'	99° 05'	173.1	27
30.	Serv. Meteorol. Nacional, D.F.	19° 24'	99° 12'	254.8	38
31.	Talleres de Dolores, D.F.	19° 25'	99° 12'		
32.	Tecamachalco, D.F.	19° 26'	99° 13'		
33.	Tlahuac, D.F.	19° 16'	99° 00'		
34.	Unidad Modelo, D.F.	19° 22'	99° 07'		
35.	Vertedor Milpa Alta, D.F.	19° 11'	99° 01'		
36.	Delegación Mixcoac, D.F.	19° 22'	99° 11'		

22.	Monte Altai y Alpes, D.F.	19° 26'	99° 13'				
23.	Mosqueta N° 52, D.F.	19° 27'	99° 08'				
24.	Moyoguarda, D.F.	19° 17'	99° 06'				
25.	Presa Anzaldo, D.F.	19° 19'	99° 13'	272.9	27	988.0	27
26.	Presa Mixcoac, D.F.	19° 22'	99° 14'	284.4	27	1021.8	27
27.	Presa Tacubaya, D.F.	19° 24'	99° 13'	268.0	27	906.0	27
28.	San Angel, D.F.	19° 21'	99° 11'				
29.	San Juan de Aragón, D.F.	19° 28'	99° 05'	173.1	27	644.6	27
30.	Serv. Meteorol. Nacional, D.F.	19° 24'	99° 12'	254.8	38	873.4	38
31.	Talleres de Dolores, D.F.	19° 25'	99° 12'				
32.	Tecamachalco, D.F.	19° 26'	99° 13'				
33.	Tlahuac, D.F.	19° 16'	99° 00'				
34.	Unidad Modelo, D.F.	19° 22'	99° 07'				
35.	Vertedor Milpa Alta, D.F.	19° 11'	99° 01'				
36.	Delegación Mixcoac, D.F.	19° 22'	99° 11'				

Tabla 2.1.- Precipitaciones máximas P, para duraciones de un mes y un año y un periodo de retorno de 5 años

ESTACION		COORDENADAS		P, en mm	Años de	P, en mm	Años de
Nº	NOMBRE	NORTE	OESTE	(d = 1 mes)	Registro	(d = 1 año)	Registro
51.	Calacoaya, Méx	19° 31'	99° 15'	236.3	25	847.8	25
52.	Campamento Plan Lago Tex., Méx	19° 28'	99° 00'				
53.	Chapingo, Méx	19° 29'	98° 53'	178.8	34	684.9	34
54.	Chiconautla, Méx	19° 39'	99° 01'				
55.	Chimalhuacan, Méx	19° 25'	98° 56'				
56.	Col. Vicente Guerrero, Méx	19° 36'	99° 19'				
57.	El Salitre, Méx	19° 30'	99° 18'				
58.	El Tajo de Tequixquiac. Méx	19° 53'	99° 07'				
59.	El Tejocote, Méx	19° 27'	98° 54'	175.4	34	642.6	34
60.	Huehuetoca, Méx	19° 50'	99° 13'	203.9	34	745.3	34
61.	Huixquilucan, Méx	19° 22'	99° 21'	325.6	26	1242.7	26
62.	Juchitepec, Méx	19° 06'	98° 53'	248.6	21	925.6	21
63.	Km 2 + 120 (Pta Bombas), Méx	19° 34'	99° 01'				
64.	Km 27 + 250 (Gran Canal), Méx	19° 38'	99° 03'	183.2	23	712.0	23
65.	Km 47 + 000 (Gran Canal), Méx	19° 49'	99° 07'	206.7	27	763.4	27
66.	La Magdalena Chichicaspa, Méx	19° 25'	99° 20'				
67.	Las Arboledas, Méx	19° 34'	99° 13'				
68.	Los Reyes, La Paz, Méx	19° 22'	98° 59'	168.4	26	680.7	26
69.	Molinito, Méx	19° 28'	99° 14'	255.5	28	938.8	28
70.	Molino Blanco, Méx	19° 29'	99° 13'	254.5	32	883.4	32

71.	Netsahualcoyotl, Méx	19° 25'	99° 01'				
72.	Presa Concepción, Méx	19° 42'	99° 18'	215.8	25	800.3	25
73.	Presa Guadalupe, Méx	19° 38'	99° 15'	215.6	31	802.0	31
74.	Presa Las Ruinas, Méx	19° 35'	99° 17'				
75.	San Andrés, Méx	19° 32'	98° 55'	172.2	25	624.3	25
76.	San Jerónimo Xonacahuacan, Méx	19° 45'	98° 57'				
77.	San Juan Ixhuatepec, Méx	19° 31'	99° 07'	196.2	25	702.3	25
78.	San Luis Ayucan, Méx	19° 30'	99° 22'				
79.	San Marcos Jilotzingo, Méx	19° 52'	99° 04'				
80.	San Martín Obispo, Méx	19° 37'	99° 12'				
81.	San Mateo Acuitlapilco, Méx	19° 46'	99° 03'				
82.	San Mateo Tecoloapan, Méx	19° 34'	99° 14'				
83.	San Miguel Jagüeyes, Méx	19° 50'	99° 16'				
84.	Sta Ma Magdalena Cahuacan, Méx	19° 39'	99° 25'				
85.	Santiago Tlazala, Méx	19° 35'	99° 25'				
86.	Santo Tomás, Méx	19° 46'	99° 11'	191.5	25	706.0	25
87.	Tepexpan, Méx	19° 37'	98° 55'	185.8	25	674.4	25
88.	Totolica, Méx	19° 28'	99° 15'	258.9	25	937.5	25
89.	Tultepec, Méx	19° 41'	99° 08'				

Tabla 2.2.- Precipitaciones máximas P, para duraciones de 30 min. y 24 horas y un periodo de retorno de 5 años

ESTACION		P, en mm	Años de	P, en mm	Años de
Nº	NOMBRE	(d = 30 min)	Registro	(d = 24 h)	Registro
1.	Ajusco (Pueblo), D.F.	28.1	13	68.2	19
2.	Andalucía, D.F.	30.1	15		
3.	Azacapotzalco, D.F.	30.5	23	56.1	30
4.	Av Del Trabajo, D.F.	31.5	18		
5.	Cíncel Nº 42, D.F.			48.2	27
6.	Col Agrícola Oriental, D.F.	26.9	10	43.1	19
7.	Col Del Valle, D.F.			58.2	11
8.	Col Escandón, D.F.			59.4	19
9.	Com. Federal de Electricidad, D.F.	30.0	23	52.6	24
10.	Delegación Coyoacán, D.F.	31.0	20		
11.	Departamento Distrito Federal	29.5	25		
12.	Desierto de los Leones, D.F.	32.7	10	68.4	29
13.	Desviación Alta del Pedregal, D.F.	34.0	11	64.4	28
14.	División del Norte, D.F.	33.1	20		
15.	Doctor Pascua Nº 75, D.F.	29.3	21		
16.	El Guarda, D.F.	22.7	13	75.6	19
17.	Ixtapalapa, D.F.	26.5	8	56.3	25
18.	Km 6 + 250 (Gran Canal), D.F.	29.9	18	50.6	33
19.	La Condesa, D.F.	32.3	30		
20.	La Fortuna, D.F.	29.1	25		
21.	Milpa Alta, D.F.			60.2	12
22.	Monte Altai y Alpes, D.F.	34.5	19		
23.	Mosqueta Nº 52, D.F.			60.6	15
24.	Moyoguarda, D.F.			50.4	23
25.	Presa Anzaldo, D.F.			56.4	26
26.	Presa Mixcoac, D.F.			52.3	26
27.	Presa Tacubaya, D.F.			54.5	26

28. San Angel, D.F.	31.4	22		
29. San Juan de Aragón, D.F.	26.6	6	46.8	26
30. Serv. Meteorol. Nacional, D.F.	32.9	48	59.8	39
31. Talleres de Dolores, D.F.	38.5	21		
32. Tecamachalco, D.F.	38.8	12	62.6	21
33. Tlahuac, D.F.			53.2	13
34. Unidad Modelo, D.F.	28.1	16	51.4	13
35. Vertedor Milpa Alta, D.F.	32.9	19	48.8	14
36. Delegación Mixcoac, D.F.	34.1	17		

Tabla 2.2.- Precipitaciones máximas P , para duraciones de 30 min. y 24 horas y un periodo de retorno de 5 años

ESTACION		P , en mm	Años de Registro	P , en mm	Años de Registro
N° NOMBRE		(d = 30 min)		(d = 24 h)	
51.	Calacoaya, Méx			55.7	13
52.	Campamento Plan Lago Tex, Méx			46.0	13
53.	Chapingo, Méx	27.3	19	48.6	33
54.	Chiconautla, Méx			45.7	17
55.	Chimalhuacan, Méx			49.7	11
56.	Col Vicente Guerrero, Méx			58.8	9
57.	El Salitre, Méx			59.0	20
58.	El Tajo de Tequisquiac, Méx			55.5	19
59.	El Tejocote, Méx			46.0	34
60.	Huehuetoca, Méx	30.3	19	56.5	33
61.	Huixquiculan, Méx	29.7	19	59.1	26
62.	Juchitepec, Méx			49.6	19
63.	Km 2 + 120 (Pta Bombas), Méx			48.5	14
64.	Km 27 + 250 (Gran Canal), Méx			52.1	23
65.	Km 47 + 000 (Gran Canal), Méx			60.9	26
66.	Lt. Magdalena Chichicarpa, Méx			64.5	19
67.	Las Arboledas, Méx			58.0	11
68.	Los Reyes La Paz, Méx	33.2	11	42.6	26
69.	Molinito, Méx			57.8	28
70.	Molino Blanco, Méx	32.0	21	56.0	33
71.	Netzahualcoyotl, Méx			48.4	12
72.	Presa Concepción, Méx	29.3	19	57.9	30
73.	Presa Guadalupe, Méx	28.7	19	61.4	30
74.	Presa Las Ruinas, Méx			58.0	11
75.	San Andrés, Méx			46.8	33
76.	San Jerónimo Xonacahuacan, Méx			51.9	19
77.	San Juan Ixhuatepec, Méx			49.1	36
78.	San Luis Ayucan, Méx			71.4	20

79.	San Marcos Jilotzingo, Méx			52.0	19
80.	San Martín Obispo, Méx			50.2	15
81.	San Mateo Acuitlapilco, Méx			50.6	19
82.	San Mateo Tecoloapan, Méx			58.9	12
83.	San Miguel Jagueyes, Méx			59.8	19
84.	Sta Ma Magdalena Cahuacan, Méx	28.3	10	66.8	19
85.	Santiago Tlazala, Méx			72.9	19
86.	Santo Tomás, Méx			49.2	30
87.	Tepexpan, Méx	33.3	15	54.0	33
88.	Totolica, Méx			54.6	45
89.	Tultepec, Méx			53.3	19

Tabla 2.3.- Precipitaciones medias \bar{P} , para duraciones de 30 min, 24 horas, un mes y un año

E S T A C I O N		Precipitación, en mm			
Nº	NOMBRE	d= 30 min	d= 24 h	d=1 mes	d= 1 año
1.	Ajusco (Pueblo), D.F.	22.7	53.6	285.0	1120.3
2.	Andalucía, D.F.	21.3			
3.	Azcapotzalco, D.F.	22.2	47.4	198.4	760.6
4.	Av Del Trabajo, D.F.	22.6			
5.	Cinzel Nº 42, D.F.		40.3	170.5	630.1
6.	Col Agrícola Oriental, D.F.	19.6		158.1	581.9
7.	Col Del Valle, D.F.		47.7	181.7	672.8
8.	Col Escandón, D.F.		48.8	213.0	766.5
9.	Comisión Fed. Elect., D.F.	23.1	43.2	182.1	631.5
10.	Delegación Coyoacán, D.F.	23.9			
11.	Departamento Distrito Federal	21.0			
12.	Desierto de los Leones, D.F.	25.8	57.9	323.2	1326.6
13.	Desviación Alta al Pedregal, D.F.	25.8	53.2	250.0	960.7
14.	División del Norte, D.F.	22.8			
15.	Doctor Pascua 75, D.F.	23.1			
16.	El Guarda, D.F.	17.6	59.3	281.6	1170.5
17.	Ixtapalapa, D.F.	20.4	42.5	162.5	630.2
18.	Km 6 + 250 (Gran C'nal), D.F.	23.5	41.3	154.2	588.8
19.	La Condesa, D.F.	23.0			
20.	La Fortuna, D.F.	22.4			
21.	Milpa Alta, D.F.		48.7	198.7	776.9
22.	Monte Altai y Alpes, D.F.	26.5			
23.	Mosqueta Nº 52, D.F.		51.9		
24.	Moyoguarda, D.F.		41.4		
25.	Presa Anzaldo, D.F.		47.4	236.0	902.8
26.	Presa Mixcoac, D.F.		44.2	244.9	920.7
27.	Presa Tacubaya, D.F.		45.1	231.1	819.3
28.	San Angel, D.F.	23.4			
29.	San Juan de Aragón, D.F.	21.1	38.2	148.1	586.2

30. Serv. Mat. Nacional, D.F.	26.1	49.0	214.0	770.1
31. Talleres de Dolores, D.F.	28.8			
32. Tecamachalco, D.F.	31.2	51.2		
33. Tlahuac, D.F.		43.2		
34. Unidad Modelo, D.F.	20.7	41.1		
35. Vertedor Milpa Alta, D.F.	23.9	39.7		
36. Delegación Mixcoac, D.F.	26.0			

Tabla 2.3.- Precipitaciones medias \bar{P} , para duraciones de 30 min, 24 horas, un mes y un año

ESTACION		Precipitación, en mm			
Nº	NOMBRE	d = 30 min	d = 24 h	d = 1 mes	d = 1 año
51.	Calacoaya, Méx		47.1	199.4	760.2
52.	Campamento Plan Lago Tox, Méx		39.0		
53.	Chapingo, Méx	21.7	38.8	154.2	618.7
54.	Chiconautla, Méx		37.9		
55.	Chimalhuacan, Méx		40.1		
56.	Col Vicente Guerrero, Méx		50.7		
57.	El Salitre, Méx		49.7		
58.	El Tajo de Tequisquiác, Méx		46.7		
59.	El Tejocote, Méx		37.2	148.4	517.3
60.	Huehuetoca, Méx	24.3	45.0	177.2	642.7
61.	Huixquilucan, Méx	23.8	49.5	288.4	1127.9
62.	Juchitepec, Méx		37.9	212.6	825.4
63.	Km.2 + 120 (Pta Bombas), Méx		40.8		
64.	Km 27 + 250 (Gran Canal), Méx		43.2	163.2	634.9
65.	Km 47 + 000 (Gran Canal), Méx		47.7	173.5	650.9
66.	La Magdalena Chichicaspa, Méx		54.7		
67.	Las Arboledas, Méx		48.2		
68.	Los Reyes, La Paz, Méx	24.6	34.3	149.1	601.0
69.	Molinito, D.F.		48.8	218.7	829.7
70.	Molino Blanco, Méx	24.9	47.1	213.3	773.1
71.	Netzahualcoyotl, Méx		40.9		
72.	Presa Concepción, Méx	23.4	47.3	189.1	715.8
73.	Presa Guadalupe, Méx	22.7	47.5	184.3	719.2
74.	Presa Las Ruinas, Méx		48.2		
75.	San Andrés, Méx		38.7	143.5	559.3
76.	San Jerónimo Xonacahuacan, Méx		42.2		
77.	San Juan Ixhuatpec, Méx		40.7	171.5	634.5
78.	San Luis Ayucan, Méx		58.9		

79.	San Marcos Jilotzingo, Méx		43.2		
80.	San Martín Obispo, Méx		41.8		
81.	San Mateo Acuitlapilco, Méx		42.5		
82.	San Mateo Tecoloapan, Méx		48.0		
83.	San Miguel Jaquyes, Méx		46.8		
84.	Sta Ma Magdalena Cahuacan, Méx	24.9	56.6		
85.	Santiago Tlazala, Méx		61.5		
86.	Santo Tomás, Méx		40.4	162.4	631.3
87.	Tepexpan, Méx	25.4	42.8	161.9	602.5
88.	Totolica, Méx		46.3	221.2	833.7
89.	Tultepec, Méx		44.4		

Tabla 2.4.- Coeficiente de variación C_v , para duraciones de 30 min, 24 horas, un mes y un año

E S T A C I Ó N		Coeficiente de Variación, C_v			
Nº	NOMBRE	d = 30 min	d = 24 h	d = 1 mes	d = 1 año
1.	Ajusco (Pueblo), D.F.	0.20	0.35	0.22	0.21
2.	Andalucía, D.F.	0.38			
3.	Azacapotzalco, D.F.	0.39	0.25	0.25	0.21
4.	Av Del Trabajo, D.F.	0.38			
5.	Cíncel Nº 42, D.F.		0.25	0.23	0.19
6.	Col Agrícola Oriental, D.F.	0.23		0.18	0.17
7.	Col Del Valle, D.F.		0.25	0.26	0.19
8.	Col Escandón, D.F.		0.29	0.25	0.19
9.	Comisión Fed. Elect., D.F.	0.31	0.24	0.22	0.24
10.	Delegación Coyoacán, D.F.	0.35			
11.	Departamento Distrito Federal	0.47			
12.	Desierto de los Leones, D.F.	0.23	0.27	0.22	0.17
13.	Desviación Alta al Pedregal, D.F.	0.28	0.24	0.25	0.20
14.	División del Norte, D.F.	0.47			
15.	Doctor Pascua 75, D.F.	0.29			
16.	El-Guarda, D.F.	0.26	0.37	0.21	0.17
17.	Ixtapalapa, D.F.	0.28	0.36	0.16	0.17
18.	Km 6 + 250 (Gran Canal), D.F.	0.35	0.32	0.24	0.18
19.	La Condesa, D.F.	0.39			
20.	La Fortuna, D.F.	0.27			
21.	Milpa Alta, D.F.		0.32	0.29	0.25
22.	Monte Altal y Alpes, D.F.	0.34			
23.	Mosqueta Nº 52, D.F.		0.22		
24.	Moyoguarda, D.F.		0.32		
25.	Presa Anzaldo, D.F.		0.24	0.23	0.15
26.	Presa Mixcoac, D.F.		0.24	0.20	0.17
27.	Presa Tacubaya, D.F.		0.27	0.24	0.17

28. San Angel, D.F.	0.30			
29. San Juan de Aragón, D.F.	0.29	0.25	0.24	0.15
30. Serv. Meteor. Nacional, D.F.	0.28	0.29	0.29	0.21
31. Talleres de Dolores, D.F.	0.36			
32. Tecamachalco, D.F.	0.23	0.30		
33. Tlahuac, D.F.		0.28		
34. Unidad Modelo, D.F.	0.26	0.29		
35. Vertedor Milpa Alta, D.F.	0.37	0.30		
36. Delegación Mixcoac, D.F.	0.34			

Tabla 2.4.- Coeficiente de variación Cv, para duraciones de 30 min, 24 horas, un mes y un año

ESTACION		Coeficiente de Variación, Cv			
Nº	NOMBRE	d=30 min	d=24 h	d=1 mes	d=1 año
51.	Calacoaya, Méx		0.25	0.22	0.18
52.	Campamento Plan Lago Tex, Méx		0.19		
53.	Chapingo, Méx	0.25	0.37	0.23	0.17
54.	Chiconautla, Méx		0.22		
55.	Chimalhuacan, Méx		0.32		
56.	Col Vicente Guerrero, Méx		0.27		
57.	El Salitre, Méx		0.30		
58.	El Tajo de Tequixquiac, Méx		0.20		
59.	El Tejocote, Méx		0.29	0.26	0.20
60.	Huohetoca, Méx	0.23	0.38	0.22	0.23
61.	Huixquilucan, Méx	0.25	0.23	0.20	0.16
62.	Juchitepec, Méx		0.37	0.27	0.19
63.	Km 2 + 120 (Pta Bombas), Méx		0.26		
64.	Km 27 + 250 (Gran Canal), Méx		0.26	0.20	0.19
65.	Km 47 + 000 (Gran Canal), Méx		0.37	0.29	0.27
66.	La Magdalena Chichicasta, Méx		0.22		
67.	Las Arboledas, Méx		0.29		
68.	Los Reyes, La Paz, Méx	0.31	0.29	0.18	0.21
69.	Molinito, Méx		0.24	0.25	0.21
70.	Molino Blanco, Méx	0.25	0.26	0.29	0.23
71.	Netzahualcoyotl, Méx		0.23		
72.	Presa Concepción, Méx	0.24	0.31	0.20	0.19
73.	Presa Guadalupe, Méx	0.25	0.42	0.25	0.18
74.	Presa Las Ruinas, Méx		0.23		
75.	San Andrés, Méx		0.24	0.29	0.18
76.	San Jerónimo Xonacahuacan, Méx		0.29		
77.	San Juan Ixhuatepec, Méx		0.25	0.21	0.17

78.	San Luis Ayucan, Méx		0.29		
79.	San Marcos Jilotzingo, Méx		0.30		
80.	San Martín Obispo, Méx		0.27		
81.	San Mateo Acuitlapilco, Méx		0.27		
82.	San Mateo Tecoloapan, Méx		0.25		
83.	San Miguel Jagueyes, Méx		0.42		
84.	Sta Ma Magdalena Cahuacan, Méx	0.11	0.27		
85.	Santiago Tlazala, Méx		0.26		
86.	Santo Tomás, Méx		0.33	0.26	0.19
87.	Tepexpan, Méx	0.29	0.35	0.21	0.19
88.	Totolica, Méx		0.22	0.26	0.20
89.	Tultepec, Méx		0.23		

Tabla 2.5.- Valores medios regionales de precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 5 años, precipitaciones medias y coeficiente de variación, para diversas duraciones

C O N C E P T O	D U R A C I O N			
	30 minutos	24 horas	1 mes	1 año
P _{máx} , en mm Tr = 5 años	31	36	231	852
P _{media} , en mm	24	46	199	758
Cv	0.30	0.28	0.24	0.19

Tabla 2.6.- Análisis de errores

C O N C E P T O	D . U R A C I O N			
	30 minutos	24 horas	1 mes	1 año
Coefficiente de variación (Cv)	0.30	0.28	0.24	0.19
Número de años de registro promedio	18	22	28	28
Variación espacial (F)	0.30	0.38	0.64	0.60

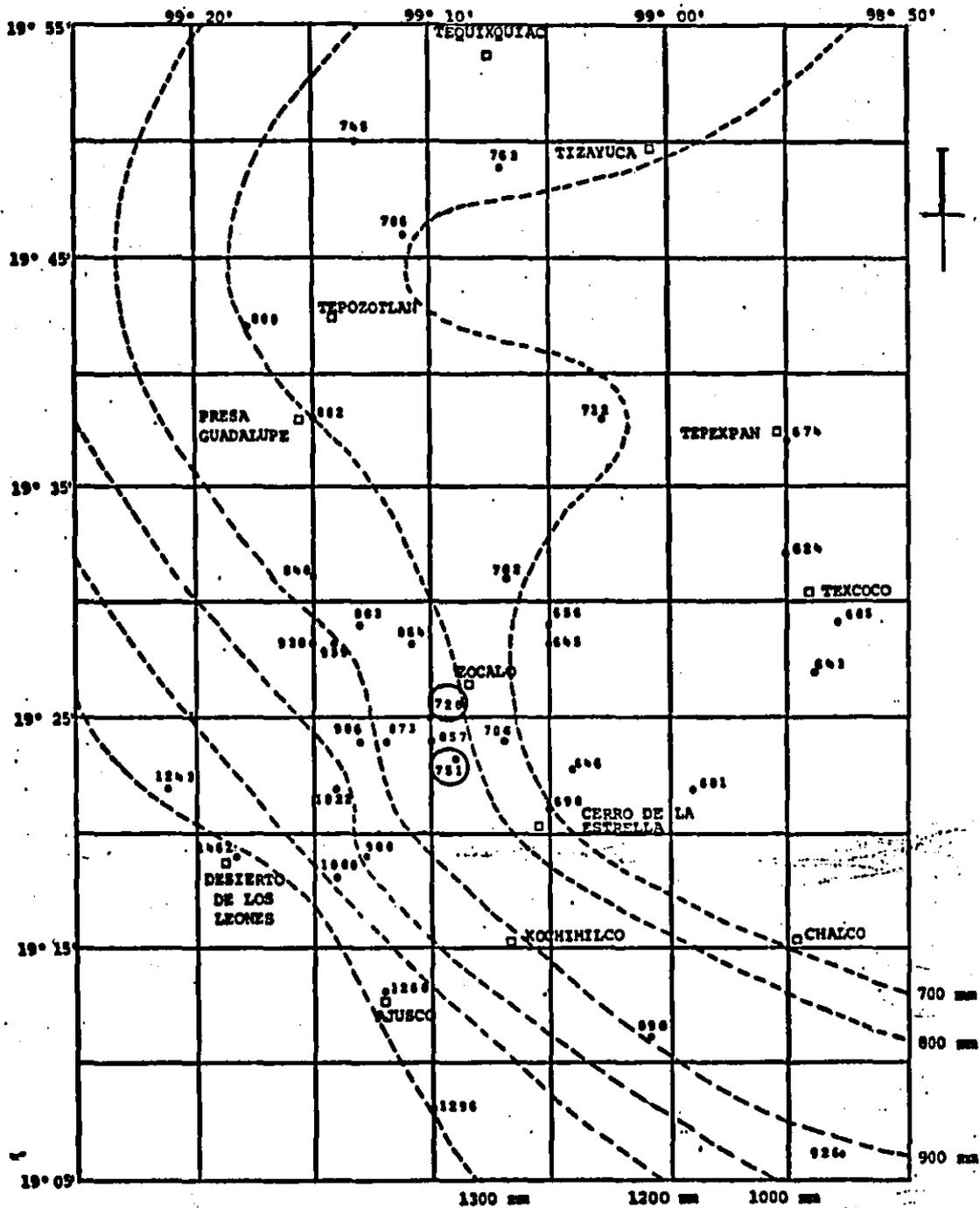


Fig 2.1 Plano de isoyetas para $d = 1$ año y $T_A = 5$ años
Cuenca del Valle de México

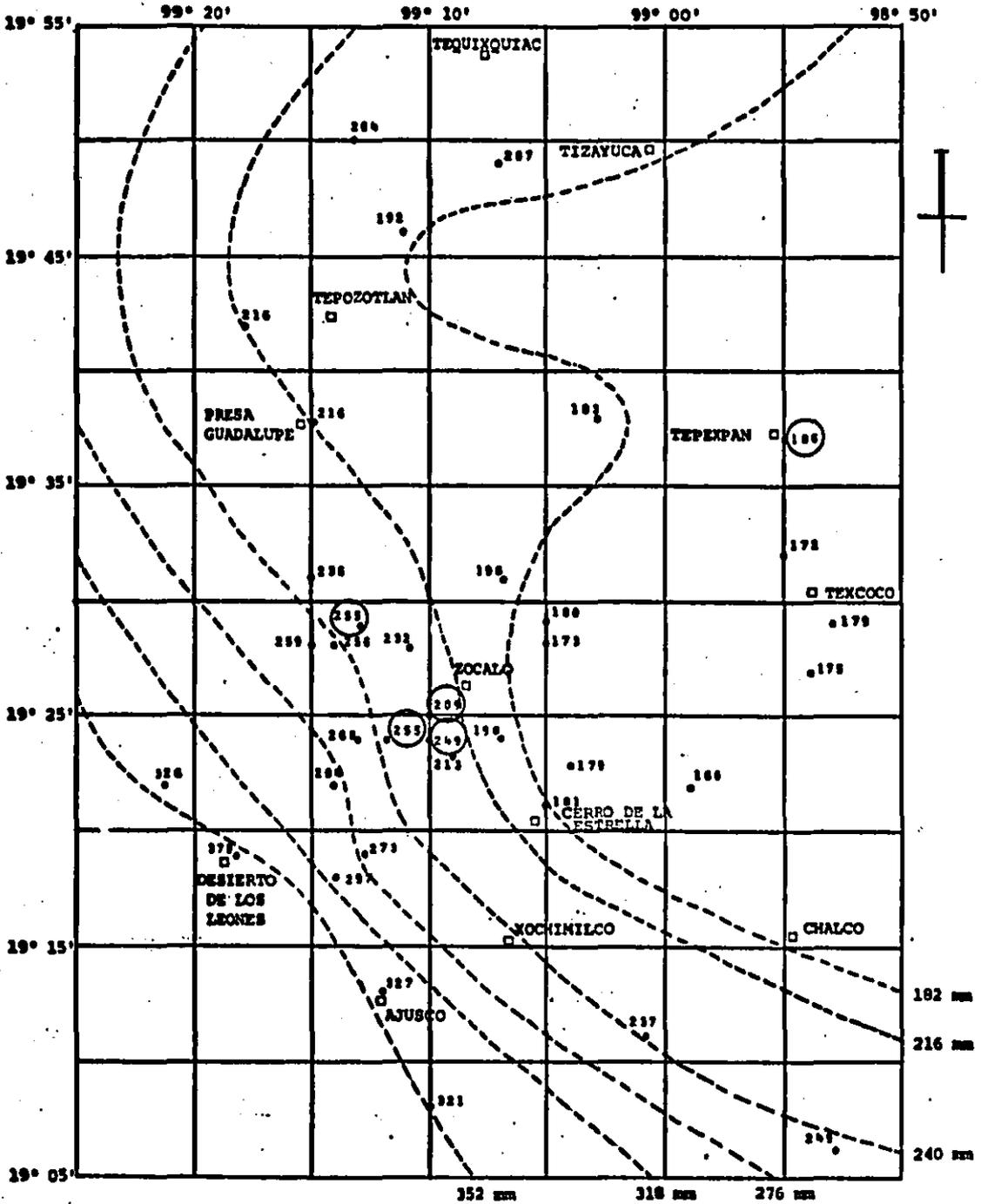


Fig 2.2 Plano de isoyetas para $d = 1$ mes y $T_A = 5$ años
Cuenca del Valle de México

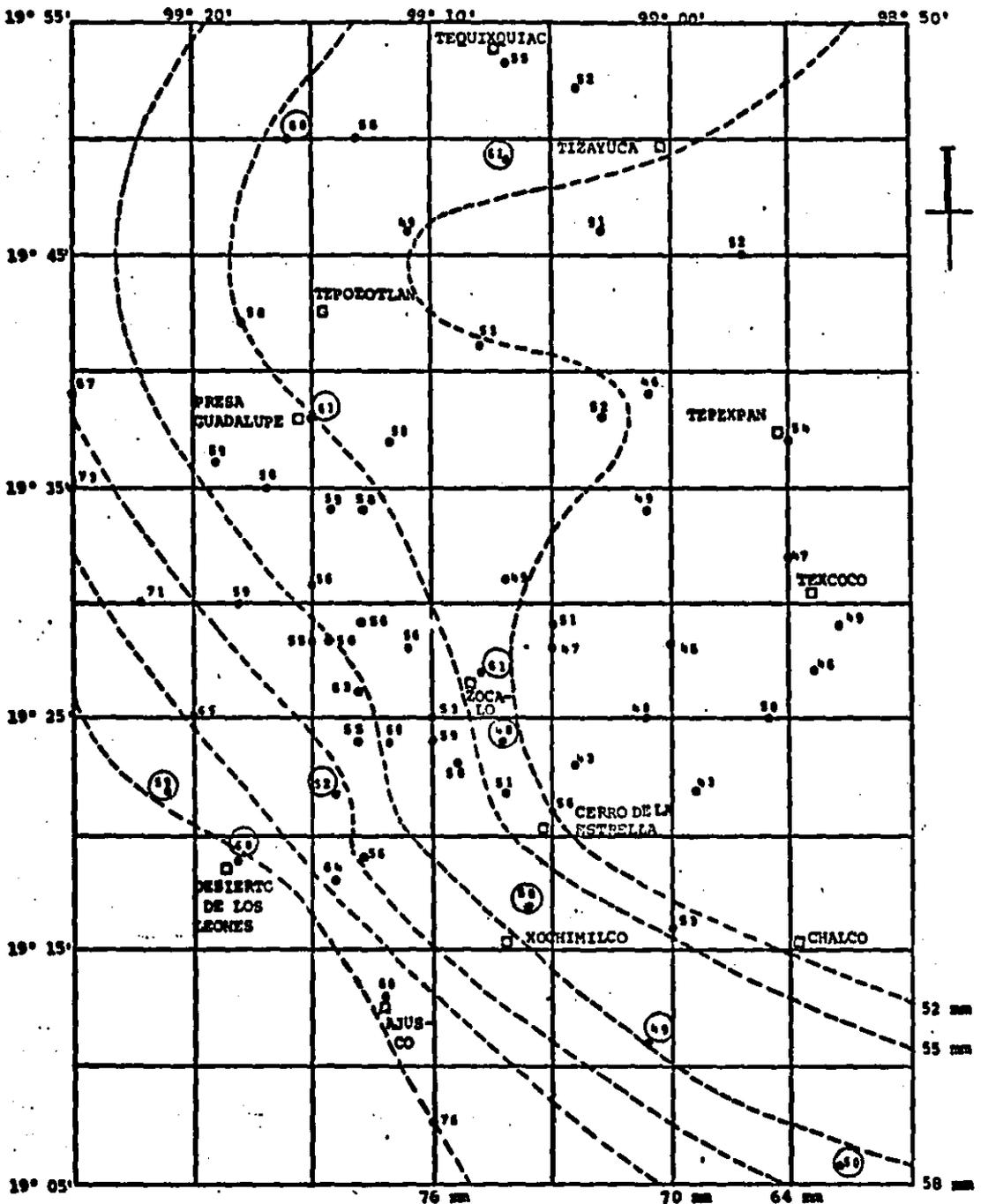


Fig 2.3 Plano de isoyetas para $d = 24$ horas y $T\Delta = 5$ años
Cuenca del Valle de México

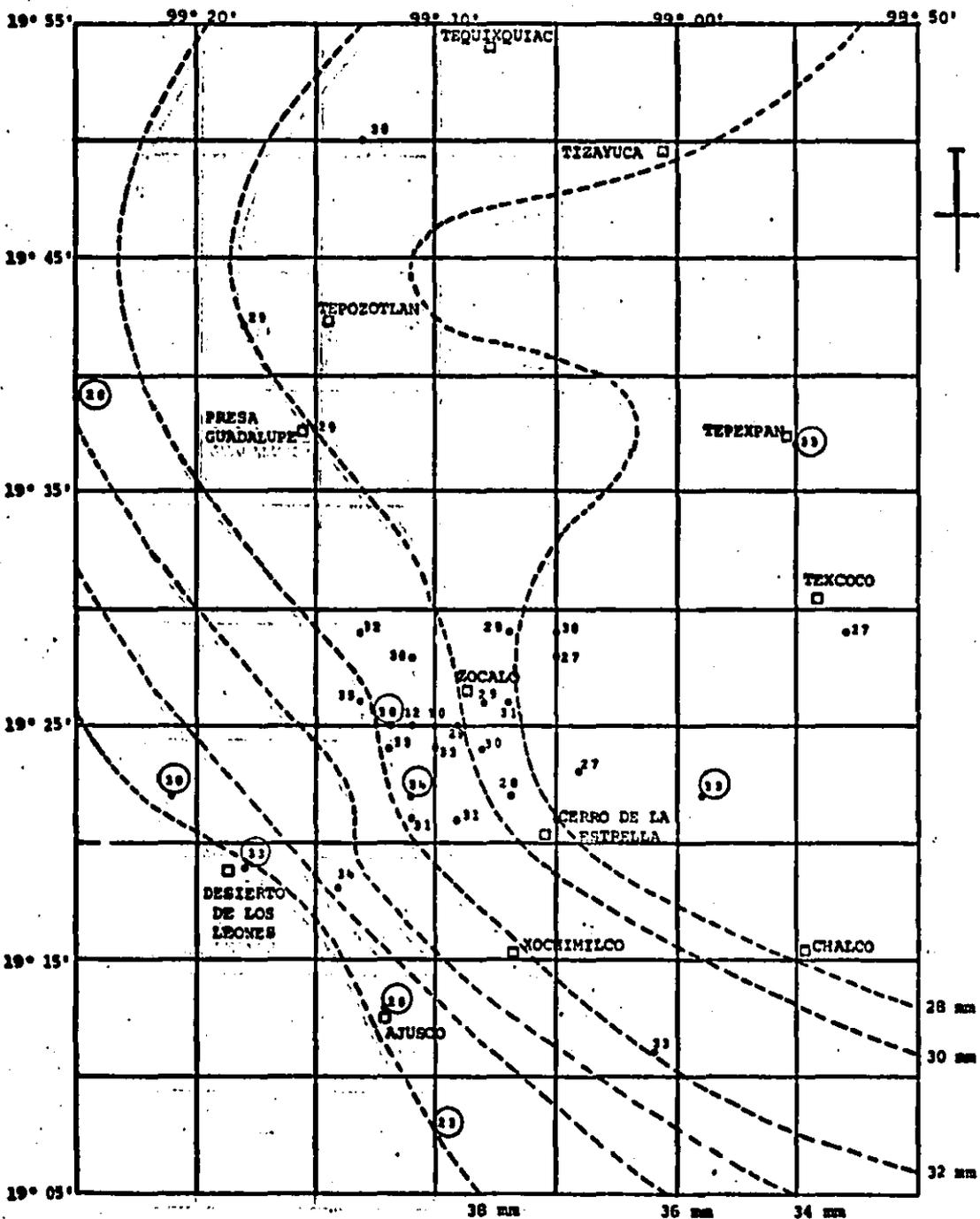


Fig 2.4 Plano de isoyetas para $d = 30$ min y $T_r = 5$ años

Cuenca del Valle de México

3.- FACTORES DE AJUSTE POR DURACION Y PERIODO DE RETORNO

Con los resultados de la regionalización de lluvias máximas, indicadas en las figs 2.3 y 2.4, únicamente se puede obtener, para cualquier punto de la Cuenca del Valle de México, la precipitación máxima asociada a un periodo de retorno de 5 años y duraciones de 24 horas y 30 minutos respectivamente. En consecuencia, para ampliar su rango de aplicación se procede a calcular los factores de ajuste por duración y periodo de retorno, procedimiento por medio del cual es posible determinar las precipitaciones para cualquier otra duración y periodo de retorno.

3.1 Factor de ajuste por duración

En relación a este factor, en los párrafos siguientes se encuentran los conceptos más importantes que intervienen en su definición.

- a) La secuencia de cálculo se efectúa con la hipótesis de que los factores son iguales en todos los puntos de la cuenca, hecho que se puede fundamentar y justificar con los resultados obtenidos de la regionalización de precipitaciones máximas de la zona de estudio.
- b) Para establecer sus valores definitivos, hay que comprobar, mediante un análisis estadístico de precipitaciones, si los factores de ajuste para cada duración son únicos en toda la cuenca, es decir si son o no independientes del punto en estudio.
- c) El análisis anterior tienen por objeto determinar si el factor de ajuste por duración, en la cuenca de estudio, es único o bien se tienen que calcular factores para diferentes rangos de duración.
- d) Diversos estudios (ver refs 3 y 5), han analizado con detalle este concepto, definiendo dos grupos de factores de ajuste: uno para duraciones menores de 2 horas y el otro para duraciones comprendidas entre 4 y 24 horas.
- e) En resumen, en este estudio se indican los dos factores de ajuste por duración obtenidos en las referencias citadas, cuyas características son las siguientes:
- 1.- El primero, se estimó con los registros plu-

viográficos de las estaciones climatológicas y se puede utilizar para calcular tormentas de diseño concentradas, aisladas y de corta duración, es decir con duraciones menores de 2 horas, ($d \leq 2h$)

2.- El segundo, se determinó con las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas y se utiliza para calcular tormentas de diseño asociadas a áreas relativamente grandes donde las condiciones de precipitación corresponden a tormentas que abarcan una extensión grande y larga duración ($4h \leq d \leq 24h$)

Los factores correspondientes a cada duración se indican en las figs 3.1 y 3.2, incluyéndose adicionalmente los resultados encontrados para la República de Cuba y los propuestos por Bell (ref 1) para lluvias de tipo convectivo. Comparando dichos resultados, se deduce que existe semejanza entre los factores de ajuste asociados a duraciones cortas, observándose sin embargo diferencias significativas a medida que la tormenta tiene una duración más larga. Posible causa de estas variaciones es que, para duraciones largas, probablemente las precipitaciones máximas no correspondan a tormentas convectivas aisladas, sino más bien sean producto de otro tipo de fenómeno meteorológico como son, por ejemplo, los ciclones.

3.2 Factor de ajuste por periodo de retorno

La hipótesis utilizada para definir este factor, estipula que debe existir independencia entre los tres elementos siguientes: ubicación de la estación, duración de la tormenta y tamaño del área analizada. La validez de esta hipótesis deberá comprobarse con los resultados obtenidos en este análisis.

Los factores de ajuste por periodo de retorno, se obtuvieron siguiendo los siguientes pasos.

- a) Para estimar este factor, es necesario tener información de precipitaciones registradas con una duración de 24 horas.
- b) De la red climatológica del Valle de México, únicamente se eligieron aquellas estaciones que tuvieron un número suficiente de años de registro simultáneo.
- c) En cada estación, se seleccionó la precipitación máxima anual para una duración de 24 horas, durante sus correspondientes años de registro.
- d) A cada conjunto de precipitaciones, se le ajustaron diferentes funciones de distribución de probabilidad (Gumbel, exponencial, gamma, etc), eligiendo aquella función que mejor se ajuste a los datos.

- e) Con la función de distribución ajustada (exponencial), se calcularon, para cada estación, los valores de precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno. Los resultados se muestran en la tabla 3.1 .
- f) Para calcular los factores de ajuste, se escogió como base la precipitación asociada a un periodo de retorno de 5 años, dato utilizado para construir el plano de isoyetas. Posteriormente, este valor se dividió entre las precipitaciones asociadas a las otras duraciones, definiendo de esta forma los factores de ajuste para los diferentes periodos de retorno. La tabla 3.2, indica los resultados anteriores.
- g) Se comprobó mediante un análisis estadístico, que los factores de ajuste, estimados en el inciso anterior, son únicos para la zona en estudio, descartando la posibilidad de establecer otras curvas de ajuste, en especial en aquellos lugares donde se presentaron los valores máximos. El análisis consistió en calcular, para cada conjunto de factores de ajuste y su respectivo periodo de retorno, el coeficiente de variación, parámetro que permite comparar el porcentaje de variación que se presenta entre varios grupos de datos. Analizando los resultados, mostrados en la parte

inferior de la tabla 3.2, se observan pequeñas dispersiones deduciendo en consecuencia que los factores de ajuste por periodo de retorno, en la Cuenca del Valle de México, son bastante homogéneos.

- h) Finalmente, el factor de ajuste para cada periodo de retorno, se calculó con la media aritmética de todos sus valores respectivos. Estos resultados se muestran en la tabla 3.2 .

Analizando la fig 3.3, la cual muestra en forma conjunta los factores de ajuste definidos para la Cuenca del Valle de México, para la República de Cuba y el obtenido por Bell (ref 1), se deduce que entre estos tres resultados existe bastante homogeneidad.

Por otra parte, con los resultados de la tabla 3.2, se pudo comprobar parcialmente la validez de la hipótesis relativa a la independencia entre la ubicación de la estación y la duración de la tormenta. En efecto, únicamente se calculó el factor de ajuste para precipitaciones asociadas a una duración de 24 horas, sin embargo en ref 3, este mismo valor se comprueba para duraciones entre 0 y 24 horas. Respecto al tamaño del área que abarca una tormenta, no fué posible demostrar su independencia debido a la falta de información. Sin embargo, esta hipótesis se ha estudiado con detalle en otros sitios (refs 6 y 7), demostrando con los resultados su validez.

Se descartó la alternativa de establecer varias curvas de ajuste en el área de estudio, ya que de acuerdo con los resultados de la tabla 3.2, se obtuvo un factor de ajuste único para toda la región. Además, los valores máximos puntuales del factor de ajuste por periodo de retorno, de acuerdo con su distribución espacial, se encuentran dispersos por toda la zona en estudio, sin ninguna posibilidad de agruparlos. Por ejemplo, algunas de las estaciones con los valores máximos fueron: Ajusco (Pueblo), D.F., El Guarda, D.F., Chapingo, Méx., Huehuetoca, Méx., Juchitepec, Méx., Km 47 + 000 (Gran Canal), Méx., Presa Guadalupe, Méx., San Miguel Jagueyes, Méx. y Tepexpan, Méx.

Comparando los resultados de este trabajo y los de la ref 3, se observa la bondad de ajuste que se obtiene al determinar este parámetro. En efecto, las diferencias, entre los factores de ajuste de los dos estudios, son insignificantes, a pesar de que en este trabajo el número de estaciones fué muy significativo (más de 5 veces), tal como se muestra en la siguiente tabla:

ESTUDIO	No DE ESTACIONES	FACTOR DE AJUSTE				
		PERIODO DE RETORNO, en años				
		5	15	25	50	100
Manual de Hidráulica Urbana	12	1.0	1.30	1.43	1.60	1.78
Análisis de tormentas en el Valle de México	63	1.0	1.28	1.41	1.58	1.76

Por último, de acuerdo con la semejanza entre los resultados determinados para el Valle de México y su comparación con los de Bell, obtenidos para el Reino Unido y Australia, y los de la República de Cuba, se deduce que este método puede aplicarse a regiones de diferente tamaño, con un grado de confiabilidad satisfactorio.

Tabla 3.1.- Precipitación máxima, en mm, para diferentes periodos de retorno y duración de 24 horas

E S T A C I O N		Periodo de retorno, en años				
Nº	NOMBRE	5	15	25	50	100
1.	Ajusco (Pueblo), D.F.	68.2	90.2	100.4	114.3	128.2
3.	Azcapotzalco, D.F.	56.1	69.8	76.2	84.8	93.4
5.	Cinzel Nº 42, D.F.	48.2	59.8	65.2	72.6	79.9
6.	Col Agrícola Oriental, D.F.	43.1	53.0	57.7	63.9	70.2
7.	Col Del Valle, D.F.	58.2	72.9	79.7	89.0	98.3
8.	Col Escandón, D.F.	59.4	76.7	84.8	95.7	106.7
9.	Comisión Fed Electricidad, D.F.	52.6	67.1	73.9	83.1	92.2
12.	Desierto de los Leones, D.F.	68.4	86.0	94.1	105.2	116.3
13.	Desviación Alta al Pedregal, D.F.	64.4	80.0	87.3	97.2	107.0
16.	El Guarda, D.F.	75.6	100.7	112.4	128.3	144.1
17.	Ixtapalapa, D.F.	56.3	74.8	83.3	94.9	106.5
18.	Km 6 + 250 (Gran Canal), D.F.	50.6	65.5	72.4	81.8	91.2
21.	Milpa Alta, D.F.	60.2	79.2	88.0	100.0	111.9
23.	Mosqueta Nº 52, D.F.	60.6	74.6	81.1	89.9	98.8
24.	Moyoguarda, D.F.	50.4	66.5	73.9	84.0	94.1
25.	Presa Anzaldo, D.F.	56.4	70.1	76.4	85.0	93.6
26.	Presa Mixcoac, D.F.	52.3	64.3	69.9	77.4	85.0
27.	Presa Tacúbaya, D.F.	54.5	69.5	76.5	86.0	95.5
29.	San Juan de Aragón, D.F.	46.8	59.0	64.7	72.4	80.1
30.	Serv Meteorológico Nacional, D.F.	59.8	77.0	85.1	95.9	106.8
32.	Tecamachalco, D.F.	62.6	80.0	88.1	99.0	110.0
33.	Tlahuac, D.F.	53.2	68.2	75.2	84.7	94.2
34.	Unidad Modelo, D.F.	51.4	66.0	72.8	82.0	91.2
35.	Vertedor Milpa Alta, D.F.	48.8	63.7	70.6	80.0	89.4
51.	Calacoaya, Méx	55.7	70.1	76.8	85.9	95.0
52.	Campamento Plan Lago Tex., Méx	46.0	55.8	60.4	66.6	72.9
53.	Chapingo, Méx	48.6	65.7	73.7	84.5	95.3
54.	Chiconautla, Méx	45.7	56.6	61.7	68.6	75.5

55.	Chimalhuacan, Méx	49.7	64.5	71.3	80.6	89.9
56.	Col Vicente Guerrero, Méx.	58.8	74.5	81.8	91.7	101.6
57.	El Salitre, Méx	59.0	75.6	83.3	93.8	104.2
58.	El Tajo de Tequixquiac, Méx.	55.5	67.2	75.7	80.1	87.5
59.	El Tejocote, Méx	46.0	59.7	66.0	74.6	83.3
60.	Huehuetoca, Méx	56.5	75.6	84.5	96.5	108.6
61.	Hixquilucan, Méx	59.1	72.9	79.3	88.1	96.8
62.	Juchitepec, Méx	49.6	66.2	73.9	84.4	94.9
63.	Km 2 + 120 (Pta Bomba), Méx	48.5	61.9	68.1	76.5	84.9
64.	Km 27 + 250 (Gran Canal), Méx	52.1	66.1	72.6	81.4	90.2
65.	Km 47 + 000 (Gran Canal), Méx	60.9	82.0	91.8	105.1	118.4
66.	La Magdalena Chichicarpa, Méx	64.5	79.2	86.0	95.3	104.6
67.	Las Arboledas, Méx	58.0	75.1	83.0	93.8	104.5
68.	Los Reyes, La Paz, Méx	42.6	55.5	61.5	69.6	77.7
69.	Molinito, Méx	57.8	72.4	79.2	88.5	97.7
70.	Molino Blanco, Méx	56.0	71.0	78.0	87.5	96.9
71.	Netzahualcoyotl, Méx	48.4	60.5	66.1	73.7	81.3
72.	Presa Concepción, Méx	57.9	75.2	83.3	94.2	105.1
73.	Presa Guadalupe, Méx	61.4	83.9	94.3	108.4	122.6
74.	Presa Las Ruinas, Méx	58.0	71.3	77.5	85.9	94.3
75.	San Andrés, Méx	46.8	57.8	62.9	69.9	76.8
76.	San Jerónimo Xonacahuacan, Méx	51.9	67.0	74.1	83.6	93.2
77.	San Juan Ixhuatepec, Méx	49.1	60.9	66.3	73.7	81.1
78.	San Luis Ayucan, Méx	71.4	90.7	99.7	111.9	124.1
79.	San Marcos Jilotzingo, Méx	52.0	67.6	74.9	84.7	94.6
80.	San Martín Obispo, Méx	50.2	63.1	69.1	77.3	85.5
81.	San Mateo Acuitlapilco, Méx	50.6	64.5	71.0	79.9	83.7
82.	San Mateo Tecoloapan, Méx	58.9	74.3	81.4	91.1	100.8
83.	San Miguel Jagueyes, Méx	59.8	81.2	91.2	104.7	118.2
84.	Sta Ma Magdalena Cahuacan, Méx	66.8	84.7	93.0	104.3	115.6
85.	Santiago Tlazala, Méx	72.9	91.7	100.5	112.4	124.3
86.	Santo Tomás, Méx	49.2	64.1	71.0	80.4	89.8
87.	Tepexpan, Méx	54.0	72.0	80.4	91.7	103.1
88.	Totolica, Méx	54.6	67.7	73.8	82.0	90.3
89.	Tultepec, Méx	53.3	65.2	70.8	78.3	85.8
	X	55.5	70.9	78.1	87.8	97.5
	S	7.2	9.7	10.9	12.7	14.5
	Cv	0.13	0.14	0.14	0.14	0.15

Tabla 3.2.- Factores de ajuste para diferentes periodos de retorno.

E S T A C I O N		Periodo de retorno, en años				
Nº	NOMBRE	5	15	25	50	100
1.	Ajusco (Pueblo), D.F.	1.0	1.323	1.472	1.676	1.880
3.	Azcapotzalco, D.F.	1.0	1.244	1.358	1.512	1.665
5.	Cíncel N° 42, D.F.	1.0	1.241	1.353	1.506	1.658
6.	Col Agrícola Oriental, D.F.	1.0	1.230	1.339	1.483	1.629
7.	Col Del Valle, D.F.	1.0	1.253	1.369	1.529	1.689
8.	Col Escandón, D.F.	1.0	1.291	1.428	1.611	1.796
9.	Comisión Fed. Electricidad, D.F.	1.0	1.276	1.405	1.580	1.753
12.	Desierto de los Leones, D.F.	1.0	1.257	1.376	1.538	1.700
13.	Desviación Alta al Pedregal, D.F.	1.0	1.242	1.356	1.509	1.661
16.	El Guarda, D.F.	1.0	1.332	1.487	1.697	1.906
17.	Ixtapalapa, D.F.	1.0	1.329	1.480	1.686	1.892
18.	Km 6+250 (Gran Canal), D.F.	1.0	1.294	1.431	1.617	1.802
21.	Milpa Alta, D.F.	1.0	1.316	1.462	1.661	1.859
23.	Mosqueta N° 52, D.F.	1.0	1.231	1.338	1.483	1.630
24.	Moyoguarda, D.F.	1.0	1.319	1.466	1.667	1.867
25.	Presa Anzaldo, D.F.	1.0	1.243	1.355	1.507	1.660
26.	Presa Mixcoac, D.F.	1.0	1.229	1.337	1.480	1.625
27.	Presa Tacubaya, D.F.	1.0	1.275	1.404	1.578	1.752
29.	San Juan de Aragón, D.F.	1.0	1.261	1.382	1.547	1.712
30.	Serv. Meteorológico Nacional, D.F.	1.0	1.288	1.423	1.604	1.786
32.	Tecamachalco, D.F.	1.0	1.278	1.407	1.581	1.757
33.	Tlahuac, D.F.	1.0	1.282	1.414	1.592	1.771
34.	Unidad Modelo, D.F.	1.0	1.284	1.416	1.595	1.774
35.	Vertedor Milpa Alta, D.F.	1.0	1.305	1.447	1.639	1.832
51.	Calacoaya, Méx	1.0	1.259	1.379	1.542	1.706
52.	Campamento Plan Lago Tex, Méx	1.0	1.213	1.313	1.448	1.585
53.	Chapingo, Méx	1.0	1.352	1.516	1.739	1.961
54.	Chiconautla, Méx.	1.0	1.239	1.350	1.501	1.652
55.	Chimalhuacan, Méx	1.0	1.298	1.435	1.622	1.809
56.	Col Vicente Guerrero, Méx	1.0	1.267	1.391	1.560	1.728

57.	El Salitre, Méx	1.0	1.281	1.412	1.590	1.766
58.	El Tajo de Tequixquiac, Méx	1.0	1.211	1.364	1.443	1.577
59.	El Tejocote, Méx	1.0	1.298	1.435	1.622	1.811
60.	Huehustoca, Méx	1.0	1.338	1.496	1.708	1.922
61.	Huixquilucan, Méx	1.0	1.234	1.342	1.491	1.638
62.	Juchitepec, Méx	1.0	1.335	1.490	1.702	1.913
63.	Km 2 + 120 (Pta Bombas), Méx	1.0	1.276	1.404	1.577	1.751
64.	Km 27 + 250 (Gran Canal), Méx	1.0	1.269	1.393	1.562	1.731
65.	Km 47 + 000 (Gran Canal), Méx	1.0	1.346	1.507	1.726	1.944
66.	La Magdalena Chichicasta, Méx	1.0	1.228	1.333	1.478	1.622
67.	Las Arboledas, Méx	1.0	1.295	1.431	1.617	1.802
68.	Los Reyes, La Paz, Méx	1.0	1.303	1.444	1.634	1.824
69.	Molinero, Méx	1.0	1.253	1.370	1.531	1.690
70.	Molino Blanco, Méx	1.0	1.268	1.393	1.563	1.730
71.	Netzahualcoyotl, Méx	1.0	1.250	1.366	1.523	1.680
72.	Presa Concepción, Méx	1.0	1.299	1.439	1.627	1.815
73.	Presa Guadalupe, Méx	1.0	1.366	1.536	1.765	1.997
74.	Presa Las Ruinas, Méx	1.0	1.229	1.336	1.481	1.626
75.	San Andrés, Méx	1.0	1.235	1.344	1.494	1.641
76.	San Jerónimo Xonacahuacan, Méx	1.0	1.291	1.428	1.611	1.796
77.	San Juan Ixhuatepec, Méx	1.0	1.240	1.350	1.501	1.652
78.	San Luis Ayucan, Méx	1.0	1.270	1.396	1.567	1.738
79.	San Marcos Jilotzingo, Méx	1.0	1.300	1.440	1.629	1.819
80.	San Martín Obispo, Méx	1.0	1.257	1.376	1.540	1.703
81.	San Mateo Acuitlapilco, Méx	1.0	1.275	1.403	1.579	1.753
82.	San Mateo Tecoloapan, Méx	1.0	1.261	1.382	1.547	1.711
83.	San Miguel Jagüeyes, Méx	1.0	1.358	1.525	1.751	1.977
84.	Sta Ma Magdalena Cahuacan, Méx	1.0	1.268	1.392	1.561	1.731
85.	Santiago Tlazala, Méx	1.0	1.258	1.379	1.542	1.705
86.	Santo Tomás, Méx	1.0	1.303	1.443	1.634	1.825
87.	Tepexpan, Méx	1.0	1.333	1.489	1.698	1.909
88.	Totolica, Méx	1.0	1.240	1.352	1.502	1.654
89.	Tultepec, Méx	1.0	1.223	1.328	1.469	1.610
	X	1.0	1.277	1.406	1.580	1.755
	S	0.0	0.038	0.055	0.080	0.104
	Cv	0.0	0.030	0.039	0.051	0.059
	FACTOR DE AJUSTE	1.0	1.28	1.41	1.58	1.76

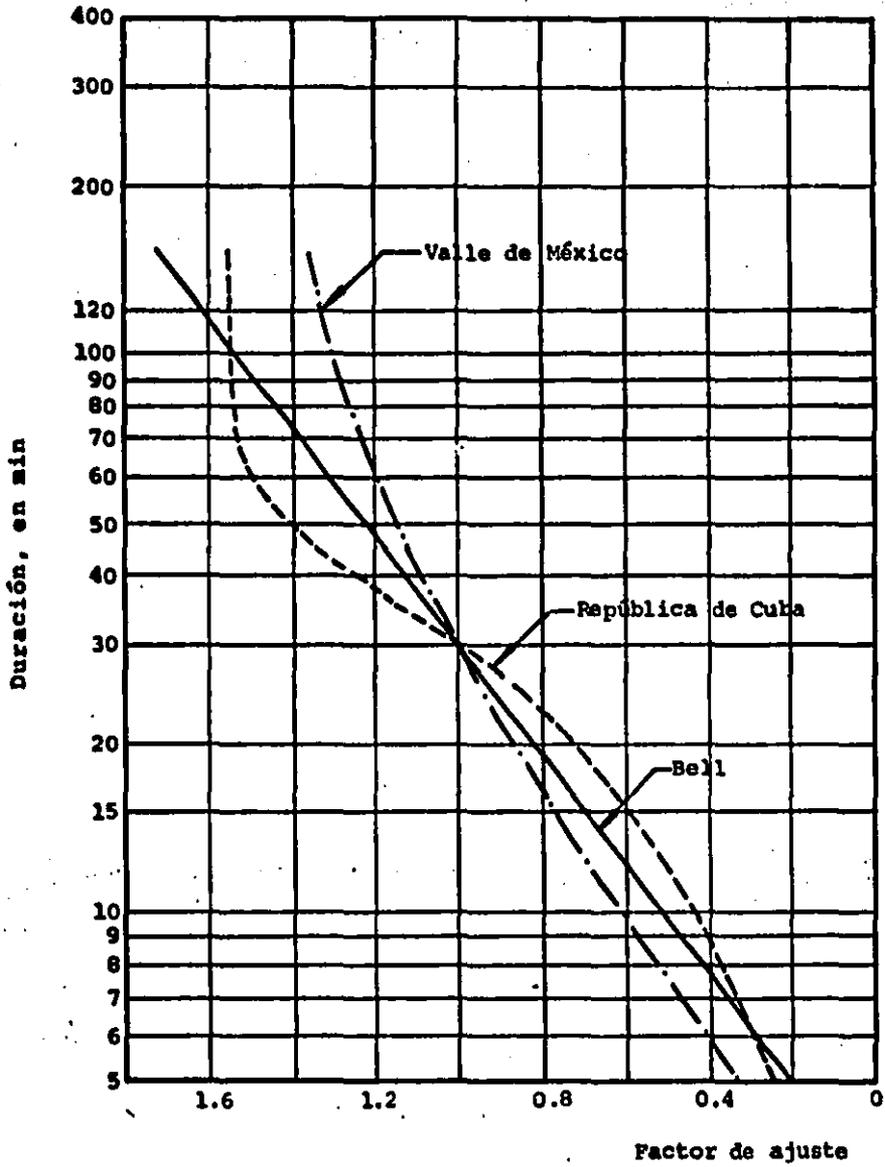


Fig 3.1 Factor de ajuste por duración

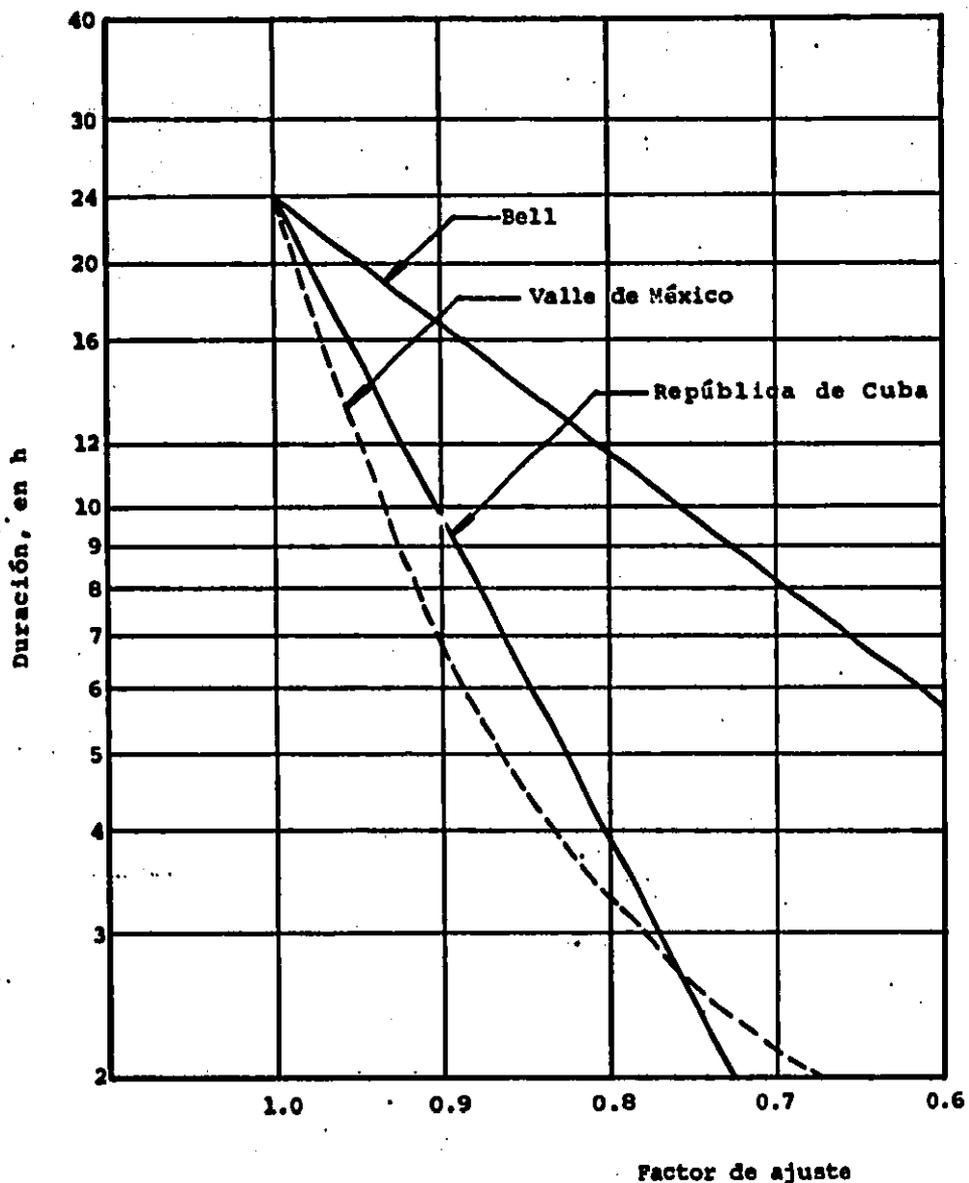


Fig 3.2 Factor de ajuste por duración

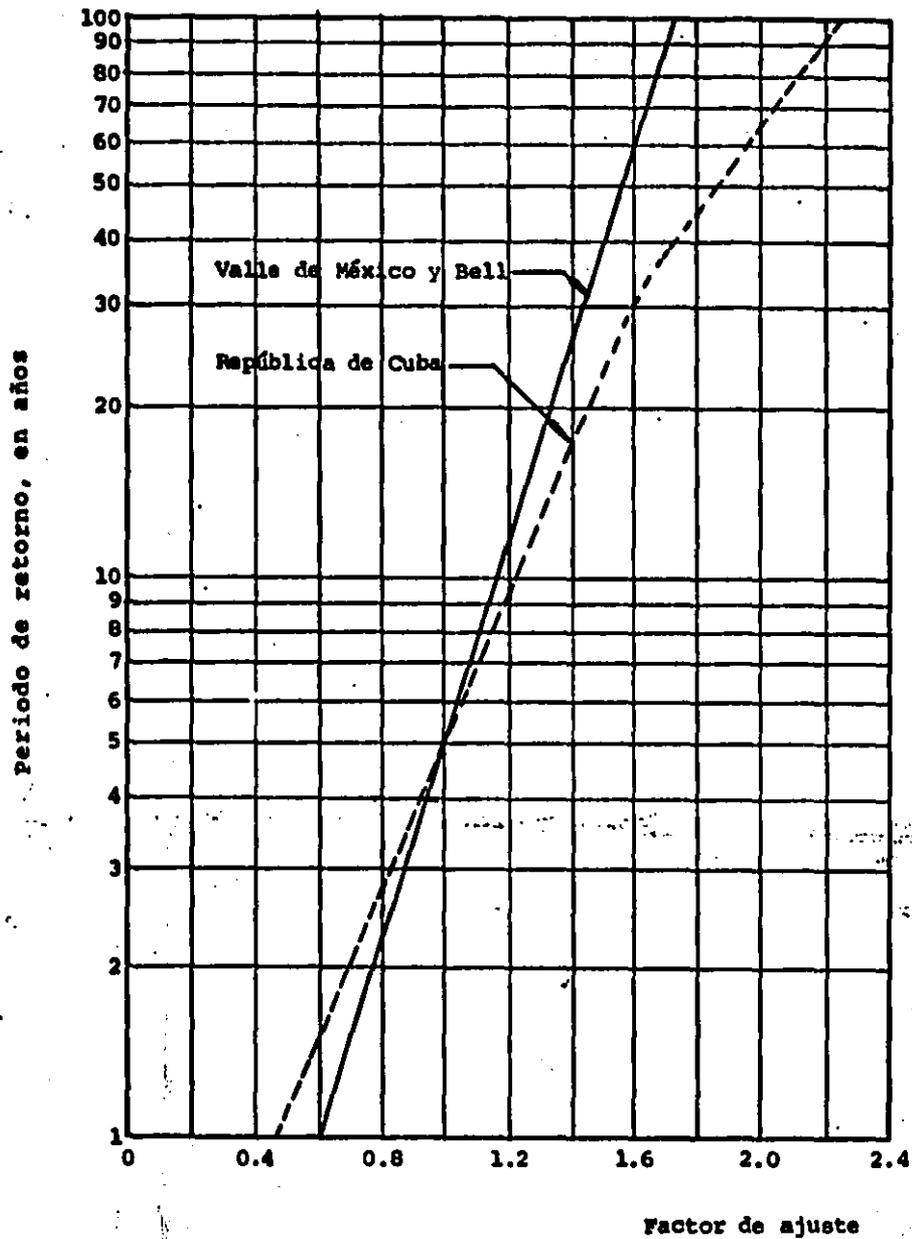


Fig 3.3 Factor de ajuste por periodo de retorno

4.- FACTOR DE AJUSTE POR AREA

4.1 Introducción

Con los resultados de los dos incisos anteriores (regionalización de lluvias máximas y factores de ajuste por duración y periodo de retorno), únicamente se puede calcular la precipitación máxima que ocurre en cualquier punto de la región. Sin embargo, al realizar el estudio hidrológico de una cuenca, es común estimar la precipitación media que cae sobre porciones de ella, motivo por el cual es necesario estimar el factor de ajuste por área válido para una duración determinada. Con este factor se reduce la precipitación puntual máxima a un valor medio sobre un área dada.

El proceso para definir el factor de ajuste por área en una cuenca, consiste en seleccionar un conjunto de tormentas, y calcular para cada una de ellas la relación entre la precipitación media y la precipitación puntual máxima,

asociada a diversas áreas. Estos resultados varían para cada una de las tormentas, pero en promedio esa relación tiende a valores estables, situación que a su vez depende del área de la cuenca y del periodo de retorno de la lluvia.

El análisis anterior indica que las variables involucradas en este proceso son : precipitación, periodo de retorno y área. No obstante, según diversos estudios realizados al respecto (ref 2), el factor de reducción por área es aproximadamente constante para cualquier periodo de retorno, originando en consecuencia que el factor dependa solamente del área de la cuenca.

Para calcular el factor de ajuste por área en una región, se puede utilizar el método de tormentas centradas o el de áreas fijas. Sus características principales son las siguientes:

4.2 Factor de ajuste por área con tormentas centradas

Este criterio se denomina de tormenta centrada, debido a que el área en estudio se ubica de tal forma que el valor máximo de la lluvia puntual quede en medio de ella. Lo anterior implica que la magnitud del área que abarca una tormenta quede determinada por la forma de las isoyetas, y que además, la extensión sea variable para cada tormenta.

El proceso para definir este factor es el siguiente:

- a) En primer término, se construye el plano de isoyetas correspondientes a un conjunto de tormentas asociadas a una duración dada.
- b) Posteriormente, se calcula la altura de precipitación media para cada una de las porciones de área encerrada entre dos isoyetas sucesivas.
- c) Con los resultados anteriores, se obtiene un conjunto de gráficas que relacionan la altura de precipitación media y el área total que abarca cada tormenta.
- d) Tomando como base las figuras anteriores, se calcula, para un área de interés (A_i), la relación entre la precipitación media y la precipitación puntual máxima (máximo valor puntual de la tormenta).
- e) Para el área parcial anterior, se calcula el factor de reducción por área (FRA) como un promedio de todos los valores estimados.
- f) El proceso descrito se aplica para diferentes áreas, obteniéndose el factor de reducción por área correspondiente.

Este criterio, tiene una aplicación restringida en hidrología urbana, debido a las dos desventajas siguientes:

- .. Se proporciona un grado de seguridad adicional al diseñar un sistema de drenaje urbano, ya que de acuerdo con su hipótesis principal (centrar la tormenta en el

área de estudio), se maximiza tanto el valor de la precipitación media como el factor de reducción por área.

. Al efectuarse un análisis individual para cada tormenta, se supone que los valores de la precipitación puntual máxima y precipitación media máxima son dependientes, es decir que coinciden en el tiempo.

4.3 Factor de ajuste por área con áreas fijas

La característica principal de este criterio es que el área de la cuenca en estudio permanece fija. Con esta suposición se logra que la ocurrencia de la precipitación puntual máxima y de la precipitación media máxima, no necesariamente coincida y se calculen, por consiguiente, en forma independiente.

Uno de los procedimientos para calcular el factor de reducción, para un área y duración dados (ver ref 7), es el siguiente:

- a) Se selecciona, para cada año k , el día en que ocurrió la precipitación media máxima en el área de estudio.
- b) Para el mismo día, se determina la precipitación $P_1^k, P_2^k, \dots, P_m^k$, en cada una de las estaciones $1, 2, \dots, m$ que se encuentran ubicadas en el área dada.
- c) Con los registros de cada estación i , se obtiene para cada año k , la precipitación puntual máxima, $(P_{máx})_i^k$.
- d) Se calcula el factor de reducción, para cada estación i y cada año k , con la siguiente relación:

$$(FRA)_i^k = \frac{\bar{P}_i^k}{(P_{m\acute{a}x})_i^k}$$

e) Finalmente, se estima el factor de reducci3n (FRA) asociado al 3rea y duraci3n dadas como un promedio de todos los valores individuales, con la siguiente expresi3n:

$$FRA = \frac{M}{\sum_{i=1}^M} \frac{N}{\sum_{k=1}^N} \left[\frac{(FRA)_i^k}{N \cdot M} \right]$$

donde:

FRA factor de reducci3n por 3rea

N n3mero total de a3os

M n3mero total de estaciones

El m3todo anterior tiene dos problemas b3sicas, cuyas caracterfsticas son las siguientes:

- Es necesario tener en la regi3n de estudio una informaci3n excesiva
- Se pueden obtener factores de reducci3n mayores que los reales, cuando la precipitaci3n puntual m3xima en una estaci3n y la precipitaci3n media m3xima en el 3rea ocurren el mismo d3a. En este caso el factor de reducci3n ser3 igual a la undad.

4.4 Factor de ajuste por área para el Valle de México

Debido a la poca información disponible, el Instituto de Ingeniería desarrolló un criterio para estimar el factor de reducción por área (ver ref 3), basado en áreas fijas. La característica principal de este método consiste en definir áreas fijas en la zona de estudio, a través de círculos concéntricos. El lugar seleccionado como centro de las áreas fijas fue el primer cuadro de la Ciudad de México, trazándose en este sitio círculos con áreas de 80, 220, 400, 600 y 820 km², respectivamente. Posteriormente, para cada una de las tormentas seleccionadas para el análisis, se calcularon las precipitaciones media y máxima puntual en cada una de las áreas consideradas. Finalmente, se calculó el cociente de las dos precipitaciones anteriores, obteniéndose de esta forma el factor de reducción por área.

Para definir el factor de reducción, en este estudio, se aplicó un método similar al anterior, introduciendo algunas modificaciones adicionales. A continuación se describe el procedimiento para su definición.

- a) Se calculó el área de influencia, de cada estación ubicada en la cuenca, con el método de Thiessen. La fig 4.1, muestra los resultados y la tabla 4.1, indica las características de las estaciones utilizadas para definir los polígonos de Thiessen.

- b) Para este análisis se utilizó la información (ver ref 9) de sesenta y ocho tormentas con una duración de 24 horas, registradas en el Valle de México del año 1968 a 1973.
- c) De la información anterior, únicamente se seleccionaron las tormentas que de acuerdo con su volumen llovido fueron las más importantes.
- d) Se determinó el lugar geográfico en donde ocurrieron las precipitaciones puntuales máximas de las tormentas anteriores.
- e) Estos valores se agruparon con mayor frecuencia alrededor de las estaciones Desviación Alta al Pedregal, D.F., La Venta, D.F., Col Del Valle, D.F. y Las Arboledas, Méx.
- f) Los cuatro puntos anteriores se eligieron como centro de las áreas fijas, trazando en cada uno de ellos círculos con áreas de 13, 50, 113, 201, 314, 616 y 1018 km², respectivamente. Las figs 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5, muestran las áreas fijas trazadas en cada uno de los puntos seleccionados.
- g) Las tormentas asignadas a cada uno de los centros se indican en la tabla 4.2. Esta asignación se determinó en función de la distancia entre el centro y el punto donde ocurrió la precipitación puntual máxima de la tormenta, estableciendo que dicha distancia no fuese mayor de 12 km.

- h) Para cada una de las tormentas, se calculó la precipitación media y la precipitación puntual máxima en sus respectivas áreas fijas, obteniéndose posteriormente la relación entre ellas. En la tabla 4.3, se muestra a modo de ejemplo el proceso de cálculo efectuado en el centro Las Arboledas, Méx, aplicando el método descrito anteriormente. El resumen general de cada centro se indica en las tablas 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7 .
- i) Finalmente, en la tabla 4.8 se muestran los valores medios obtenidos para cada centro y sus correspondientes áreas fijas, incluyéndose además la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Este factor de reducción se ha analizado en varios estudios, habiéndose encontrado valores diferentes. En efecto, en la fig 4.6 se muestra en forma conjunta los resultados obtenidos en este trabajo, los determinados por el método de tormentas centradas (ver ref 4) y el estimado según la ref 3, que es una combinación de los métodos de tormentas centradas y áreas fijas. Para realizar una comparación con los resultados anteriores se incluye en la misma gráfica los valores calculados por Bell para el Reino Unido, determinados por el método de áreas fijas.

4.5 Conclusiones

A continuación se describen algunas de las características observadas al determinar el factor de reducción por el método de áreas fijas, utilizado en este estudio.

En primer término, para asignar a cada centro las tormentas correspondientes, se tomó en cuenta que la distancia entre dicho centro y la precipitación puntual máxima, estuviese lo más cerca posible del primer punto. En efecto, si se asignaba a un centro, una tormenta cuya precipitación puntual se encontraba muy alejada, se obtenían factores de reducción fuera de lo normal. Para evitar esas variaciones se fijó un límite entre 0 km (tormentas centradas en las áreas fijas) y 12 km.

La característica primordial de las tormentas convectivas que con mayor frecuencia se presentan en el Valle de México, es que la magnitud del área que abarca una tormenta es de poca extensión. Esta situación se refleja claramente al comparar los resultados obtenidos en este caso, con los valores determinados en otras partes del mundo (refs 2 y 8). Si se analiza la fig 4.6, se observa que el factor de reducción decrece rápidamente, ya que este valor se reduce al 50% en un área de 250 km², mientras que según Bell (ref 2) para la misma área en Gran Bretaña, el factor equivale a 0.91 .

En relación a los centros ubicados en las estaciones La Venta, D.F. y Desviación Alta al Pedregal, D.F., al trazar sus respectivas áreas fijas porciones de ellas quedaron ubicadas fuera de la Cuenca del Valle de México, tal como puede observarse en las figs 4.2 y 4.3 . Como consecuencia de esto, al estimar el factor de reducción de cada área fija, en los dos casos anteriores, únicamente se to

maron en cuenta, para el cálculo de este valor, aquellas áreas localizadas por completo dentro del parteaguas de la cuenca. En virtud de lo anterior, al calcular los factores de reducción promedio se eliminaron los valores de aquellas áreas fijas incompletas, tal como puede verse en la tabla 4.8 . Por último, se analizó la alternativa de calcular los valores medios desechando los factores de reducción de los dos centros anteriores, obteniéndose errores despreciables del orden de 4%.

Analizando la tabla 4.8, la cual muestra los factores de reducción promedio, se observa que a mayor área el factor de ajuste presenta un coeficiente de variación más grande. Del análisis realizado en cada centro, se desprende que esa fluctuación ha sido producida por la distribución tan irregular de las estaciones climatológicas en la cuenca de estudio. En efecto, la red actual de estaciones es bastante dispersa, tal como se muestra en la fig 4.1, situación que se refleja en el tamaño tan variable de las áreas de influencia de las estaciones. Para dar una idea de esta variación, en la zona más densa, correspondiente a la Ciudad de México, el área de influencia promedio de cada estación es del orden de 20 km², mientras que para las zonas más alejadas del centro de la ciudad, hay estaciones en las que su área de influencia sobrepasa los 100 km². Otro indicador relacionado con la dispersión de estaciones, en la zona de estudio, es la variación de su correspondiente densidad en cada una de las áreas fijas.

Calculando un valor promedio, se obtuvo el siguiente resultado:

Area (km ²)	Densidad (Estación/km ²)
13	6
50	6
113	9
201	11
314	12
616	18
1018	23

Por otra parte, los resultados obtenidos, utilizando toda la información disponible, fueron satisfactorios. En efecto, para calcular el factor de reducción por área es necesario tener suficiente información, sin embargo tal como se indicó en este mismo inciso, se analizó la alternativa de calcular los valores medios eliminando los factores de reducción de ocho tormentas, obteniéndose errores despreciables.

Finalmente, las conclusiones más importantes fueron las siguientes: el método utilizado para determinar, en este caso, el factor de reducción por área resultó ser bastante congruente y confiable y la limitación de la información disponible no es un elemento crítico, tal como lo demostró el análisis alternativo realizado al respecto

con los valores medios.

4.6 Proceso para determinar una tormenta de diseño en el Valle de México

A continuación se describe el procedimiento recomendado para calcular tormentas de diseño, que conjuntamente con un modelo lluvia-escorrentamiento, servirá de base para definir los hidrogramas de diseño. Con estos últimos se podrán diseñar estructuras de drenaje pluvial en cualquiera de las zonas urbanas, localizadas en el Valle de México.

- 1) Con las figs 2.3 ó 2.4, según que la duración requerida esté entre 4 y 24 h ó entre 0 y 2 h (para duraciones entre 2 h y 3 h es indiferente utilizar cualquiera de las dos figuras), se determina la precipitación base correspondiente a un periodo de retorno de 5 años.
- 2) Con las figs 3.1 y 3.2, según que la duración analizada esté entre 0 y 2 h ó entre 4 y 24 h, se calcula el factor F_1 para el ajuste por duración.
- 3) Se obtiene, con ayuda de la fig 3.3, el factor F_2 para pasar del periodo de retorno de 5 años al periodo de retorno escogido para el diseño.
- 4) Se determina el factor de reducción por área (FRA), utilizando la fig 4.6 .
- 5) Se calcula la precipitación asociada al área de la cuenca en estudio, para la duración y el periodo de re

torno deseados, multiplicando la precipitación base obtenida en el paso 1 por los factores F_1 , F_2 y FRA obtenidos en los pasos 2 a 4 .

Tabla 4.1.- Índice de Estaciones Climatológicas utilizadas para calcular los polígonos de Thiessen en el Valle de México.

ESTACION		COORDENADAS			
No	NOMBRE	Latitud	Norte	Longitud	Oeste
1.	Ajusco (Pueblo), D.F.	19°	13'	99°	12'
2.	Andalucía, D.F.	19°	24'	99°	08'
3.	Ascapotzalco, D.F.	19°	28'	99°	11'
4.	Av del Trabajo, D.F.	19°	26'	99°	07'
5.	Cinzel No 42, D.F.	19°	24'	99°	07'
6.	Col Agrícola Oriental, D.F.	19°	23'	99°	04'
7.	Col Del Valle, D.F.	19°	23'	99°	09'
8.	Col Escandón, D.F.	19°	24'	99°	10'
9.	Com Fed de Electricidad, D.F.	19°	25'	99°	10'
10.	Delegación Coyoacán, D.F.	19°	21'	99°	09'
11.	Depto del Distrito Federal	19°	26'	99°	08'
12.	Desierto de los Leones, D.F.	19°	19'	99°	18'
13.	Desviación Alta al Pedregal, D.F.	19°	18'	99°	14'
14.	División del Norte, D.F.	19°	24'	99°	10'
15.	Doctor Pascua No 75, D.F.	19°	25'	99°	09'
16.	El Guarda, D.F.	19°	08'	99°	10'
17.	Ixtapalapa, D.F.	19°	21'	99°	05'
18.	Km 6+250 (Gran Canal), D.F.	19°	29'	99°	05'
19.	La Condesa, D.F.	19°	25'	99°	11'
20.	La Fortuna, D.F.	19°	29'	99°	07'
21.	Milpa Alta, D.F.	19°	11'	99°	01'
22.	Monte Altai y Alpes, D.F.	19°	26'	99°	13'
23.	Mosqueta No 52, D.F.	19°	27'	99°	08'
24.	Moyoguarda, D.F.	19°	17'	99°	06'
25.	Presa Anzaldo, D.F.	19°	19'	99°	13'
26.	Presa Mixcoac, D.F.	19°	22'	99°	14'
27.	Presa Tacubaya, D.F.	19°	24'	99°	13'

28. San Angel, D.F.	19°	21'	99°	11'
29. San Juan de Aragón, D.F.	19°	28'	99°	05'
30. Serv Meteorológico Nal, D.F.	19°	24'	99°	12'
31. Talleres de Dolores, D.F.	19°	25'	99°	12'
32. Tecamachalco, D.F.	19°	26'	99°	13'
33. Tlahuac, D.F.	19°	16'	99°	00'
34. Unidad Modelo, D.F.	19°	22'	99°	07'
35. Vertedor Milpa Alta, D.F.	19°	11'	99°	01'
36. Delegación Mixcoac, D.F.	19°	22'	99°	11'
37. Calvario No 61, D.F.	19°	17'	99°	10'
38. Col Moctezuma, D.F.	19°	26'	99°	06'
39. Cuajimalpa, D.F.	19°	21'	99°	18'
40. Cuautepec, D.F.	19°	32'	99°	08'
41. Egipto No 6, D.F.	19°	28'	99°	11'
42. Felipe Villanueva, D.F.	19°	22'	99°	11'
43. Hacienda La Patera, D.F.	19°	30'	99°	09'
44. Hacienda Peña Pobre, D.F.	19°	18'	99°	11'
45. Km 3+000 ((Gran Canal), D.F.	19°	27'	99°	06'
46. La Venta, D.F.	19°	20'	99°	18'
47. Mar Kara No 10 Bis, D.F.	19°	27'	99°	11'
48. San Francisco Tlanepantla, D.F.	19°	12'	99°	07'
49. San Gregorio Atlapulco, D.F.	19°	15'	99°	03'
50. San Lorenzo Tlacoyuca, D.F.	19°	10'	99°	02'
51. Calacoaya, Méx	19°	31'	99°	15'
52. Campamento Plan Lago de Texcoco, Méx	19°	28'	99°	00'
53. Chapíngo, Méx	19°	29'	98°	53'
54. Chiconautla, Méx	19°	39'	99°	01'
55. Chimalhuacán, Méx	19°	25'	98°	56'
56. Ccl Vicente Guerrero, Méx	19°	36'	99°	19'
57. El Salitre, Méx	19°	30'	99°	18'
58. El Tajo de Tequixquiac, Méx	19°	53'	99°	07'
59. El Tejocote, Méx	19°	27'	98°	54'
60. Huehuetoca, Méx	19°	50'	99°	13'
61. Huixquilucan, Méx	19°	22'	99°	21'
62. Juchitepec, Méx	19°	06'	98°	53'

63. Km 2+120 (Pta Bombas), Méx	19°	34'	99°	01'
64. Km 27+250 (Gran Canal), Méx	19°	38'	99°	03'
65. Km 47+000 (Gran Canal), Méx	19°	49'	99°	07'
66. La Magdalena Chichicarpa, Méx	19°	25'	99°	20'
67. Las Arboledas, Méx	19°	34'	99°	13'
68. Los Reyes La Paz, Méx	19°	22'	98°	59'
69. Molinito, Méx	19°	28'	99°	14'
70. Molino Blanco, Méx	19°	29'	99°	13'
71. Netzahualcoyotl, Méx	19°	25'	99°	01'
72. Presa Concepción, Méx	19°	42'	99°	18'
73. Presa Guadalupe, Méx	19°	38'	99°	15'
74. Presa Las Ruinas, Méx	19°	35'	99°	17'
75. San Andrés, Méx	19°	32'	98°	55'
76. San Jerónimo Xonacahuacan, Méx	19°	45'	98°	57'
77. San Juan Ixhuatpec, Méx	19°	31'	99°	07'
78. San Luis Ayucan, Méx	19°	30'	99°	22'
79. San Marcos Jilotzingo, Méx	19°	52'	99°	04'
80. San Martín Obispo, Méx	19°	37'	99°	12'
81. San Mateo Acuitlapilco, Méx	19°	46'	99°	03'
82. San Mateo Tecoloapan, Méx	19°	34'	99°	14'
83. San Miguel Jagueyes, Méx	19°	50'	99°	16'
84. Sta Ma Magdalena Cahuacan, Méx	19°	39'	99°	25'
85. Santiago Tlazala, Méx	19°	35'	99°	25'
86. Santo Tomás, Méx	19°	46'	99°	11'
87. Tepexpan, Méx	19°	37'	98°	55'
88. Totollica, Méx	19°	28'	99°	15'
89. Tuxtepec, Méx	19°	41'	99°	08'
90. Santa Ana Tlacotenco, D.F.	19°	11'	99°	00'
91. Santa Fé, D.F.	19°	23'	99°	14'
92. Tarango, D.F.	19°	22'	99°	13'
93. Xoco, D.F.	19°	21'	99°	10'
94. Amecameca, Méx	19°	08'	98°	46'
95. Chalco, Méx	19°	15'	98°	54'
96. Coatepec de los Olivos, Méx	19°	23'	98°	51'
97. Col Manuel Avila Camacho, Méx	19°	19°	98°	45'

98. La Grande, Méx	19°	35'	98°	55'
99. Repetidora de T V , Méx	19°	07'	98°	39'
100. Represa El Alemán, Méx	19°	42'	99°	13'
101. San José, Méx	19°	36'	98°	41'
102. San Luis Ameca, Méx	19°	11'	98°	52'
103. San Martín Pirámides, Méx	19°	42'	98°	50'
104. San Miguel Tlaixpan, Méx	19°	31'	98°	49'
105. San Pedro Nexapa, Méx	19°	05'	98°	44'
106. Tepletlaoxtoc, Méx	19°	34'	98°	49'
107. Texcoco, Méx	19°	30'	98°	53'

Tabla 4.2.- Distribución de tormentas
por centro

Centro	Tormenta	Distancia entre el centro y la precipitación máxima puntual de la tormenta
La Venta, D.F.	13 Junio 1972	3.0 km
	12 Junio 1972	0.0 km
	14 Septiembre 1971	2.6 km
	20 Junio 1970	0.0 km
	1 Septiembre 1969	2.6 km
Desviación Alta al Pedregal, D.F.	25 Agosto 1973	0.0 km
	13 Julio 1971	0.0 km
	4 Septiembre 1969	0.0 km
Col del Valle, D.F.	24 Agosto 1973	6.4 km
	12 Julio 1972	0.0 km
	19 Junio 1970	0.0 km
	7 Julio 1969	5.4 km
	2 Septiembre 1969	4.4 km
	2 Septiembre 1968	6.4 km
Las Arboledas, Méx.	14 Junio 1972	11.6 km
	23 Octubre 1972	7.8 km
	18 Junio 1970	10.4 km
	19 Junio 1970	3.5 km
	9 Julio 1970	3.5 km
	1 Septiembre 1969	6.0 km

Tabla 4.3 Factor de reducción por área, obtenido para cada tormenta

Centro: Las Arboledas, Méx.

Estación		Area parcial (km ²)	Precipitación, en mm					
No	Nombre		14 Junio/72	23 Octubre/72	18 Junio/70	19 Junio/70	9 Julio/70	1 Septiembre/69
67.-	Las Arboledas, Méx.	10.0	42.0	25.4*	21.0	68.3	69.5	60.0*
82.-	San Mateo Tecoloapan, Méx.	2.6	50.0*	21.0	21.5*	69.0*	75.0*	25.0
Suma		12.6						
Precipitación media, en mm			43.65	24.49	21.10	68.44	70.63	52.78
Factor de reducción			0.87	0.96	0.98	0.99	0.94	0.88

* Precipitación puntual máxima

Tabla 4.3 Factor de reducción por área, obtenido para cada tormenta (Continuación)

Centro: Las Arboledas, Méx.

Estación		Ai (km ²)	Precipitación, en mm					
No	Nombre		14 Junio/72	23 Octubre/72	18 Junio/70	19 Junio/70	9 Julio/70	1 Septiembre/69
67.-	Las Arboledas, Méx.	33.2	42.0	25.4*	21.0	68.3	69.5	60.0
82.-	San Mateo Tecoloapan, Méx.	10.0	50.0	21.0	21.5*	69.0*	75.0*	25.0
70.-	Molino Blanco, Méx.	2.1	11.3	5.4	5.9	31.8	39.0	50.4
51.-	Calacoaya, Méx.	5.0	73.4*	8.5	11.4	40.0	26.0	61.0*
Suma		50.3						
Precipitación media, en mm			45.43	22.01	19.51	64.10	65.00	52.74
Factor de reducción			0.62	0.87	0.91	0.93	0.87	0.86

* Precipitación puntual máxima

Tabla 4.3 Factor de reducción por área, obtenido para cada tormenta (Continuación)

Centro: Las Arboledas, Méx

Estación		Area parcial (km ²)	Precipitación, en mm					
No	Nombre		14 Junio/72	23 Octubre/72	18 Junio/70	19 Junio/70	9 Julio/70	1 Septiembre/69
67.-	Las Arboledas, Méx.	43.7	42.0	25.4	21.0	68.3	69.5	60.0
82.-	San Mateo Tecoloapan, Méx.	29.3	50.0	21.0	21.5*	69.0*	75.0*	25.0
70.-	Molino Blanco, Méx.	6.4	11.3	5.4	5.9	31.8	39.0	50.4
51.-	Calacoaya, Méx.	13.2	73.4*	8.5	11.4	40.0	26.0	61.0*
40.-	Cuautepec, D.F.	9.4	40.0	25.2	12.5	10.5	22.5	18.5
43.-	Hacienda La Patera, D.F.	8.1	12.5	30.8*	9.5	11.0	25.0	20.0
3.-	Azcapotzalco., D.F.	3.0	16.9	12.9	11.6	19.0	26.3	59.5
Suma		113.1						
Precipitación media, en mm			43.06	21.19	17.38	52.90	55.88	44.18
Factor de reducción			0.59	0.69	0.81	0.77	0.75	0.72

* Precipitación puntual máxima.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Tabla 4.3 Factor de reducción por área, obtenido para cada tormenta (Continuación)

Centro: Las Arboledas, Méx.

Estación		Área parcial (km ²)	Precipitación, en mm					
No	Nombre		14 Junio/72	23 Octubre/72	18 Junio/70	19 Junio/70	9 Julio/70	1 Septiembre/69
67.-	Las Arboledas, Méx.	46.0	42.0	25.4	21.0	68.3	69.5	60.0
82.-	San Mateo Tecoloapan, Méx.	50.3	50.0	21.0	21.5	60.0*	75.0*	25.4
70.-	Molino Blanco, Méx.	17.0	11.3	5.4	5.9	31.8	39.0	50.4
51.-	Calacoaya, Méx.	33.1	73.4*	8.5	11.4	40.0	26.0	61.0*
40.-	Cuautepec, D.F.	21.2	40.0	25.2	12.5	10.5	22.5	18.5
43.-	Hacienda La Patera, D.F.	14.4	12.5	30.8*	9.5	11.0	25.0	20.0
3.-	Azcapotzalco, D.F.	10.2	16.9	12.9	11.6	19.0	26.3	59.5
88.-	Totolica, Méx.	3.0	11.7	5.5	6.9	34.6	20.0	49.0
73.-	Presa Guadalupe, Méx	5.9	2.2	16.2	41.8*	40.0	54.0	4.0
Suma		201.1						
Precipitación media, en mm			41.35	18.99	16.47	46.70	49.61	41.63
Factor de reducción			0.56	0.62	0.39	0.68	0.66	0.68

* Precipitación puntual máxima

Tabla 4.3 Factor de reducción por área, obtenido para cada tormenta (Continuación)

Centro: Las Arboledas, Méx

Estación		Area parcial (km ²)	Precipitación, en mm					
No	Nombre		14 Junio/72	23 Octubre/72	18 Junio/70	19 Junio/70	9 Julio/70	1 Septiembre/69
67.-	Las Arboledas, Méx.	46.9	42.0	25.4	21.0	68.3	69.5	60.0
82.-	San Mateo Tecolopan, Méx.	54.5	50.0	21.0	21.5	69.0*	75.0*	25.4
70.-	Molino Blanco, Méx	19.5	11.3	5.4	5.9	31.8	39.0	50.4
51.-	Calacoaya, Méx.	38.9	73.4	8.5	11.4	40.0	26.0	61.0*
40.-	Cuauhtepac, D.F.	45.8	40.0	25.2	12.5	10.5	22.5	18.5
43.-	Hacienda La Patera, D.F.	24.7	12.5	30.8*	9.5	11.0	25.0	20.0
3.-	Azcapotzalco, D.F.	14.4	16.9	12.9	11.6	19.0	26.3	59.5
88.-	Totolica, Méx.	12.1	11.7	5.5	6.9	34.6	20.0	49.0
73.-	Presa Guadalupe, Méx.	30.9	2.2	16.2	41.8*	40.0	54.0	4.0
69.-	Molinito, Méx.	4.9	11.0	4.2	7.4	44.0	19.5	53.5
57.-	El Salitre, Méx.	6.3	91.0*	8.5	11.5	15.0	34.5	39.0
56.-	Col Vicente Guerrero, Méx.	5.4	11.1	13.5	25.2	15.0	33.0	42.5
89.-	Tultepec, Méx.	5.4	0.5	0.0	20.0	10.2	15.2	0.3
77.-	San Juan Ixhuatepec, Méx.	2.3	20.0	25.2	12.5	10.5	41.5	15.5
47.-	Mar Kara No 10 Bis, D.F.	2.2	17.0	0.0	1.5	19.5	27.0	40.5

Suma	314.2						
Precipitación media, en mm		35.45	17.96	17.34	39.26	43.87	36.07
Factor de reducción		0.39	0.58	0.41	0.57	0.58	0.59

* Precipitación puntual máxima

Tabla 4.3 Factor de reducción por área, obtenido para cada tormenta (Continuación)

Centro: Las Arboledas, Méx.

Estación		Área parcial (km ²)	Precipitación, en mm					
No	Nombre		14 Junio/72	23 Octubre/72	18 Junio/70	19 Junio/70	9 Julio/70	1 Septiembre/69
67.-	Las Arboledas, Méx.	46.9	42.0	25.4	21.0	68.3	69.5	60.0
82.-	San Mateo Tecoloapan, Méx.	54.5	50.0	21.0	21.5	69.0*	75.0*	25.0
70.-	Molino Blanco, Méx.	19.5	11.3	5.4	5.9	31.8	39.0	50.4
51.-	Calacoaya, Méx.	38.9	73.4	8.5	11.4	40.0	26.0	61.0*
40.-	Cuautepec, D.F.	62.5	40.0	25.2	12.5	10.5	22.5	18.5
43.-	Hacienda La Patera, D.F.	34.5	12.5	30.8*	9.5	11.0	25.0	20.0
3.-	Azcapotzalco, D.F.	17.3	16.9	12.9	11.6	19.0	26.3	59.5
88.-	Totolica, Méx.	35.0	11.7	5.5	6.9	34.6	20.0	49.0
73.-	Presa Guadalupe, Méx.	75.4	2.2	16.2	41.8*	40.0	54.0	4.0
69.-	Molinito, Méx.	10.4	11.0	4.2	7.4	44.0	19.5	53.5
57.-	El Salitre, Méx.	38.3	91.0*	8.5	11.5	15.0	34.5	39.0
56.-	Col Vicente Guerrero, Méx.	44.0	11.1	13.5	25.2	15.0	33.0	42.5
89.-	Tultepec, Méx.	33.2	0.5	0.0	20.0	10.2	15.2	0.3
77.-	San Juan Ixhuatepec, Méx.	30.0	20.0	25.2	12.5	10.5	41.5	15.5
47.-	Mar Kara No 10 Bis, D.F.	15.2	17.0	0.0	1.5	19.5	27.0	40.5
32.-	Tecamachalco, D.F.	9.2	14.0	2.0	10.8	37.3	30.9	39.8

100.- Represa El Alemán, Méx.	13.0	1.1	23.3	28.0	29.0	36.6	2.5
64.- Km 27 + 250 (Gran Canal), Méx.	7.6	0.0	17.2	16.6	6.2	18.3	23.1
18.- Km 6 + 250 (Gran Canal), D.F.	10.5	13.5	25.2	13.5	14.4	35.0	5.5
45.- Km 3 + 000(Gran Canal), D.F.	1.2	32.0	19.0	12.0	35.0	40.0	8.0
23.- Mosqueta No 52, D.F.	12.1	22.0	19.0	14.0	25.0	41.0	19.0
9.- Comisión Federal de Electricidad, D.F.	6.7	17.3	1.5	6.1	15.3	18.2	25.3
Suma	615.8						
Precipitación media, en mm		27.99	15.83	17.97	30.44	38.46	30.01
Factor de reducción		0.31	0.51	0.43	0.44	0.51	0.49

* Precipitación puntual máxima

Tabla 4.3 Factor de reducción por área, obtenido para cada tormenta (Continuación)

Centro: Las Arboledas, Méx.

No	Estación Nombre	Area parcial (km ²)	Precipitación, en mm					
			14 Junio/72	23 Octubre/72	18 Junio/70	19 Junio/70	9 Julio/70	1 Septiembre/69
67.-	Las Arboledas, Méx.	46.9	42.0	25.4	21.0	68.3	69.5	60.0
82.-	San Mateo Tecoloapan, Méx.	54.5	50.0	21.0	21.5	69.0	75.0*	25.0
70.-	Molino Blanco, Méx.	19.5	11.3	5.4	5.9	31.8	39.0	50.4
51.-	Calacoaya, Méx.	38.9	73.4	8.5	11.4	40.0	26.0	61.0*
40.-	Cuautepec, D.F.	65.5	40.0	25.2	12.5	10.5	22.5	18.5
43.-	Hacienda La Patera D.F.	34.3	12.5	30.8*	9.5	11.0	25.0	20.0
3.-	Azcapotzalco, D.F.	17.3	16.9	12.9	11.6	19.0	26.3	59.5
88.-	Totolica, Méx.	38.5	11.7	5.5	6.9	34.6	20.0	49.0
73.-	Presa Guadalupe, Méx.	85.0	2.2	16.2	41.8*	40.0	54.0	4.0
69.-	Molinito, Méx.	10.4	11.0	4.2	7.4	44.0	19.5	53.5
57.-	El Salitre, Méx.	66.4	91.0*	8.5	11.5	15.0	34.5	39.0
56.-	Col Vicente Guerrero, Méx.	94.3	11.1	13.5	25.2	15.0	33.0	42.5
89.-	Tultepoc, Méx.	61.8	0.5	0.0	20.0	10.2	15.2	0.3
77.-	San Juan Ixhuatepec, Méx.	39.3	20.0	25.2	12.5	10.5	41.5	15.5
47.-	Mar Kara No 10 Bis, D.F.	15.2	17.0	0.0	1.5	19.5	27.0	40.5
32.-	Tecamachalco, D.F.	17.7	14.0	2.0	10.8	37.3	30.9	39.8

100.- Represa El Alemán, Méx.	51.2	1.1	23.3	28.0	29.0	36.6	2.5
64.- Km 27+250 (Gran Canal), Méx.	44.0	0.0	17.2	16.6	6.2	18.3	23.1
18.- Km 6+250 (Gran Canal), D.F.	31.7	13.5	25.2	13.5	14.4	35.0	5.5
45.- Km 3+000 (Gran Canal), D.F.	9.3	32.0	19.0	12.0	35.0	40.0	8.0
23.- Mosqueta No 52, D.F.	16.5	22.0	19.0	14.0	25.0	41.0	19.0
9.- Comisión Federal de Electricidad, D.F.	12.2	17.3	1.5	6.1	15.3	18.2	25.3
91.- Santa Fé, D.F.	20.7	2.4	1.3	14.2	20.1	25.8	28.5
66.- La Magdalena, Chichicapa, Méx.	22.8	45.0	6.0	7.5	14.0	4.0	53.2
84.- Sta Na Magdalena Caluacan, Méx.	5.1	40.0	16.5	27.0	78.0*	34.5	49.5
72.- Presa Concepción, Méx.	38.9	3.5	19.7	28.0	29.0	23.6	2.7
63.- Km 2+120 (Pta Bombas), Méx.	17.3	15.5	15.0	9.5	19.5	23.0	9.5
29.- San Juan de Aragón, D.F.	6.8	13.0	0.0	12.5	12.0	40.0	4.0
38.- Col Moctezuma, D.F.	3.4	18.5	11.5	10.5	30.0	35.5	11.0
5.- Cincel No 42, D.F.	8.4	8.0	17.6	7.0	32.4	35.7	14.9
7.- Col Del Valle, D.F.	5.5	11.3	1.6	6.0	60.5	18.3	26.2
8.- Col Escandón, D.F.	8.4	14.0	1.5	5.1	39.0	19.8	33.0
27.- Presa Tacubaya, D.F.	10.2	21.0	1.5	8.3	17.9	28.6	36.0
Suma	1017.9						
Precipitación media, en mm		23.51	14.69	17.92	26.69	34.21	26.63
Factor de reducción		0.26	0.48	0.43	0.34	0.46	0.44

* Precipitación puntual máxima

Tabla 4.4 Factor de reducción por área, obtenido para diversas áreas fijas

Centro: La Venta, D.F.

Tormenta	Factor de Reducción						
	Area, en Km ²						
	13	50	112	191	271	467	688
13 Junio 1972	0.89	0.70	0.62	0.56	0.52	0.50	0.48
12 Junio 1972	0.91	0.67	0.57	0.49	0.46	0.42	0.39
14 Septiembre 1971	0.86	0.56	0.49	0.41	0.37	0.28	0.22
20 Junio 1970	0.89	0.56	0.44	0.37	0.33	0.29	0.25
1 Septiembre 1969	0.92	0.84	0.80	0.78	0.77	0.74	0.72
X	0.89	0.67	0.58	0.52	0.49	0.45	0.41
S	0.02	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.20
Cv	0.03	0.17	0.24	0.31	0.35	0.42	0.49

Tabla 4.5 Factor de reducción por área, obtenido para diversas áreas fijas

Centro: Desviación Alta al Pedregal, D.F.

Tormenta	Factor de Reducción						
	Area, en km ²						
	13	50	113	201	314	583	880
25 Agosto 1973	0.99	0.93	0.81	0.67	0.58	0.52	0.49
13 Julio 1971	0.99	0.89	0.78	0.66	0.57	0.47	0.39
4 Septiembre 1969	0.98	0.86	0.68	0.49	0.37	0.25	0.17
\bar{X}	0.99	0.89	0.76	0.61	0.51	0.41	0.35
S	0.01	0.04	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16
Cv	0.01	0.04	0.09	0.17	0.23	0.35	0.47

Tabla 4.6 Factor de reducción por área, obtenido para diversas áreas fijas

Centro: Col Del Valle, D.F.

Tormenta	Factor de Reducción						
	Area, en Km ²						
	13	50	113	201	314	616	1018
24 Agosto 1973	0.95	0.46	0.36	0.37	0.34	0.29	0.24
12 Julio 1972	0.90	0.66	0.50	0.39	0.31	0.22	0.20
19 Junio 1970	0.90	0.70	0.58	0.52	0.47	0.34	0.31
7 Julio 1969	0.99	0.48	0.44	0.35	0.28	0.22	0.19
2 Septiembre 1969	0.85	0.64	0.58	0.54	0.48	0.42	0.37
2 Septiembre 1968	0.77	0.57	0.39	0.36	0.31	0.24	0.21
\bar{X}	0.89	0.59	0.48	0.42	0.37	0.29	0.25
S	0.08	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.07
Cv	0.09	0.17	0.20	0.20	0.24	0.27	0.29

Tabla 4.7 Factor de reducción por área, obtenido para diversas áreas fijas

Centro: Las Arboledas, Méx.

Tormenta	Factor de Reducción						
	Area, en Km ²						
	13	50	113	201	314	616	1018
14 Junio 1972	0.87	0.62	0.59	0.56	0.39	0.31	0.26
23 Octubre 1972	0.96	0.87	0.69	0.62	0.58	0.51	0.48
18 Junio 1970	0.98	0.91	0.81	0.39	0.41	0.43	0.43
19 Junio 1970	0.99	0.93	0.77	0.68	0.57	0.44	0.34
9 Julio 1970	0.94	0.87	0.75	0.66	0.58	0.51	0.46
1 Septiembre 1969	0.88	0.86	0.72	0.68	0.59	0.49	0.44
X	0.94	0.84	0.72	0.60	0.52	0.45	0.40
S	0.05	0.11	0.08	0.11	0.09	0.08	0.08
Cv	0.05	0.13	0.11	0.19	0.18	0.17	0.21

Tabla 4.8 Factor de reducción por área, obtenido para diversas áreas fijas

Valores medios

Tormenta	Factor de Reducción						
	Area, en km ²						
	13	50	113	201	314	616	1018
13 Junio 1972	0.89	0.70	0.62				
12 Junio 1972	0.91	0.67	0.57				
14 Septiembre 1971	0.86	0.56	0.49				
20 Junio 1970	0.89	0.56	0.44				
1 Septiembre 1969	0.92	0.84	0.80				
25 Agosto 1973	0.99	0.93	0.81	0.67	0.58		
13 Julio 1971	0.99	0.89	0.78	0.66	0.57		
4 Septiembre 1969	0.98	0.86	0.68	0.49	0.37		
24 Agosto 1973	0.95	0.46	0.36	0.37	0.34	0.29	0.24
12 Julio 1972	0.90	0.66	0.50	0.39	0.31	0.22	0.20
19 Junio 1970	0.90	0.70	0.58	0.52	0.47	0.34	0.31
7 Julio 1969	0.99	0.48	0.44	0.35	0.28	0.22	0.19
2 Septiembre 1969	0.85	0.64	0.58	0.54	0.48	0.42	0.37
2 Septiembre 1968	0.77	0.57	0.39	0.36	0.31	0.24	0.21
14 Junio 1972	0.87	0.62	0.59	0.56	0.39	0.31	0.26
23 Octubre 1972	0.96	0.87	0.69	0.62	0.58	0.51	0.48
18 Junio 1970	0.98	0.91	0.81	0.39	0.41	0.43	0.43
19 Junio 1970	0.99	0.93	0.77	0.68	0.57	0.44	0.34
9 Julio 1970	0.94	0.87	0.75	0.66	0.58	0.51	0.46
1 Septiembre 1969	0.88	0.86	0.72	0.68	0.59	0.49	0.44
X	0.92	0.73	0.62	0.53	0.46	0.37	0.33
S	0.06	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.11
Cv	0.06	0.22	0.24	0.24	0.25	0.30	0.33

Cuenca del Valle de México

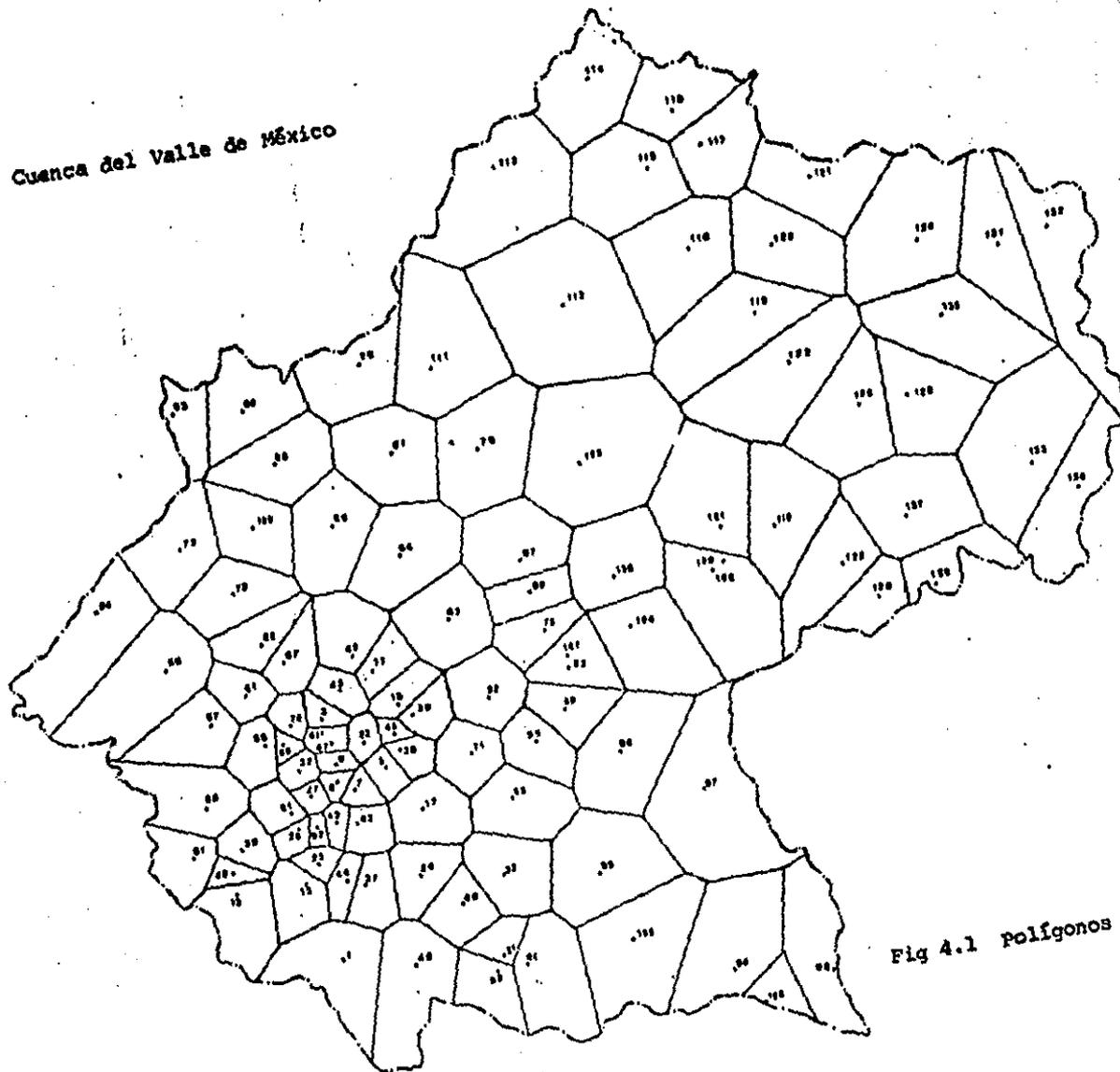


Fig 4.1 Polígonos de Thiessen

Cuenca del Valle de México

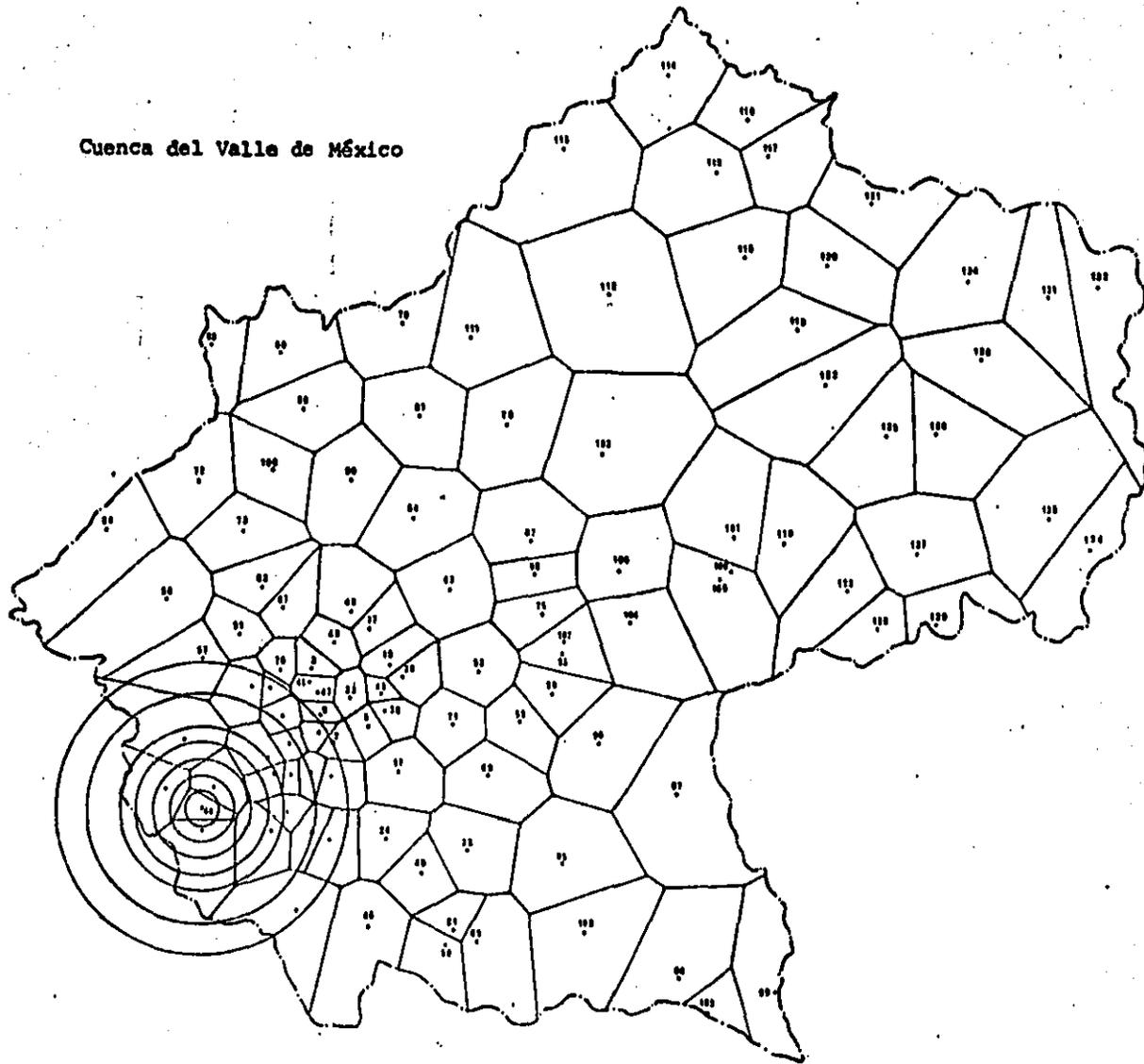


Fig 4.3 Areas fijas trazadas en la estación La Venta, D. F.

Cuenca del Valle de México

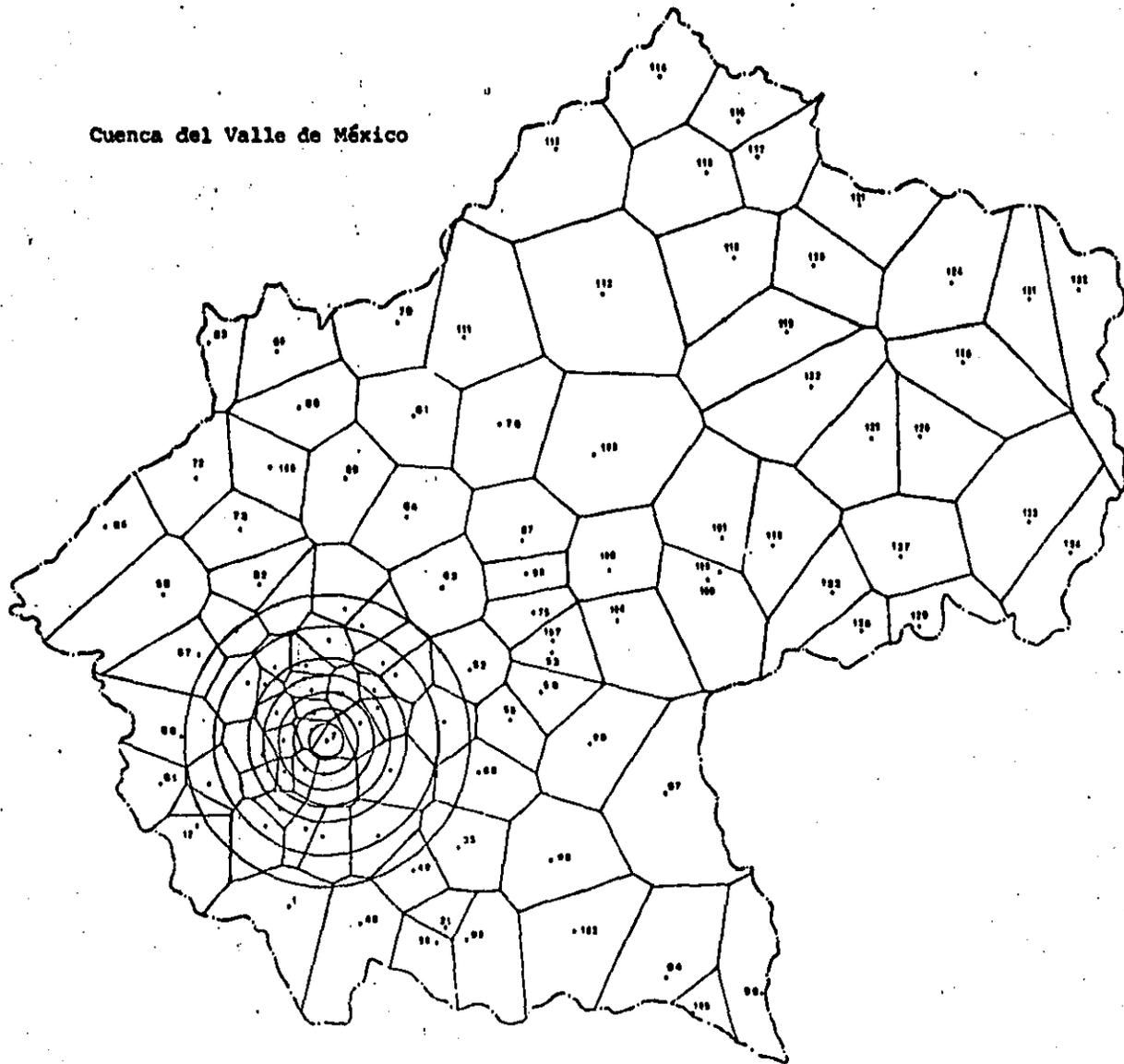


Fig 4.4 Áreas fijas trazadas en la estación Col. Del Valle, D. F.

Cuenca del Valle de México

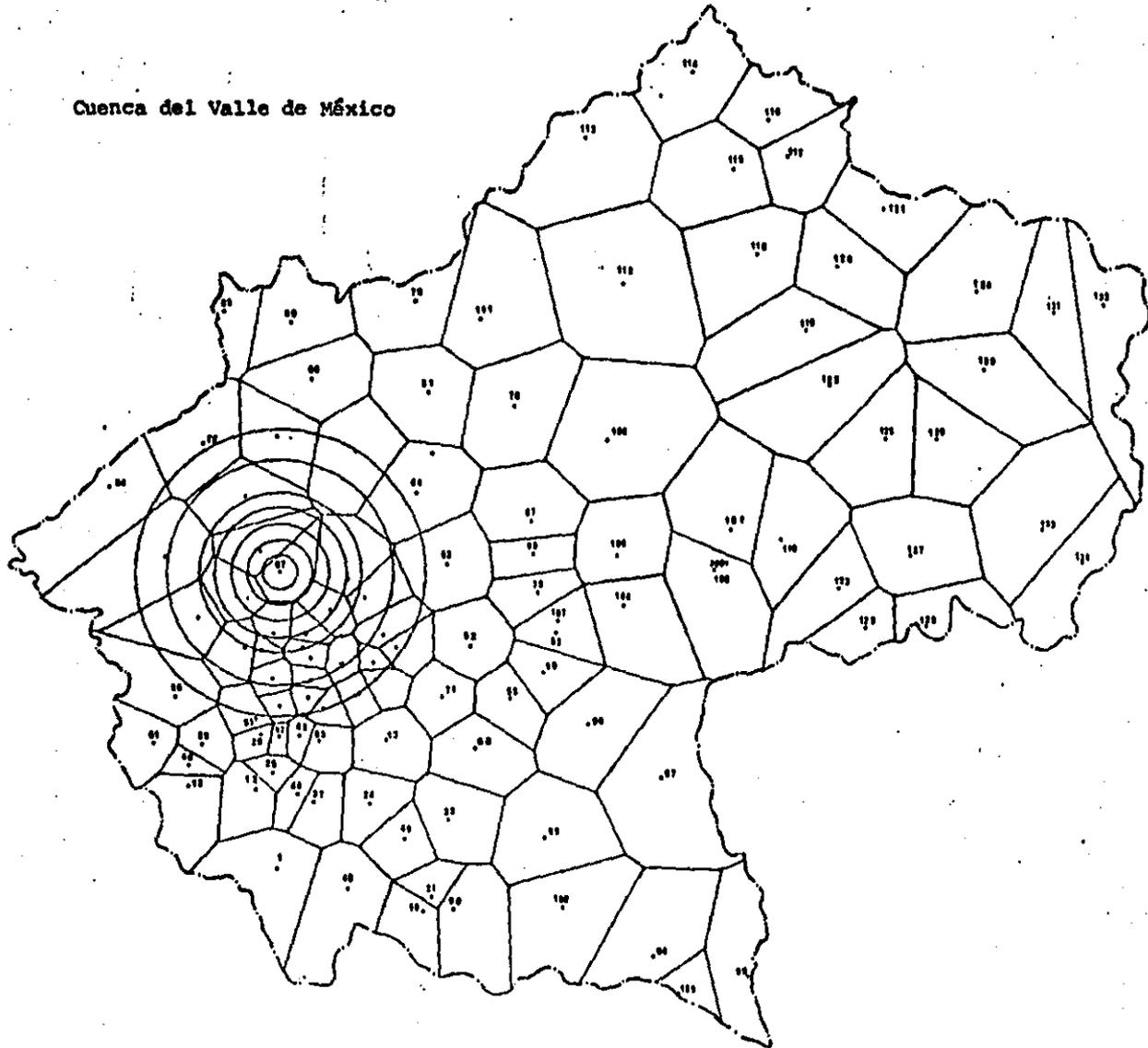


Fig 4.5 Areas fijas trazadas en la estación Las Arboledas, Méx.

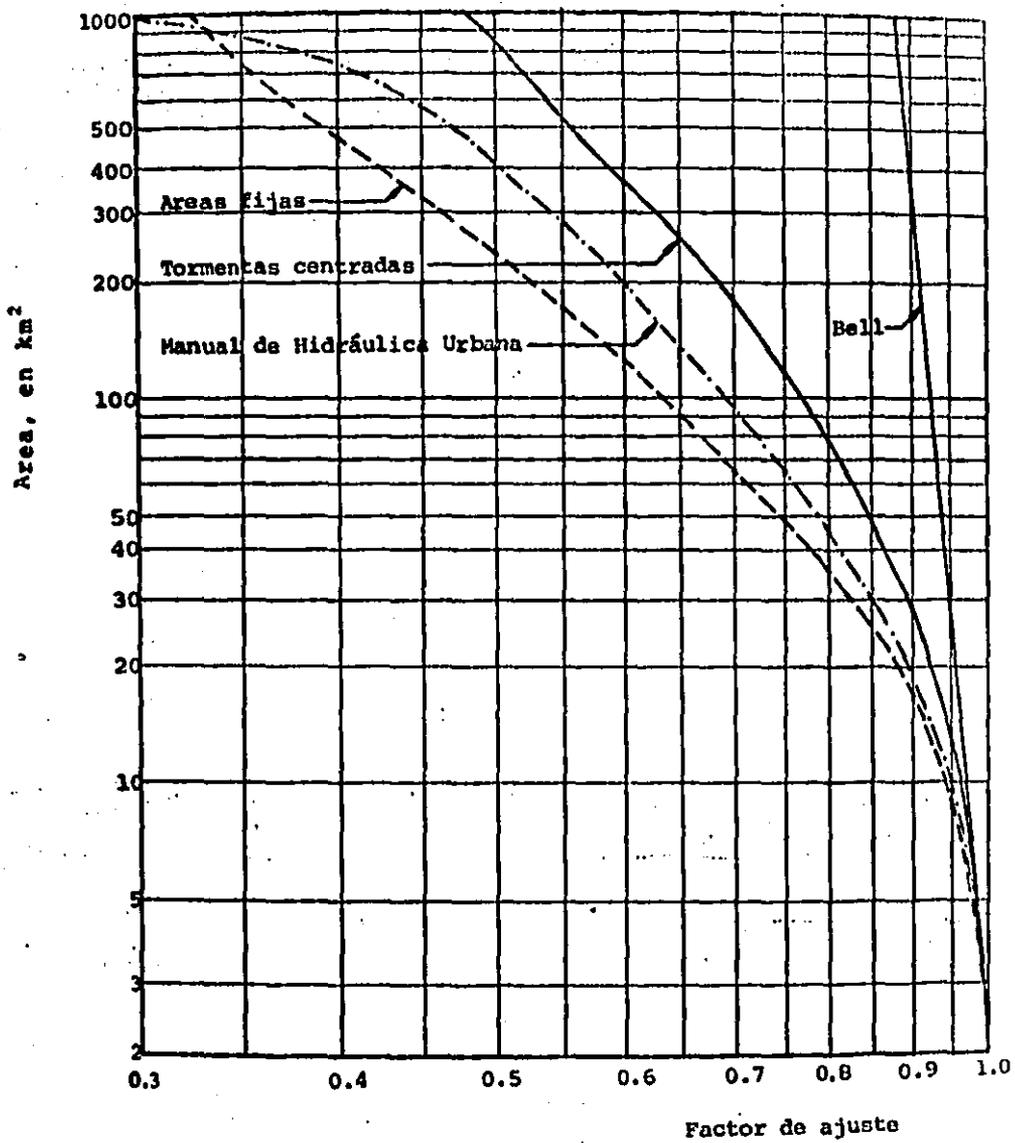


Fig 4.6 Factor de ajuste por área obtenido para el Valle de México

5.- ANALISIS DE VARIANCIA

5.1 Introducción

El análisis de variancia es una herramienta estadística, cuya aplicación se ha enfocado a resolver algunos problemas hidrológicos, utilizando para esto medidas de dispersión o variabilidad.

Al respecto, existe un conjunto de parámetros estadísticos que miden el grado de extensión de los valores observados, alrededor de un promedio. Por ejemplo, la desviación estándar y la variancia son medidas de variación absoluta, es decir, miden la cantidad real de variación que se presenta en un conjunto de datos. Por otra parte, para comparar la variación en varios conjuntos de datos, por regla general, se emplean medidas de variación relativa. Para este último propósito se usa el coeficiente de variación, parámetro adimensional definido como el cociente en

tre la desviación estándar y la media.

Para demostrar la aplicación de los parámetros de dispersión, a continuación se describen tres ejemplos, utilizando los datos y resultados del análisis de precipitaciones máximas realizado en este trabajo.

5.2 Densidad de la red de estaciones climatológicas

En este ejemplo, se muestra la aplicación de un método que permite definir el número mínimo de estaciones de medición dentro de la zona en estudio.

Se utiliza el criterio basado en el coeficiente de variación de los valores de precipitación registrados en varias estaciones para una duración determinada. El número de estaciones de la red (ver ref 15), se definen aplicando la siguiente ecuación:

$$N = \left[\frac{Cv}{\epsilon} \right]^2 \quad (5.1)$$

donde:

- N Número de estaciones necesarias
- Cv Coeficiente de variación de los datos de precipitaciones registrados en las estaciones, en porcentaje
- ϵ Grado de error admitido en la estimación de la precipitación media, en porcentaje

El análisis desarrollado en este ejemplo, consistió en

revisar la densidad de la red de medición, utilizando los coeficientes de variación regionales determinados para las precipitaciones máximas asociadas a duraciones de 1 año, 1 mes, 24 horas y 30 min y cuyos resultados se encuentran en el capítulo 2 (tabla 2.5).

En consecuencia, se procedió a calcular para cada duración el número de estaciones que requiere la red de medición, suponiendo un grado de error del 5% en la estimación de la precipitación media regional. Utilizando la ec (5.1), puede verse que si se acepta un porcentaje de error del 5%, el número de pluviómetros necesarios, para definir el promedio espacial de las precipitaciones máximas asociadas a una duración de 24 horas, será:

$$N_{d=24h} = \left[\frac{Cv}{e} \right]^2 = \left[\frac{28}{5} \right]^2 = 31$$

Para definir la lluvia media regional asociada a una duración de 30 min, el número de pluviómetros será:

$$N_{d=30min} = \left[\frac{Cv}{e} \right]^2 = \left[\frac{30}{5} \right]^2 = 36$$

Aplicando un procedimiento similar al anterior, se calcularon, para las duraciones de un mes y un año, el número de estaciones necesarias para definir su precipitación media regional correspondiente. En la tabla 5.1, se muestran los resultados obtenidos con la ec (5.1), para cada una de las duraciones analizadas, incluyéndose adicionalmente el número de estaciones utilizadas para estimar el

coeficiente de variación regional.

Analizando los valores de la tabla 5.1, se deduce que con las estaciones actuales es posible calcular con un grado de precisión razonable la precipitación media, en la Cuenca del Valle de México, para duraciones de 30 min, 24 horas, 1 mes y 1 año. En otras palabras, observando la tabla mencionada puede verse que si se acepta un porcentaje de error del 5%, el número de pluviómetros necesarios, para definir la precipitación media regional asociada a una duración de 24 horas, será de 31, mientras que el número de estaciones seleccionadas para efectuar este análisis fué de 63. Situaciones similares se observaron para las otras duraciones.

En el análisis anterior, para revisar la densidad de la red de estaciones se supuso un porcentaje de error del 5% determinando en consecuencia el número de estaciones requeridas para definir la precipitación media regional. Sin embargo, existe otra alternativa, para efectuar esta revisión, la cual consiste en calcular con la ecuación (5.1), el error medio real que se presenta al estimar la precipitación media regional, utilizando para esto las variables conocidas, es decir, el número de estaciones ubicadas dentro de la zona en estudio y el coeficiente de variación regional. Por otra parte, para comparar los resultados obtenidos con la ecuación (5.1), este mismo parámetro se determinó con el criterio de la World Meteorological Organization (WMO), empleando la siguien-

te expresión:

$$E = 7.7 \frac{A^{0.20}}{N^{0.45}} \quad (5.2)$$

donde:

- E. error medio, en porcentaje
- A. área de la Zona en estudio, en km²
- N. número de estaciones dentro de la zona

Los resultados obtenidos con las ecuaciones (5.1) y (5.2) se muestran en la tabla 5.2. Además, las figs 5.1 y 5.2 presentan el número de estaciones de la red determinadas con el criterio del coeficiente de variación, para cada una de las precipitaciones máximas asociadas a sus correspondientes duraciones.

Finalmente, se concluye con base en el análisis anterior que las precipitaciones medias regionales, asociadas a duraciones de 30 min, 24 horas, 1 mes y 1 año, se calcularon con un error medio razonable, ya que según el criterio del coeficiente de variación y el de la World Meteorological Organization, los valores promedio del error (en porcentaje) fueron del 4% y 7%, respectivamente.

5.3 Variabilidad de las precipitaciones asociadas a diversas duraciones

Un aspecto relevante deducido del análisis estadístico regional efectuado a las precipitaciones máximas, es que

los valores de las lluvias asociadas a duraciones mayores presentan menor dispersión en sus resultados.

Las fluctuaciones de la variabilidad anterior se observan en la siguiente tabla, la cual muestra los valores promedio de lluvia para las distintas duraciones, incluyéndose además su desviación estándar y su coeficiente de variación.

Parámetros estadísticos de precipitaciones máximas asociadas a diversas duraciones.

Parámetro	D U R A C I O N			
	30 min	24 horas	1 mes	1 año
Media, en mm	24	46	199	758
Desviación estándar, en mm	7.2	12.9	47.8	144.0
Coficiente de variación, en porcentaje	30	28	24	19

Para analizar el comportamiento de los resultados anteriores, se incluyen las gráficas que relacionan la duración (tiempo) de la lluvia con el coeficiente de variación y con la desviación estándar. Los resultados aparecen en las figs 5.3 y 5.4.

5.4 Análisis variacional de un registro de lluvias máximas

El objetivo que se persigue, en este problema, es determinar el número de años de registro necesario para definir la función de distribución de probabilidad de la precipitación máxima anual para una duración de 24 horas.

Se parte de la hipótesis de que los parámetros de la función de distribución de probabilidad estarán definidos en cuanto se determinen los momentos de la misma. En consecuencia, el desarrollo de este ejemplo, está enfocado a definir los momentos (media y variancia) de dicha función.

Para este análisis se eligieron los registros de lluvia de la estación Servicio Meteorológico Nacional, D F, durante el periodo 1901-1980. A estos datos, según lo expuesto en el capítulo 2, se les ajustó una función de distribución tipo exponencial, cuya forma es:

$$h_{p_i} = a \ln T_i + b \quad (5.3)$$

Aplicando el método de momentos (ver ref 10), se calculan los parámetros a y b , encontrándose lo siguiente:

$$a = 13.53$$

$$b = 32.92$$

Sustituyendo estos dos valores en la ec (5.3) se tiene:

$$h_{p_i} = 13.53 \ln T_i + 32.92 \quad (5.4)$$

donde:

h_{p_i} altura de precipitación máxima, en mm

\ln logaritmo natural

T_x periodo de retorno, en años

Por otra parte, para estudiar las relaciones que existen entre una población y muestras extraídas de la misma, se aplican los conceptos de Teoría del Muestreo e Inferencia Estadística.

Los dos conceptos anteriores se centran a analizar la interrelación que hay entre población y muestra, estipulando que de acuerdo con su naturaleza, las poblaciones pueden ser infinitas o finitas, si el muestreo es con o sin reemplazo, respectivamente. Con base en la definición anterior, el ejemplo que se desarrolla en este inciso se analizará suponiendo que las muestras se extraen de una población infinita.

Para esta alternativa, uno de los teoremas generales (ver ref 11) sobre distribuciones muestrales de la media, establece que para muestras extraídas de poblaciones infinitas la media, la variancia y la desviación estándar de las medias muestrales, se definen con las siguientes expresiones:

$$\mu_{\bar{x}} = \mu \quad (5.5)$$

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{\sigma^2}{n} \quad (5.6)$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5.7)$$

donde:

- $\mu_{\bar{x}}$ media de la muestras
- μ media de la población
- $\sigma_{\bar{x}}^2$ variancia de la medias muestrales
- σ^2 variancia de la población
- $\sigma_{\bar{x}}$ desviación estándar de las medias muestrales
- σ desviación estándar de la población
- n número de elementos de la muestra

De las ecuaciones anteriores, se deduce que a mayor tamaño de la muestra, más se aproximará el valor de la media muestral a la media poblacional. En otras palabras conforme crece el tamaño de la muestra, la media muestral se va haciendo cada vez más digna de confianza como una estimación de la media poblacional. Con respecto a la desviación estándar de las medias muestrales, definida por la ec (5.7), se puede decir que su valor va disminuyendo a medida que aumenta el número de elementos de la muestra.

Tomando en cuenta las características descritas anteriormente, a continuación se describe el proceso de cálculo utilizado para determinar el número de años de registro necesario para definir la función de distribución de probabilidad exponencial.

- a) Aplicando el método descrito en la ref 10, se generaron números aleatorios con una distribución exponencial, a partir de números aleatorios con distribución uniforme.
- b) Con la técnica anterior, se obtuvieron precipitaciones máximas anuales, asociadas a una duración de 24 horas, para grupos de n años, específicamente para $n = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70$ y 80 años.
- c) Para cada grupo de años, compuesto por 10 muestras aleatorias (cada una con n años), se estimó la media, la desviación estándar, la variancia y el contenido de la media (definido como el recíproco de la variancia).
- d) Para calcular el contenido de la media de los datos teóricos, se determinó previamente la desviación estándar teórica con la expresión (5.7). En esta ecuación se sustituye a $\sigma = a$, debido a que los datos se ajustaron a una distribución exponencial, obteniéndose lo siguiente:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{a}{\sqrt{n}} = \frac{13.53}{\sqrt{n}} \quad (5.8)$$

- e) Definida la desviación estándar, se procedió a calcular la variancia teórica y el contenido de la media teórica

La tabla 5.3, indica los resultados totales de cada gru-

po de años, mientras que en la tabla 5.4 se encuentra des-
glosado el procedimiento de cálculo desarrollado para el
grupo de 10 años.

Finalmente, la fig 5.5 muestra la gráfica que relaciona
el contenido de la media de los valores teóricos y genera-
dos y el número de años. De este último resultado se ob-
serva, al analizar el comportamiento del contenido de la
media, que ambos valores presentan resultados similares
hasta los 40 años. Posteriormente hay diferencias signifi-
cativas, deduciéndose que para tener bien definidos los
momentos de la función de distribución exponencial se ne-
cesitan cuando menos 40 años.

Tabla 5.1 Número de estaciones necesarias para definir la precipitación media regional asociada a diversas duraciones.

CONCEPTO	D U R A C I O N			
	30 minutos	24 horas	1 mes	1 año
<i>C_v</i> , en porcentaje	30	28	24	19
<i>e</i> , en porcentaje	5	5	5	5
<i>N</i> , Número de estaciones necesarias	36	31	23	14
<i>N</i> , Número de estaciones utilizadas para el análisis	35	63	36	36

Tabla 5.2 Error medio calculado para precipitaciones medias regionales asociadas a diversas duraciones, en porcentaje.

CRITERIO	D U R A C I O N			
	30 minutos	24 horas	1 mes	1 año
Coefficiente de variación (e)	5.1	3.5	4.0	3.2
World Meteorological Organization (E)	7.3	5.5	7.2	7.2

Tabla 5.3 Contenido de la media

N (años)	Media	VALORES GENERADOS			VALORES TEORICOS			Desviación estándar/Desviación estándar teórica
		Desviación estándar	Variancia	Contenido de la media	Desviación estándar	Variancia	Contenido de la media	
10	47.47	3.90	15.21	0.066	4.28	18.31	0.055	0.91
20	47.26	3.23	10.43	0.096	3.03	9.15	0.109	1.07
30	47.31	2.65	7.02	0.142	2.47	6.10	0.164	1.07
40	47.29	2.28	5.20	0.192	2.14	4.58	0.219	1.07
50	47.15	1.61	2.59	0.386	1.91	3.66	0.273	0.84
60	47.32	1.12	1.25	0.797	1.75	3.05	0.328	0.64
70	47.21	0.86	0.74	1.352	1.62	2.62	0.382	0.53
80	47.36	0.65	0.42	2.367	1.51	2.29	0.437	0.43

Tabla 5.4 Contenido de la media para el grupo de 10 años

MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3		MUESTRA 4		MUESTRA 5	
Número aleatorio	hp (mm)								
0.1306	34.81	0.5606	44.05	0.7810	53.47	0.1636	35.34	0.4611	41.28
0.0422	33.50	0.5053	42.44	0.5121	42.63	0.9040	64.63	0.9861	90.77
0.6597	47.50	0.8656	60.07	0.4328	40.59	0.1871	35.72	0.7916	54.14
0.7965	54.46	0.7658	52.56	0.8520	58.71	0.7824	53.55	0.9305	69.00
0.7695	52.78	0.0441	33.53	0.9539	74.55	0.5905	45.00	0.2074	36.06
0.5160	42.74	0.3938	39.69	0.2232	36.34	0.9239	67.77	0.9462	72.46
0.2961	37.67	0.7478	51.56	0.8761	61.17	0.5442	43.55	0.0254	33.27
0.1428	35.00	0.4854	41.91	0.3634	39.03	0.1464	35.06	0.4827	41.84
0.3666	39.10	0.7849	53.71	0.2033	36.00	0.1206	34.66	0.9198	67.06
0.6543	47.29	0.6689	47.88	0.7945	54.33	0.0304	33.34	0.3974	39.77

MUESTRA 6		MUESTRA 7		MUESTRA 8		MUESTRA 9		MUESTRA 10	
Número aleatorio	hp (mm)								
0.1189	34.63	0.9377	70.48	0.5532	43.82	0.8994	63.99	0.1093	34.49
0.2431	36.69	0.8085	55.28	0.7065	49.51	0.4415	40.80	0.3784	39.35
0.2022	35.98	0.3117	37.97	0.1133	34.55	0.9585	75.97	0.4190	40.27
0.6541	47.28	0.0434	33.52	0.0937	34.25	0.6204	46.03	0.6332	46.49
0.6937	48.93	0.2929	37.61	0.7025	49.32	0.2468	36.75	0.1175	34.61
0.7851	53.72	0.6356	46.58	0.1109	34.51	0.2219	36.31	0.8599	59.61
0.0551	33.69	0.9250	67.97	0.7046	49.42	0.2160	36.21	0.9735	82.04
0.4183	40.25	0.8973	63.71	0.9821	87.35	0.5264	43.03	0.8584	59.27
0.5642	44.16	0.5651	44.19	0.7996	54.67	0.0584	33.73	0.6581	47.44
0.6799	48.33	0.8239	56.42	0.4529	41.08	0.4368	40.69	0.7194	50.11

Tabla 5.4 Contenido de la media para el grupo de 10 años (continuación)

Media, desviación estándar, variancia y contenido de la media de las muestras.

Muestra	Precipitación media h_p , en mm
1	42.99
2	46.74
3	49.68
4	44.86
5	54.57
6	42.37
7	51.37
8	47.85
9	45.35
10	49.37
\bar{X}	47.47
S	3.90
S^2	15.21
$1/S^2$	0.066

Ecuación de distribución exponencial utilizada para generar las precipitaciones máximas.

$$h_{p_i} = 13.53 \ln \frac{1}{(1-F(x))} + 32.92$$

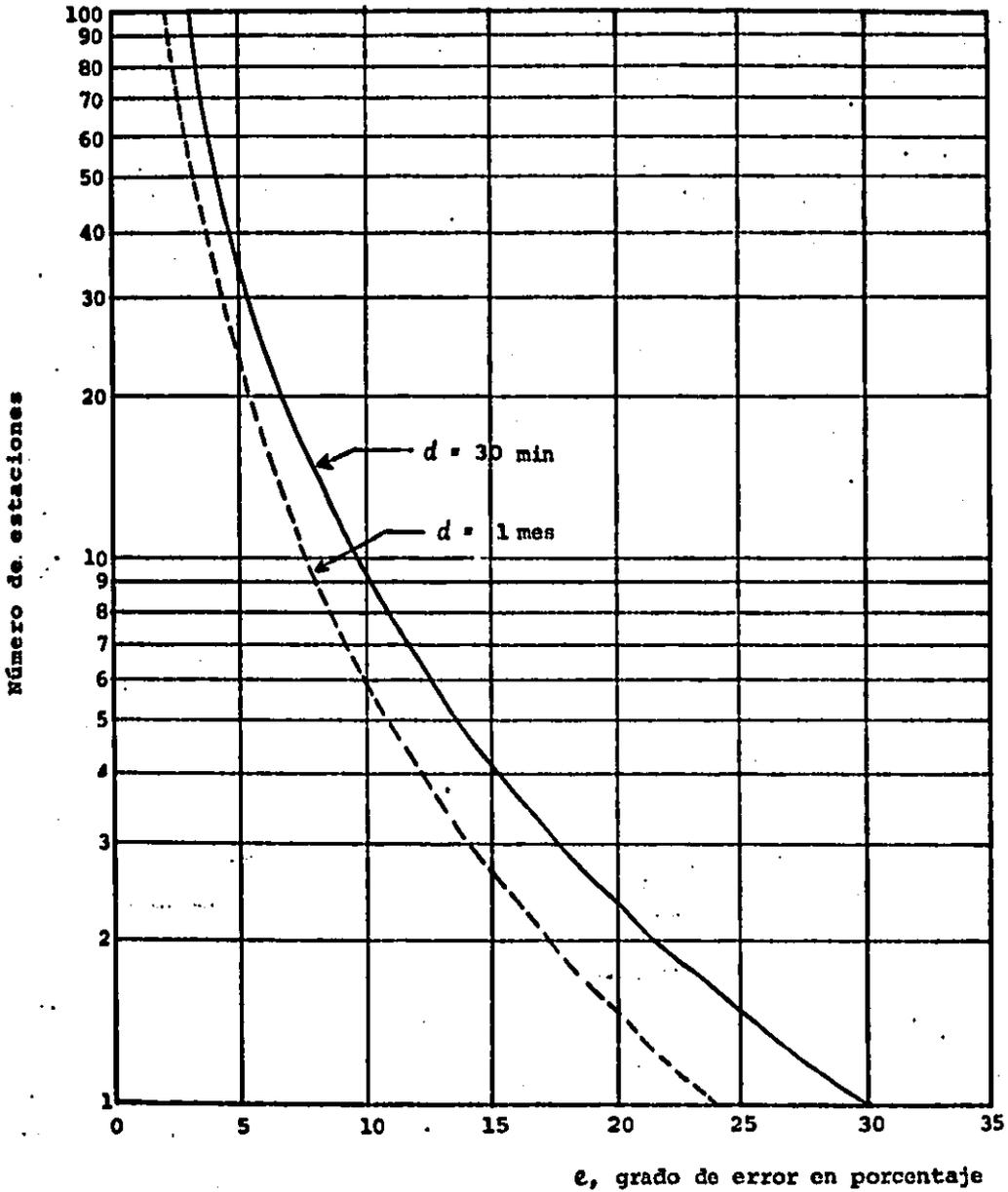


Fig 5.1 Determinación del número de estaciones en función del criterio basado en el coeficiente de variación.

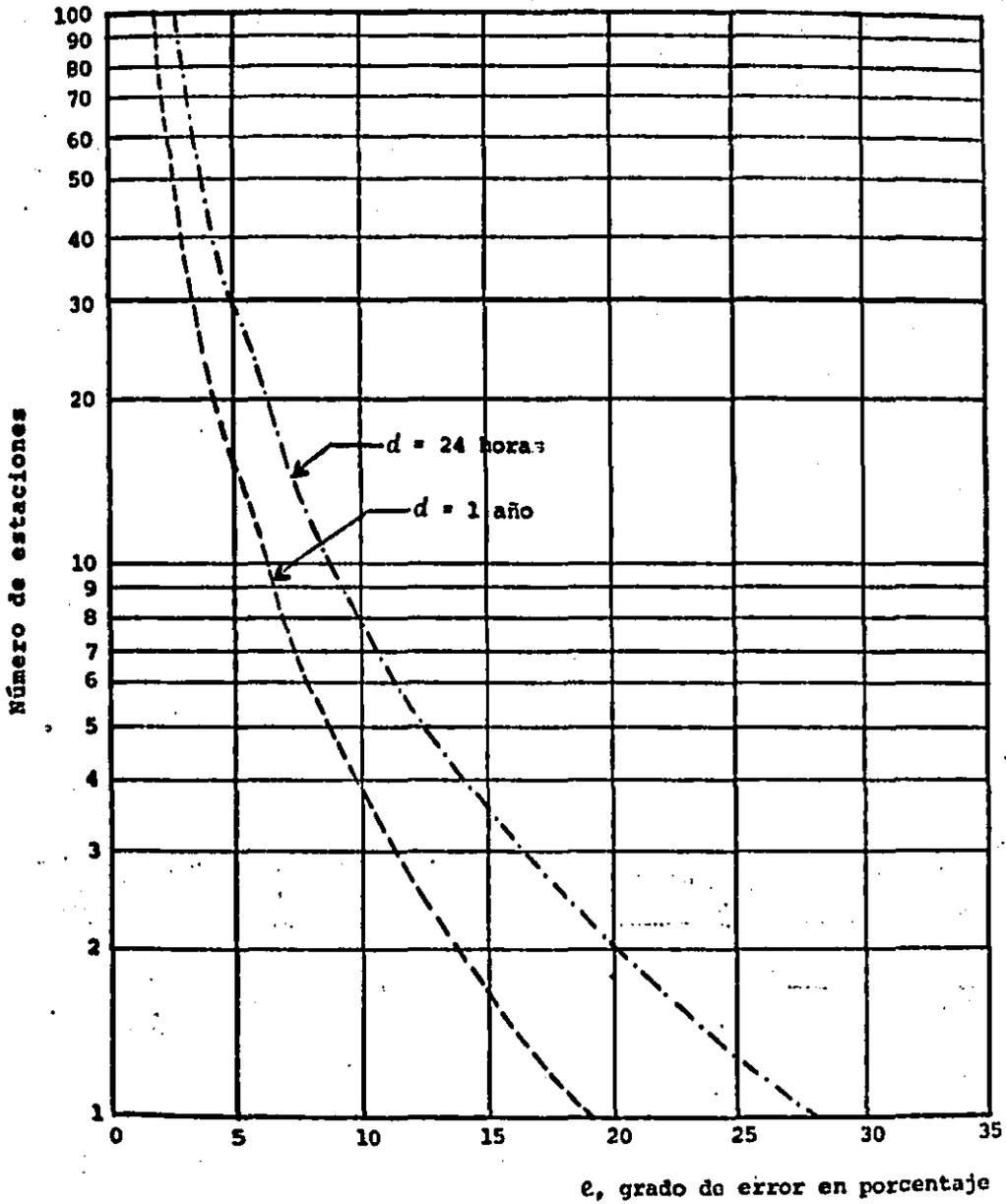


Fig 5.2 Determinación del número de estaciones en función del criterio basado en el coeficiente de variación

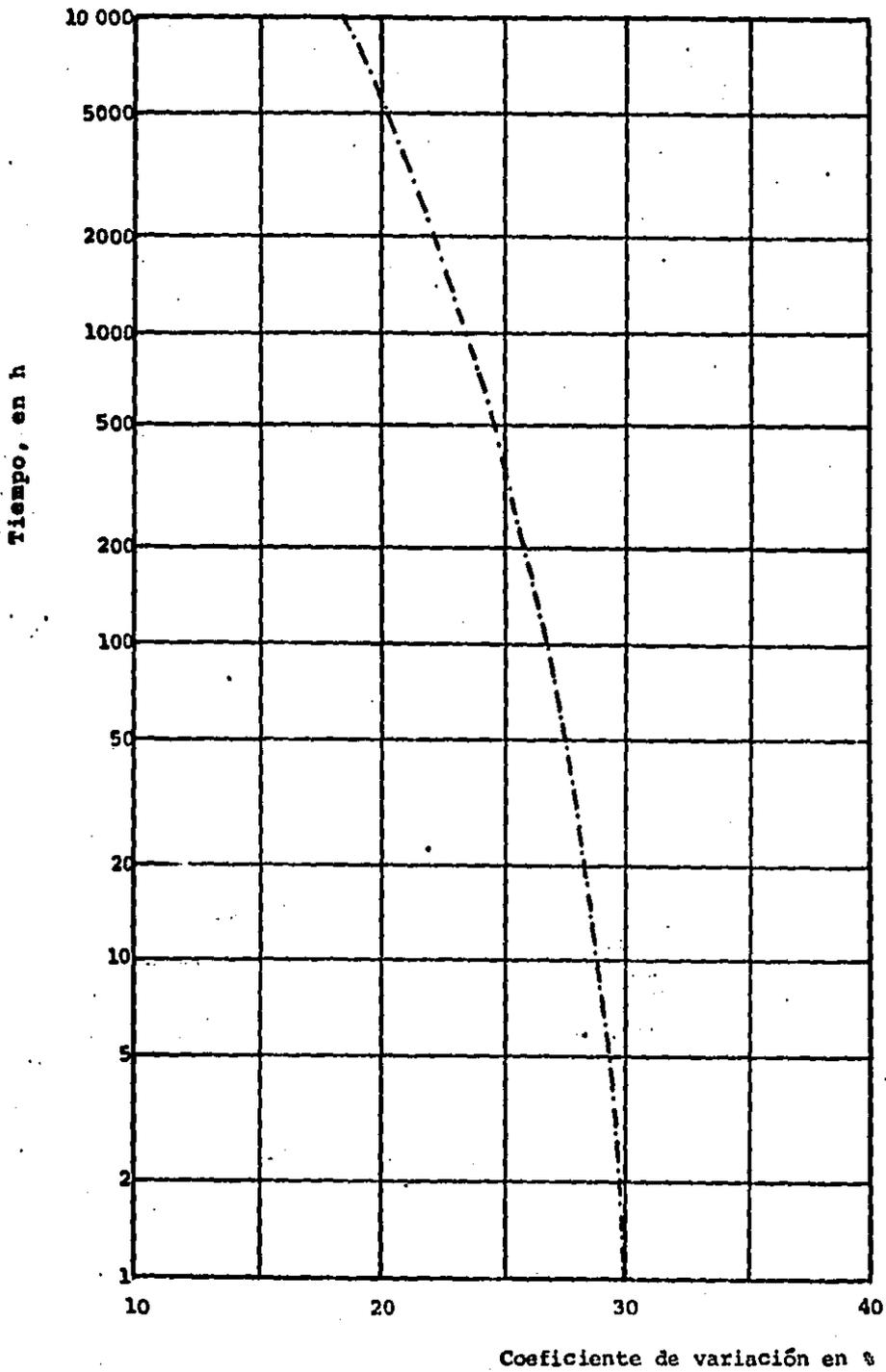


Fig 5.3 Variabilidad del coeficiente de variación de las precipitaciones asociadas a diversas duraciones

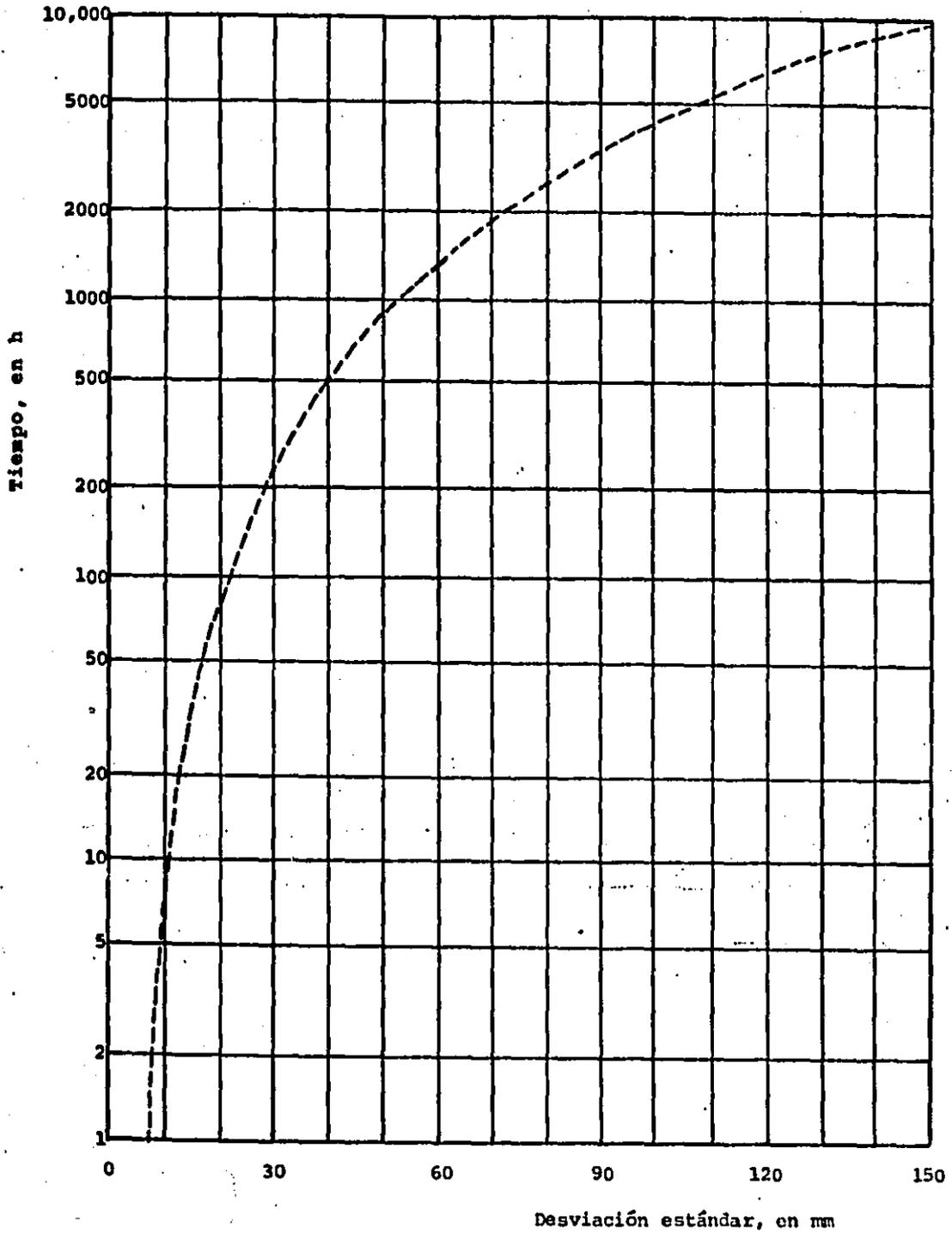


Fig 5.4 Variabilidad de la desviación estándar de las precipitaciones asociadas a diversas duraciones

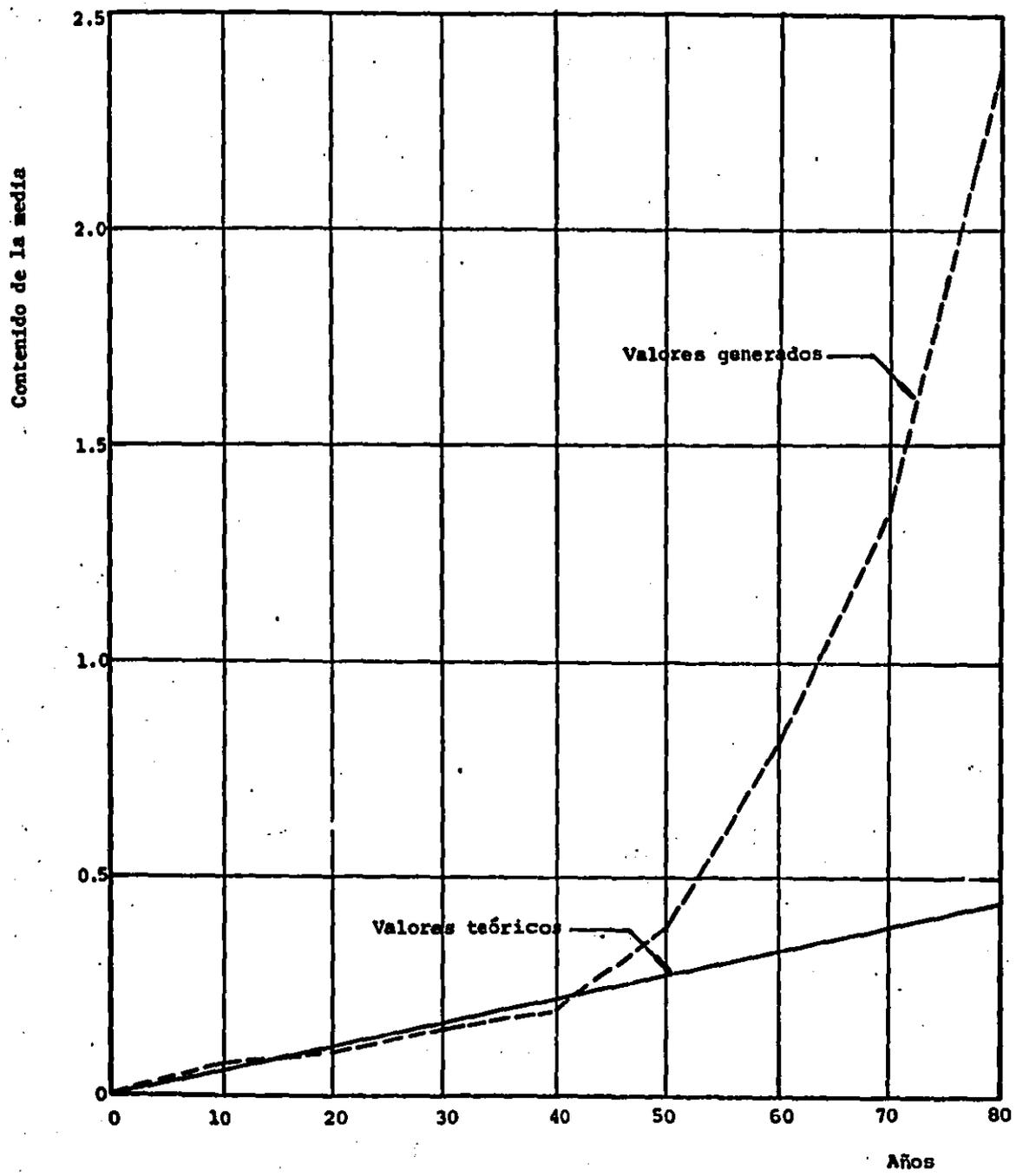


Fig 5.5 Contenido de la media de los valores teóricos y generados

6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para que un sistema de drenaje urbano funcione adecuadamente, es necesario que se analice desde el punto de vista de los tres siguientes aspectos: diseño, operación y mantenimiento. Realizar un estudio que abarque estos puntos requeriría de un gran esfuerzo, motivo por el cual esta tesis se ha enfocado a desarrollar el proceso para el diseño de la tormenta de diseño en una zona urbana, teniendo en cuenta que para efectuar un análisis integral de un sistema, no deben olvidarse los otros dos aspectos.

Del método de regionalización de lluvias propuesto, a continuación se indican algunas de las conclusiones y recomendaciones que se han derivado de este estudio.

El enfoque principal que se le ha dado a este estudio es el de proporcionar un conjunto de factores de ajuste para calcular la tormenta de diseño que puede presentarse

en cualquier área urbana del Valle de México, utilizando para ello los resultados obtenidos en los capítulos 2, 3 y 4. Sin embargo, estos datos pueden servir para el diseño de otros tipos de estructuras hidráulicas tales como vertedores, presas de almacenamiento o derivación, aprovechamientos hidráulicos superficiales, etc.

Una de las características más importantes del método de regionalización de lluvias, criterio que se desarrolla en esta tesis, es la siguiente. Al regionalizar el área de estudio, desde el punto de vista de las precipitaciones, agrupando para tal efecto la información general disponible, se logra homogeneizar el valor de la tormenta de diseño, en contraposición con los métodos tradicionales, ya que al utilizar únicamente la información de la estación más cercana se obtienen resultados incongruentes en áreas relativamente cercanas.

En relación a los factores de ajuste, el que ha presentado más fluctuaciones, debido primordialmente a que las tormentas convectivas que se producen en el Valle de México presentan características muy peculiares, es el factor de reducción por área, desarrollado en el capítulo 4. En efecto, los resultados obtenidos en diversos estudios (ver refs 3, 4, 5 y 13) demuestran que conforme se han utilizado técnicas más depuradas, se han encontrado resultados más precisos y congruentes con los factores que provocan este tipo de tormenta.

Las conclusiones más importantes que se desprenden del

capítulo 5, "Análisis de Variancia", es que la densidad de la red climatológica que opera actualmente, en el Valle de México, es suficiente para calcular las precipitaciones medias regionales asociadas a diversas duraciones. Además, se estableció que el intervalo de tiempo en que se realizará la medición de las precipitaciones, para determinar la función de distribución de probabilidad exponencial, será de 40 años.

Respecto a estudios futuros se recomienda, analizar el factor de reducción por área (FRA) para duraciones menores de 24 horas, cuando se tengan registros suficientes y comprobar de esta forma la hipótesis supuesta al desarrollar este factor de ajuste.

Por otra parte, debido a que en las grandes urbes surgen sistemas de drenaje muy complejos, será necesario desarrollar en el futuro estudios integrales que contemplen las diversas fases de estos sistemas tales como funcionamiento hidráulico, diseño, mantenimiento, etc.

Finalmente, se recomienda realizar, en otras regiones del país, estudios similares al desarrollado en esta tesis, en particular en la zona del altiplano, ya que en esta área al igual que en la Cuenca del Valle de México, los fenómenos meteorológicos que con mayor frecuencia se presentan provocan tormentas convectivas, elemento principal del método de regionalización de lluvias máximas.

REFERENCIAS

- 1.- Bell, F. C., "Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships" Journal Hydraulics Division, ASCE (1969)
- 2.- Bell, F.C., "The Areal Reduction Factor in Rainfall Frequency Estimation" Institute of Hydrology, N° 35, Walling_ford, Inglaterra (1976)
- 3.- "Manual de Hidráulica Urbana", tomo I, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, D.D.F. México (1982)
- 4.- Domínguez R. y Breña A., "Análisis climatológico para la determinación de Tormentas de diseño en el Valle de México", IV Congreso Nacional de Hidráulica, Acapulco, Gro. (1976)
- 5.- Franco V., "Integración de Estudios de Hidráulica Urbana", Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F. (1981)
- 6.- "Flood Studies Report", Vol 2, Natural Environment Research Council, Londres (1975)
- 7.- Court A., "Area-Depth Rainfall Formulas", Journal Geophysical Research, Vol 66, (1961)
- 8.- Raudkivi A. J., "Hydrology", Pergamon Press, England (1979)

- 9.- Capella A., et al, "Estudio del Desague del Valle de México (segunda etapa): Análisis de las Tormentas (Anexo 2)", Informe Interno, Instituto de Ingeniería UNAM, febrero 1976
- 10.- Domínguez R., et al, "Análisis Estadístico", Cap A 1.6, Manual de Diseño de Obras Civiles, Comisión Federal de Electricidad, México, D.F. (1981)
- 11.- Breña A., "Probabilidad y Estadística Aplicada a la Hidrología", División de Ciencias Básicas e Ingeniería, UAM-IZTAPALAPA (1982)
- 12.- "Plan Maestro de Drenaje", Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, D.D.F., México (1981)
- 13.- Capella A., et al, "Estudio del Desague del Valle de México", Primera Etapa, Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, febrero 1976
- 14.- Chow, V. T., "Handbook of Applied Hydrology", Mc Graw-Hill, New York (1964)
- 15.- Franco, V. y Domínguez, R.; "Precipitación", Cap A 1.2, Manual de Diseño de Obras Civiles, Comisión Federal de Electricidad, México, D.F. (1981)

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Linsley, R., Kohler, M. and Paulhus, J. "Hydrology for Engineers" Mc Graw-Hill Book Co., Second Edition, New York (1975)
- 2.- Viessman, W., Knapp, J., Lewis, G. and Harbaugh, T., "Introduction to Hydrology", Second Edition, Harper and Row Publishers, New York (1977)
- 3.- Miller, I. y Freund, J. "Probabilidad y Estadística para Ingenieros", Editorial Reverté Mexicana, S. A. (1973)
- 4.- Bureau of Reclamation, "Diseño de Presas Pequeñas", Department of The Interior USA, Compañía Editorial Continental, S.A., México (1979)
- 5.- Domínguez , R., "Red Hidrológica", Plan Nacional Hidráulico, N° 3, México, D.F., (1976)
- 6.- Colby, A. "Storm Drainage Practices of Thirty-Two cities" Journal Hydraulics Division, ASCE (1969)
- 7.- American Society of Civil Engineers, "Basic Information Needs in Urban Hydrology", ASCE (1969)
- 8.- "Memoria de las Obras del Drenaje Profundo del Distrito Federal", D.D.F., México (1975)
- 9.- Eagleson, P., "Unit Hydrograph characteristics for sewerred areas", Journal Hydraulic Division, ASCE, Vol 88 (1962)

- 10.- Fuentes, O. y Franco, V., "*Tránsito de Avenidas en Vasos*"
Cap A.1.8, Manual de Diseño de Obras Civiles, Comisión
Federal de Electricidad, México, D.F. (1981)
- 11.- Wilson, E., "*Engineering Hydrology*", Mc Millan Press,
Londres (1974)
- 12.- Eagleson, P. et al, "*Computation of Optimum realizable
unit hydrographs*" Water Resources Research, Vol 2 (1966)