

8573

Hid 166

# ESTIMACION DE LA PRECIPITACION MAXIMA PROBABLE

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

David M. Hershfield

Septiembre de 1961.

Adaptado al Español por Hidr<sup>o</sup> Gilberto Antonini  
Sección de Estudios - División de Hidrología - Año 1967.

## ESTIMACION DE LA PRECIPITACION MAXIMA PROBABLE

Por David M. Hershfield

Traducido del " Journal of the Hydraulics División" de septiembre de 1961  
Proceedings of the American Society of Civil Engineers

Aquí se propone un método para el análisis sistemático de los datos de pre cipitación con el propósito de estimar la precipitación máxima probable. Las distri buciones empíricas espaciales y temporales de los errores de muestreo permiten al analista estimar la magnitud de los errores que van unidos a la estadística los cuales son usados para obtener la precipitación extrema. Una comparación de los resultados del método tradicional con aquellos basados en el método presentado aquí, mues tran diferencias en ambas direcciones que ocasionalmente exceden el factor de dos. Se ha hecho énfasis sobre el examen de los datos en lugar de la investigación para los métodos estadísticos óptimos.

### INTRODUCCION

El procedimiento originalmente usado para la estimación de la precipitación máxima probable (PMP) durante los años de 1940 y aún en uso en la década de 1960, con ligeras modificaciones, usa una combinación de un modelo físico y varios paráme tros meteorológicos estimados. Paradojicamente en la mayoría de las investigaciones en las cuales las estimaciones pueden ser comparadas con observaciones reales, la ca lidad de las estimaciones obtenidas por las aproximaciones tradicionales no pueden ser evaluadas. El hecho de que una PMP estimada no pueda ser excedida, no es una nor ma para la evaluación de la calidad de la estimación. La ausencia de la variable de pendiente y el hecho de que la lluvia es el elemento meteorológico más intensamente observado infiere en una aproximación relacionada directamente al volumen mayor de

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

datos de precipitación.

Se han hecho intentos para salvar la aproximación tradicional graduando una muestra de datos de precipitación de acuerdo con algunos valores extremos de distribución, pero se encontraron muchas inconsistencias serias. Primero, no había razón para preferir una que otra distribución. Una curva teórica particular podría proveer un buen ajuste a los datos, pero como todas las curvas matemáticas, la curva teórica presentaba algo teórico en lugar de un panorama real de lo que había ocurrido o que podría haber ocurrido. Segundo, no había fundamento para detenerse en un nivel de probabilidad en particular. Tercero, era poca la información disponible para juzgar acerca de la magnitud de los errores de muestreo unidos a los parámetros de distribución estimados.

En 1961, hay dos renglones que deben ser considerados cuando se estima la PMP; mayores datos y técnicas estadísticas adicionales. Los datos para miles de estaciones están disponibles ahora en una forma cómoda para el análisis de probabilidad, como es, las cantidades de máximos anuales para 24 horas que han sido extraídas de tabulaciones climáticas. También hay en disponibilidad una cantidad aunque mucho más pequeña, pero significativa, de datos de 1 hora. Las innovaciones estadísticas incluyen varias nuevas distribuciones de valores extremos y conocimiento de sus relaciones con cada otra.

El propósito primario de este informe es proporcionar ciertos métodos sistemáticos para el análisis de estas series de lluvias con el fin de reducir el rango de incer-

tidumbre que envuelve las estimaciones de la PMP. Los análisis presentados aquí están basados en lluvias de 24 horas y en cerca de 2.600 estaciones con un total de 95.000 estaciones - año de datos. Una combinación de varios procedimientos estadísticos de cada uno de los datos de las estaciones fueron calculados y examinados en el conjunto a fin de llegar a un encubrimiento estadístico. Debido a que la seguridad es el principal parámetro de proyecto, las mediciones empíricas de varias componentes del error de muestreo han sido determinados para cada procedimiento estadístico. Los factores de ajustes empíricos han sido derivados para tales deficiencias de datos como las muestras tamaños pequeños y el día de lluvia por el del calendario mejor que la máxima lluvia para 1440 mm. Las comparaciones entre la aproximación tradicional y el desarrollado aquí, son presentados para dos grandes regiones de los Estados Unidos.

## ANALISIS

### Definición de la PMP:

Para este trabajo la PMP está definida como la mayor lluvia (precipitación), que una estación es susceptible de experimentar para una duración en particular.

### Datos Básicos:

Los datos de un grupo clave de 198 estaciones de largos registros y para 24 horas de duración. (164 estaciones de primer orden del Weather Bureau United States Dept. of Commerce (USWB) y 34 observadores colaboradores) fueron los usados para desarrollar la mayoría de las relaciones presentadas aquí.

Los registros de lluvias diarias de unas 2.400 estaciones adicionales fueron analizadas para llegar a un encubrimiento estadístico.

Muestra de LLuvia:

La experiencia de la lluvia extrema en una estación puede ser representada por una muestra compuesta de las lluvias máximas anuales para una duración particular. Cada extrema, o lluvia máxima anual, representa entonces un número relativamente grande de observaciones reales, debido a que cada valor en las series es por sí mismo la extrema de un gran número de observaciones. Estas series son susceptibles del análisis probabilístico porque los elementos son fortuitamente independientes y ocurren por un arreglo al azar, ésto es, la magnitud de una extrema para un año particular no es predecible. Se supone que el medidor expuesto permanece la misma duración que el período de muestreo.

Variación Tipificada: (Standardizes Variate)

Definición: Ven T. Chow, F. ASCE demostró que la única diferencia entre las varias distribuciones que conducen a ellas mismas al análisis de los valores extremos de los datos hidrológicos es la variable común estadística K, o la variación tipificada en la ecuación  $X_t = \bar{X}_n + K S_n$  (1) en la cual  $X_t$  es la lluvia para un período de retorno de T años, cuando es usada una distribución particular de valores extremos. Los términos  $\bar{X}_n$  y  $S_n$  son la media y la desviación típica para unas series de N máximos anuales.

Si la lluvia máxima observada,  $X_m$ , es sustituida por  $X_t$ , y  $K_m$ , por  $K$ , entonces  $K_m$  es el número de desviaciones típicas que deben ser añadidas a la media para obtener  $K_m$ . La variable  $K_m$  es un común denominador el cual admite comparación sobre unas bases probabilística de dos maneras: (1). Ella no puede decir cuan extraordinaria es la lluvia máxima observada en una estación con respecto a la máxima en otras estaciones; (2). Cuan extraordinaria es la lluvia en una estación si se asume que los datos siguen una distribución particular. El anterior será presentado primero.

Definición de la variable independiente  $K_m$ .- la variable,  $K_m$ , fué determinada para cada una de las 2.600 estaciones - 24 horas de duración, calculando la media y la desviación típica por los procedimientos convencionales, pero omitiendo la máxima lluvia observada del cálculo. Este cálculo es equivalente a la observación de la máxima lluvia ocurrida después de que  $\bar{X}_n$  y  $S_n$  hayan sido calculados. Las distribuciones de  $K_m$  son dados en la tabla 1. Ni la lluvia máxima observada, ni la media, ni la desviación típica fueron ajustadas para tales deficiencias de datos, así como los registros cortos y los días de observaciones de la lluvia. El término  $K_m$  así usado en este informe de ahora en adelante, se refiere a los cálculos independientes.

#### Independencia y Casualidad de $K_m$

Para que cualquier deducción extractada de las distribuciones del  $K_m$  independiente sea válida, las suposiciones de independencia y casualidad deben ser satisfechas. Los ploteos de algunos de los mayores  $K_m$  no muestran relación sistemática entre la magnitud de la lluvia y la geografía. El examen de los  $K_m$  en 68 estaciones de largo regis-

tro en Iowa, una región donde el régimen de lluvia no está influenciado localmente por la orografía o masas de agua, muestra una variación desde 2.2 a 11.2. La inusitada gran tormenta de enero de 1943 sobre la costa oeste de los Estados Unidos produjo, la máxima lluvia observada de 24 horas para 33 de las 50 estaciones en el condado de Los Angeles Calif (5.000 sq miles), pero los Km asociados con esta máxima varían de 2.2 a 7.1. Estos son indicaciones de que los Km ocurren al azar en redes de pluviómetros tan densos como los investigados y previamente anotados. Para propósitos prácticos la muestra completa de 2.600 Km pueden ser consideradas como un muestreo fortuito tomado de un universo estadístico común de datos de lluvias independientemente de la proximidad de las estaciones o de la tormenta que produce la máxi-  
ma.

Relaciones entre Km y el período de retorno. La segunda característica de Km es que está únicamente relacionada a la probabilidad de ocurrencia de un evento en una estación si la distribución teórica es supuesta. Por ejemplo, un evento de 100 años está asociado con un K de 3.5 para una distribución de Fisher Tippett tipo I (procedimiento de Gumbel) mientras que una K ligeramente más pequeña, quizás 3.1, puede estar asociada con el logaritmo normal de dos parámetros. Como quiera que sea se debe enfatizar que la calidad de los datos ordinariamente encontrados en la práctica sobre muestras del tamaño considerado aquí no justifica el uso de una distribución teórica para arreglar los datos a una probabilidad extraordinaria de un orden de magnitud de 10 elevado a 7 años. El uso de la media y de la desviación típica como calculadores para la PMP proveen la cantidad de exactitud requerida para sacar partido de los datos.

TABLA 1 - DISTRIBUCION DE "KM" (INDEPENDIENTE) PARA LONGITUDES DE REGISTROS SELECCIONADAS

| " KM "        | LONGITUD DEL REGISTRO EN AÑOS |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     | Total |
|---------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|
|               | 10-14                         | 15-19 | 20-24 | 25-29 | 30-34 | 35-39 | 40-44 | 45-49 | 50-54 | 55-59 | 60-64 | 65-69 | 70+ |       |
| 1.00 - 1.49   | 8                             | 12    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     | 20    |
| 1.50 - 1.99   | 41                            | 99    | 5     | 1     |       |       |       | 2     |       |       |       |       |     | 149   |
| 2.00 - 2.49   | 47                            | 171   | 23    | 13    | 8     | 15    | 9     | 10    | 13    | 11    | 1     | 1     | 1   | 335   |
| 2.50 - 2.99   | 36                            | 179   | 12    | 20    | 22    | 13    | 25    | 48    | 45    | 42    | 6     | 6     | 1   | 466   |
| 3.00 - 3.49   | 27                            | 128   | 15    | 22    | 16    | 19    | 30    | 52    | 83    | 54    | 5     | 5     |     | 471   |
| 3.50 - 3.99   | 18                            | 98    | 11    | 20    | 14    | 18    | 20    | 35    | 63    | 44    | 9     | 5     | 5   | 308   |
| 4.00 - 4.49   | 12                            | 51    | 11    | 12    | 10    | 18    | 16    | 34    | 44    | 49    | 11    | 11    |     | 275   |
| 4.50 - 4.99   | 5                             | 34    | 4     | 8     | 7     | 7     | 13    | 31    | 36    | 22    | 2     | 2     | 2   | 175   |
| 5.00 - 5.49   | 5                             | 18    | 1     | 8     | 4     | 10    | 13    | 21    | 18    | 19    | 3     | 3     | 1   | 126   |
| 5.50 - 5.99   | 2                             | 20    | 2     | 1     | 2     | 3     | 6     | 8     | 17    | 12    | 2     | 2     |     | 77    |
| 6.00 - 6.49   | 1                             | 8     | 3     |       | 5     | 2     | 6     | 5     | 7     | 7     | 1     | 1     | 1   | 48    |
| 6.50 - 6.99   | 1                             | 6     | 1     |       |       | 1     | 3     | 4     | 9     | 3     | 2     | 2     |     | 30    |
| 7.00 - 7.49   | 2                             | 8     | 1     | 1     | 1     | 1     |       | 4     | 3     | 3     | 1     | 1     |     | 26    |
| 7.50 - 7.99   |                               | 6     | 1     | 1     | 1     | 1     | 3     | 1     | 1     | 5     | 1     | 1     |     | 21    |
| 8.00 - 8.49   |                               | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 2     | 7     | 1     | 1     | 1     |     | 15    |
| 8.50 - 8.99   | 1                             | 1     |       |       |       |       | 1     | 1     |       | 2     |       |       |     | 5     |
| 9.00 - 9.49   |                               | 2     |       |       |       | 1     | 1     | 1     | 1     | 2     |       |       |     | 8     |
| 9.50 - 9.99   |                               | 1     | 1     |       | 1     | 1     | 1     | 4     | 1     |       |       |       |     | 10    |
| 10.00 - 10.49 |                               | 3     |       |       | 1     | 1     |       |       | 2     |       |       |       |     | 7     |
| 10.50 - 10.99 |                               | 1     |       |       | 1     |       |       |       |       | 2     |       |       |     | 4     |
| 11.00 - 11.49 |                               | 2     |       |       |       |       |       |       | 1     | 1     |       |       |     | 4     |
| 11.50 - 11.99 |                               | 1     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     | 1     |
| 12.00 - 12.49 |                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |       |
| 12.50 - 12.99 |                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     | 2     |
| 13.00 - 13.49 | 1                             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |       |
| 13.50 - 13.99 |                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     | 1     |
| 14.00 - 14.49 |                               |       | 1     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     | 1     |
| 14.50 - 14.99 | 1                             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |       |
| 15.00 -       |                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |       |
| Total         | 208                           | 851   | 92    | 108   | 97    | 85    | 108   | 149   | 260   | 279   | 45    | 11    | 11  | 2645  |

Suficiencia de la muestra. Generalidades:

Debido a que las muestras relativamente pequeñas pueden ser usadas en estos análisis, es pertinente hacer algún examen sobre la suficiencia de estas muestras. Se ha supuesto que una serie de máximos anuales es una muestra probabilística. Sin embargo no es necesariamente una muestra representativa o en otras palabras, una réplica en miniatura del universo estadístico del cual ha sido extractado. Esto es especialmente real cuando se trata con un universo estadístico vasto e inaccesible pero finito. Es también muy posible que los resultados de la muestra no representativa provea una buena estimación de proyecto porque durante el tiempo de vida completo de la estructura hidráulica no se pueda disponer de una muestra representativa, el tamaño de la muestra no es una indicación de lo representativo o de su casualidad, pero el tamaño está relacionado con la magnitud de la variación de la oportunidad que debe ser esperada de una muestra a otra.

La consideración de los principales componentes de la variación del muestreo es un paso previo esencial al análisis del cálculo estadístico los cuales son usados en combinación para llegar a la PMP. Las medidas de la incertidumbre que conlleva la estimación de la media y de la desviación típica son desarrolladas en las secciones siguientes:

La media de las series anuales:

Las Fuentes de desviaciones en la media. Una comparación de los promedios aritméticos de 198 registros de 50 años con aquellos registros para 10 años muestran una

ligera inclinación positiva a favor de la media de los 50 años de registro. Estas desviaciones son así porque la distribución de las extremas están inclinadas hacia la derecha, lo que significa que hay una mayor oportunidad de tomar una extrema grande que una pequeña a medida que la longitud de los registros aumente. Otro factor que puede contribuir a estas desviaciones es la introducción de un valor fuera de grupo, o un evento extraordinariamente grande dentro de la serie de las extremas. El reconocimiento de estos factores es un paso preparatorio importante para calcular tanto la media como la desviación típica.

Ajuste de la media para los valores extraños.

En un estudio redactado en 1960, la distribución de Fisher Tippett tipo 1, fué encontrada para dar una descripción adecuada del comportamiento de las lluvias extremas. Haciendo uso de este conocimiento, la distribución hipotética de los valores extremos para varias longitudes de registros fueron desarrolladas a través de lecturas de valores apropiados sobre un papel de probabilidad de valores extremos (Distribución de Fisher Tippett tipo 1) en la intersección de una línea recta y los niveles de probabilidades  $m/(n + 1)$  en el cual  $m$  es la variación de cada elemento y  $n$  es la longitud del registro. La pendiente de la línea, o la dirección de estas distribuciones hipotéticas, fueron hechas igual al promedio de 198 estaciones 100 años a 2 años relación de 2,5. Las relaciones de dos medias fueron calculadas para varias longitudes de registro: la

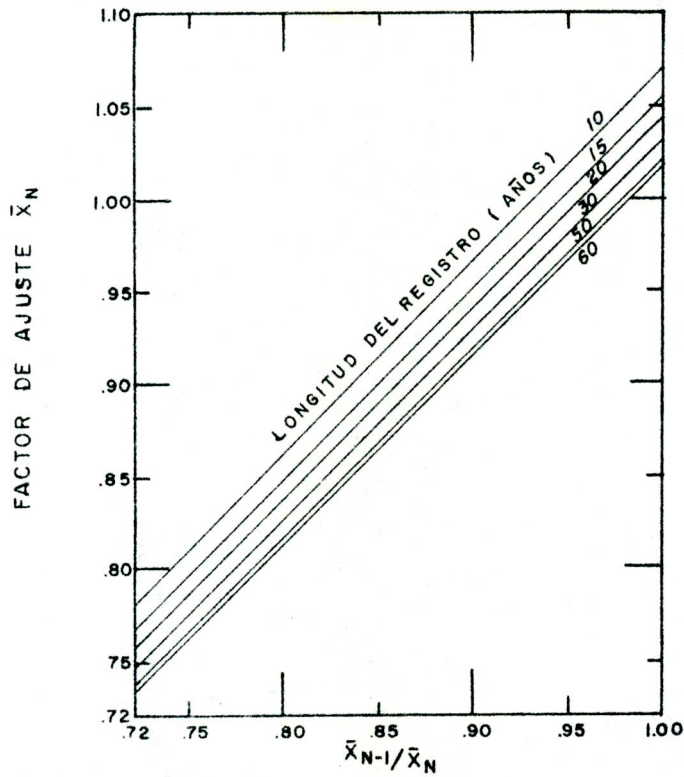


FIG. 1 - AJUSTE DE LA MEDIA PARA PRECIPITACION MAXIMA AJUSTADA.

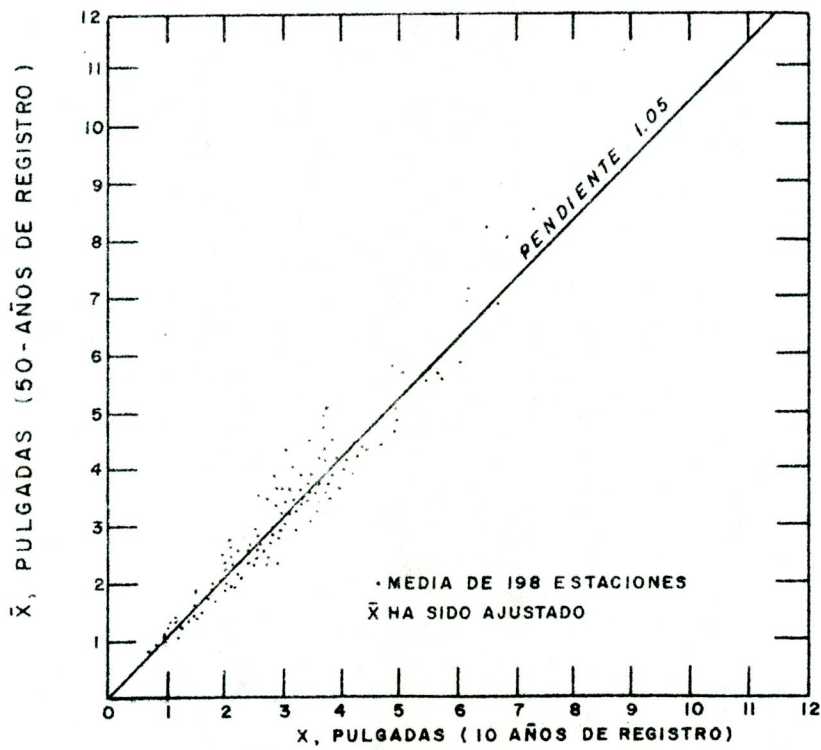


FIG. 2- COMPARACION ENTRE LAS MEDIAS PARA 50 Y 10 AÑOS DE REGISTRO.

media del numerador no incluye el evento máximo observado mientras que el denominador incluye todos los eventos. Las relaciones adicionales fueron desarrolladas mediante la variación del evento máximo a partir de tres veces el segundo evento mayor hasta igualarlo con el segundo mayor, la relación entre el incremento de la media como una función de la relación de las dos medias y la longitud del registro, está ilustrada en la figura 1. Por ejemplo, si la relación de dos medias para veinte años de registro es 0.90 entonces la media que fué calculada a partir de todos los datos, esta multiplicada por 0,94 ó reducida aproximadamente en un 6%. Es de hacer notar que estas relaciones consideran solamente el efecto del evento máximo observado sobre la media. Ninguna otra consideración fué dada a las otras anomalías que aparecen en las observaciones.

Ajuste de la media por el tamaño de la muestra:

Las medias tanto para los registros de 10 años como para los de 50 años a partir de las 198 estaciones claves fueron primeramente ajustadas para un valor extraño de acuerdo con la relación de la figura 1. Las relaciones promedio de la media de 50 años, hasta 10 años, 15 años, 20 años y 30 años fueron entonces determinadas. Una comparación del pequeño número disponible de las medias de 60 y 70 años con las de 50 años mostraron solamente una diferencia despreciable. Así que los valores estadísticos para los registros de 50 años fueron usados como típicos para ajustar a aquellos de registros más cortos. La figura 2, muestra un ploteo de las medias de 50 años contra aquellas de 10 años después de haber sido ajustadas para el máximo evento observado. La desviación promedio

parece ser de alrededor del 5% con un error de muestreo promedio de aproximadamente 5%. El diagrama A de la figura 3, presenta las relaciones que deben ser usadas para ajustar la media por el tamaño de la muestra, por ejemplo, la media de 20 años de registro podría ser ajustada hacia arriba aproximadamente en un 2% para hacerla comparable con la típica de los 50 años.

### MEDIDA DEL ERROR DEL MUESTREO ESPACIAL

Los datos diarios fueron examinados en 68 estaciones de largo registro en Iowa a fin de obtener alguna perspectiva de la variación espacial de la media. Aunque una ligera tendencia latitudinal existe, la discrepancia promedio alrededor de todas las medias de 2,5 pulgadas es 0,2 pulgadas. Esto indica que la media de las series anuales es un valor estadístico relativamente estable.

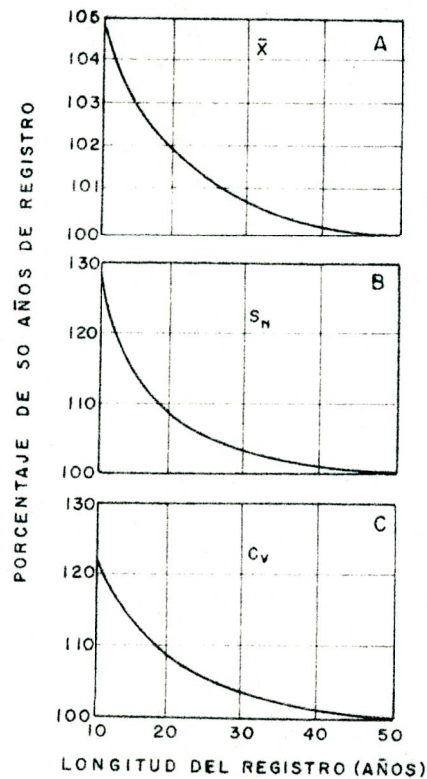


FIG. 3 - DIAGRAMAS DE AJUSTE PARA TAMAÑOS DE LAS MUESTRAS PARA MEDIAS, DESVIACION TÍPICA Y COEFICIENTE DE VARIACION.

### DESVIACION TIPICA

Definición: Otro dato estadístico común y fácil de entender es la desviación típica. Esencialmente, este dato estadístico es una medida de dispersión del dato, al rededor de su media. Cuando se trata de lluvias extremas, esta es una medida desequilibrada alrededor de la media de una distribución, la cuál es oblicua hacia la derecha, el coeficiente promedio de oblicuidad de una muestra seleccionada de 118 estaciones 24 - hr., para un registro común de 43 años será de aproximadamente 1.2.

Las tres principales causas de incertidumbre para estimar la desviación típica son los errores de muestreo debido a la variación espacial, tamaño de la muestra, y la inclusión de valores extraños dentro de la distribución. El grado de confianza que se tendrá en la desviación típica de una estación sencilla puede ser estimado de las siguientes relaciones.

#### Medición de la variación de muestreos en el espacio :

La posibilidad de ocurrencia de varias lluvias largas en una estación y de ninguna en otra estación cercana puede dar como resultado una gran discrepancia entre las desviaciones típicas de las dos estaciones. El problema en esto es el de obtener alguna medida de esta variación que se presenta entre las estaciones. Las 68 estaciones 24 hr, en Iowa fueron de nuevo seleccionadas para el análisis. Como se indicó antes, el régimen de precipitación en Iowa no está influenciado localmente por masas de agua u orográficamente. Hay, sin embargo, una ligera y sistemática variación por latitud a través del estado, la cual no fué considerada. Una medición de las variaciones intrínsecas de los muestreos espaciales es provista por la dispersión alrededor de la desviación

típica media 0.97 pulgadas. La desviación típica oscila desde 0.70 hasta 1.30 pulgada, con dos tercios de ellos dentro del intervalo 0.81 hasta 1.13 pulgada.

"El efecto de un valor extraño"

El efecto de un valor extraño es mucho más grande en la desviación típica que el efecto previamente demostrado para la media. Por ejemplo, en 1955, 12.12 pulgada, ocurrieron en Hartford, Conn., durante un período continuo de 24 horas. Esta cantidad excedió a la máxima previamente observada en 80 e incrementó la desviación típica en 67%, pero la media fué solo incrementada en un 6%. Para registros más cortos, un evento anómalo puede incrementar la desviación típica en varios cientos de porcentajes.

"Ajuste de la desviación típica para valores extraños"

Una prueba estadística fué creada en base a las mismas series hipotéticas y procedimientos desarrollados previamente para la media. El procedimiento estadístico es la relación de dos desviaciones típicas y es sensitiva a la clase de anomalías esperadas. El numerador no incluye el máximo valor observado en el cálculo de la desviación típica por cuanto en el denominador se incluyen todas las observaciones. La relación gráfica se muestran en la figura 4. Una relación promedio de 0.85 para un registro de 15 años, indica que la observación extrema ocurre de acuerdo a una distribución de probabilidad la cual define una línea recta en el papel de valores de probabilidades extremas con una pendiente equivalente a la relación 2.5 entre los 100 años y los 2 años. Es

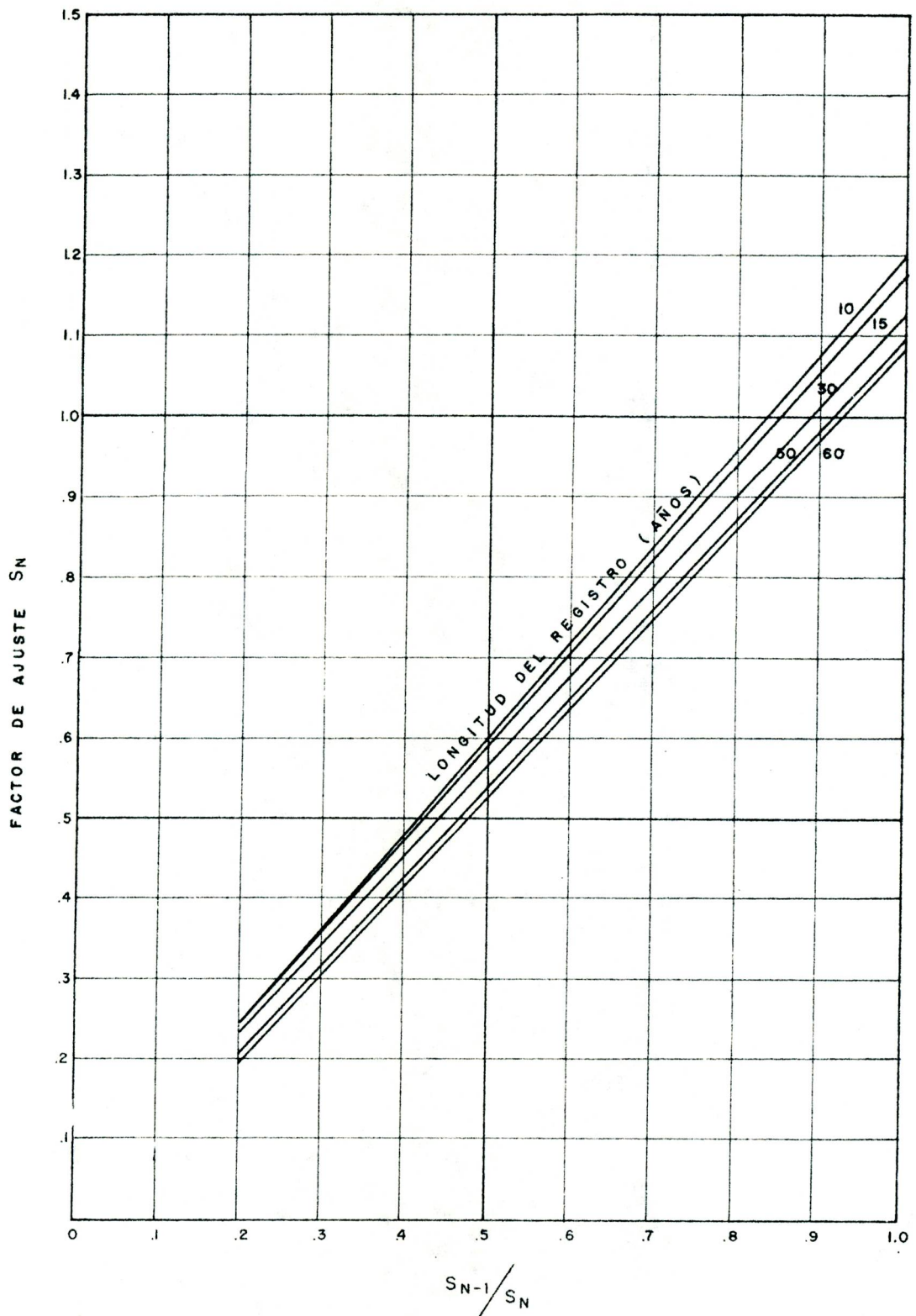


FIG. 4- DIAGRAMA PARA AJUSTAR LA DESVIACION TIPICA POR LA PRECIPITACION MAXIMA RESERVADA

to significa que no hay ajuste para la desviación típica. Una relación de 0.70 indica que un valor extraño está en la serie de valores extremos, esto es que, un evento extremadamente raro, tal vez, un evento de 1.000 años que ocurre durante un corto período de registro. La desviación típica debe ser entonces ajustada hacia abajo o reducida en aproximadamente un 20%.

#### "Distribución de las relaciones de las desviaciones típicas"

Las distribuciones empíricas de estas relaciones para el grupo clave de 198 estaciones de 24 horas están ilustrados en la figura 5 en la forma de histogramas. La dispersión de las relaciones alrededor de su media, varía inversamente con la longitud del registro, esto es, la variación fortuita alrededor del valor medio es considerablemente menor cuando las frecuencias son calculadas a partir de largos grupos de registros que cuando son calculados a partir de cortos grupos de registros. El histograma con 15 años de registro muestra, que aproximadamente dos tercios de las relaciones tienen que dejarse fuera de la relación 0.85 ó que la máxima para dos tercios de las estaciones ocurrió antes que sus períodos de retornos promedios. Esto es compatible con la probabilidad teórica que mantiene, que hay aproximadamente una posibilidad de 2.1 de que un evento ocurra antes que su período de retorno promedio.

#### "Ajuste por tamaño de las desviaciones típicas para las muestras"

El efecto de la longitud del registro es mucho más pronunciado en la magnitud de la desviación típica que en la media. La relación promedio de la desviación típica

para 50 años con la de 10 años, después que ambas han sido ajustadas para una envolvente superior es de 1.29. Esto se compara con la relación 1.05 para la media. La comparación de las dos desviaciones típicas están ilustradas en la figura 6.

La relación promedio entre la desviación típica para 50 años la cual fué usada como patron, y las desviaciones típicas para los registros cortos se muestran en el diagrama B de la figura 3. Las pruebas de comparación de las desviaciones típicas del pequeño número de 60 años y 70 años de registro con los de 50 años de registros mostraron un incremento promedio de solo el 1%. Por esto, la desviación típica de 50 años fué usada como un patron de referencia para la estimación del problema de este reporte.

#### "COEFICIENTE DE VARIACION"

Definición: El valor numérico del coeficiente de variación ( $C_v$ ) se obtiene dividiendo la desviación típica por la media. Este procedimiento estadístico expresa la variabilidad de una distribución como un porcentaje de la media. En otras palabras, mientras más grandes es  $C_v$ , más grande será la dispersión del dato alrededor de su media. Una ilustración gráfica en papel logarítmico normal mostrará los datos asociados con una gran  $C_v$  teniendo una pendiente más empinada que los datos asociados con una  $C_v$  relativamente más pequeña.

#### "VARIACION GEOGRAFICA"

Debido a que  $C_v$  muestra alguna variación geográfica sistemática, esta es una guía especialmente valiosa para estimar la desviación típica. La media, ó denominador, mostró ambas pequeñas variaciones temporales para las 198 estaciones o variabilidad es

FIG. 5. DISTRIBUCIONES EMPÍRICAS DE LAS RATAS DE LA DESVIACION TIPICA

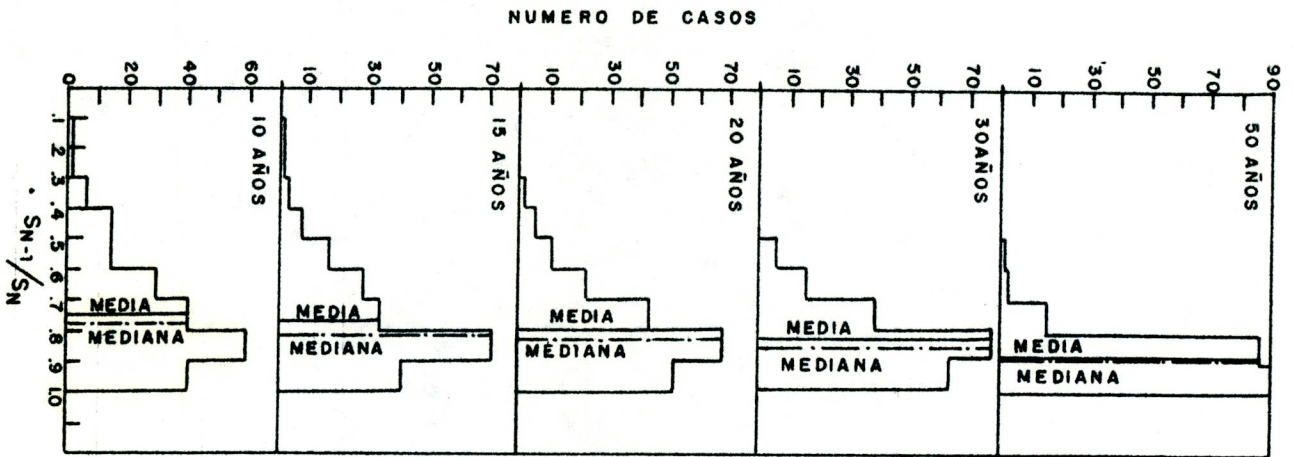
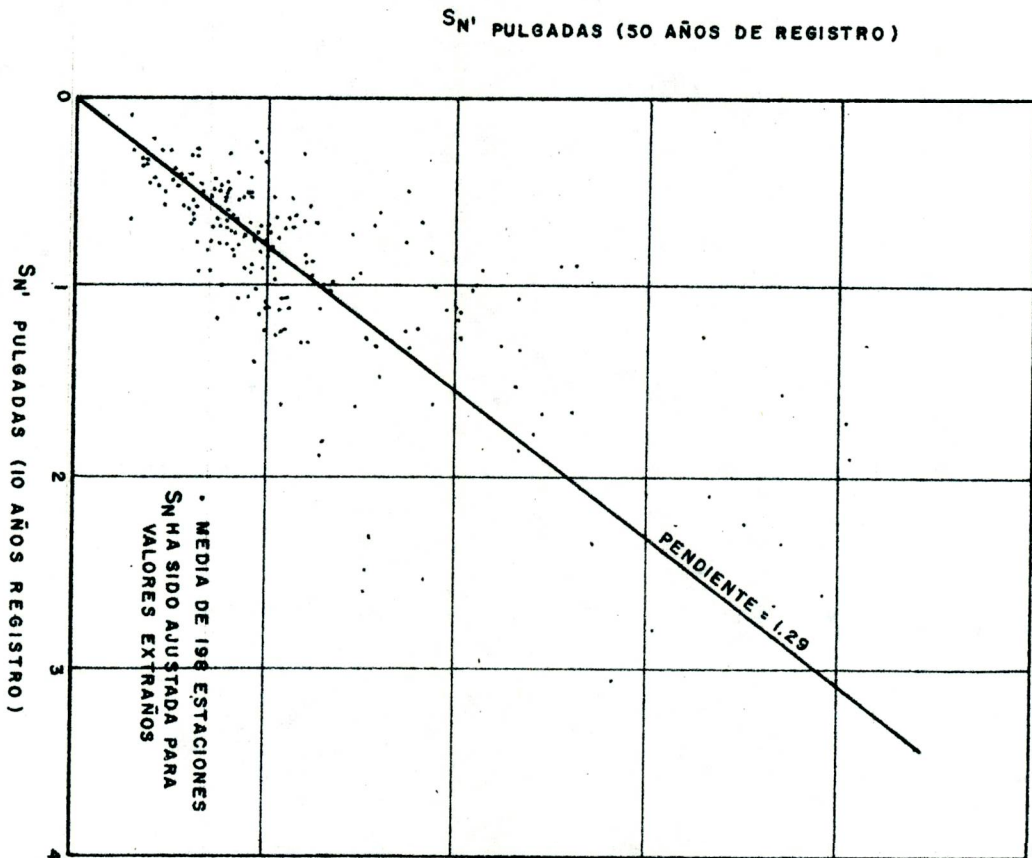


FIG. 6 - COMPARACION DE LAS DESVIACIONES TIPICAS DE 50 Y 10 AÑOS DE REGISTROS



pacial para las estaciones de Iowa. El promedio Cv para los 2.600 estaciones investigados por este estudio, es aproximadamente 36%, con 90% de las estaciones cayendo en el intervalo entre 30% y 40%. Los Cv al Noroeste del estado de Washington y en el Barlovento de las montañas de la sierra son generalmente menores que el 30%, mientras que Hawaii, algunas partes del medio-oeste de los Estados Unidos, y las áreas desiertas de California y Arizona, estan generalmente alrededor del 50%

Este efecto geográfico está lo suficientemente pronunciado en estas regiones para que trasciendan en algunas de las fluctuaciones del muestreo descritos en conexión con la desviación típica. También, este efecto puede ser explicado parcialmente considerando la meteorología de la región en particular. Por ejemplo, las tormentas más intensas en la región desierta de Arizona estan asociadas con una tronada. Debido a que las tronadas con precipitación ocurren en una franja manchada, la posibilidad de que una fuerte precipitación ocurra en una estación en particular es bastante pequeña. Sin embargo, la ocurrencia de varias largas y extremas precipitaciones y un largo número de precipitaciones relativamente pequeñas a través de un período de años repercute en una gran Cv. Aquí, las precipitaciones que forman las series anuales estan asociadas con sistemas de tormentas las cuales cubren miles de millas cuadradas y ocurren muchas veces en el año. Combinado con esto, está el efecto orográfico el cual ayuda a extraer una larga cantidad de humedad de cada tormenta que pasa. El resultado es unas series de máximos anuales que varían muy poco de año en año.

"Ajuste por el tamaño de la muestra" ya se ha establecido que la media y la desviación típica aumentan con el tamaño de la muestra. Debido a que la desviación

típica aumenta más rápidamente que la media, la Cv también aumenta con el tamaño de la muestra. Esto está ilustrado en el diagrama C de la figura 3, el cual fué preparado de los datos usados para construir la media y el diagrama de desviación típica de la misma figura.

"Ajuste Empírico para los Datos Deficientes"

"Series de días observados versus Series de 1440 Minutos". La mayoría de las observaciones de precipitación son hechas en aparatos no registradores con la subsecuente deficiencia, que las cantidades son para un comienzo y final arbitrarios más bién que para el período que contiene la máxima precipitación. En el ajuste de una precipitación de 2 años, o cualquier otra cantidad de período de retorno, derivado de una serie de días específicos o de días observados de precipitación por medio del factor 1.13 hacen el nuevo resultado equivalente al de la precipitación de 1440 minutos para el período de retorno correspondiente. La pequeña incertidumbre que envuelve el uso de esta relación aparece en la figura 7 para un grupo de veinte estaciones geográficamente dispersadas con un gran rango en la magnitud de la lluvia.

"Cantidad de días observados versus cantidad de 1440 minutos para una tormenta individual" Muy a menudo la larga y continua precipitación de 24 horas es hecha en parte de dos cantidades de días observados. Es entonces necesario determinar que cantidad del total de los dos días ocurre verdaderamente en un período continuo de 1440 minutos. La relación empírica establecida para este propósito está compuesta del máximo día observado y un medio de la precipitación máxima del día adyacente, como esta dado en la ecuación:

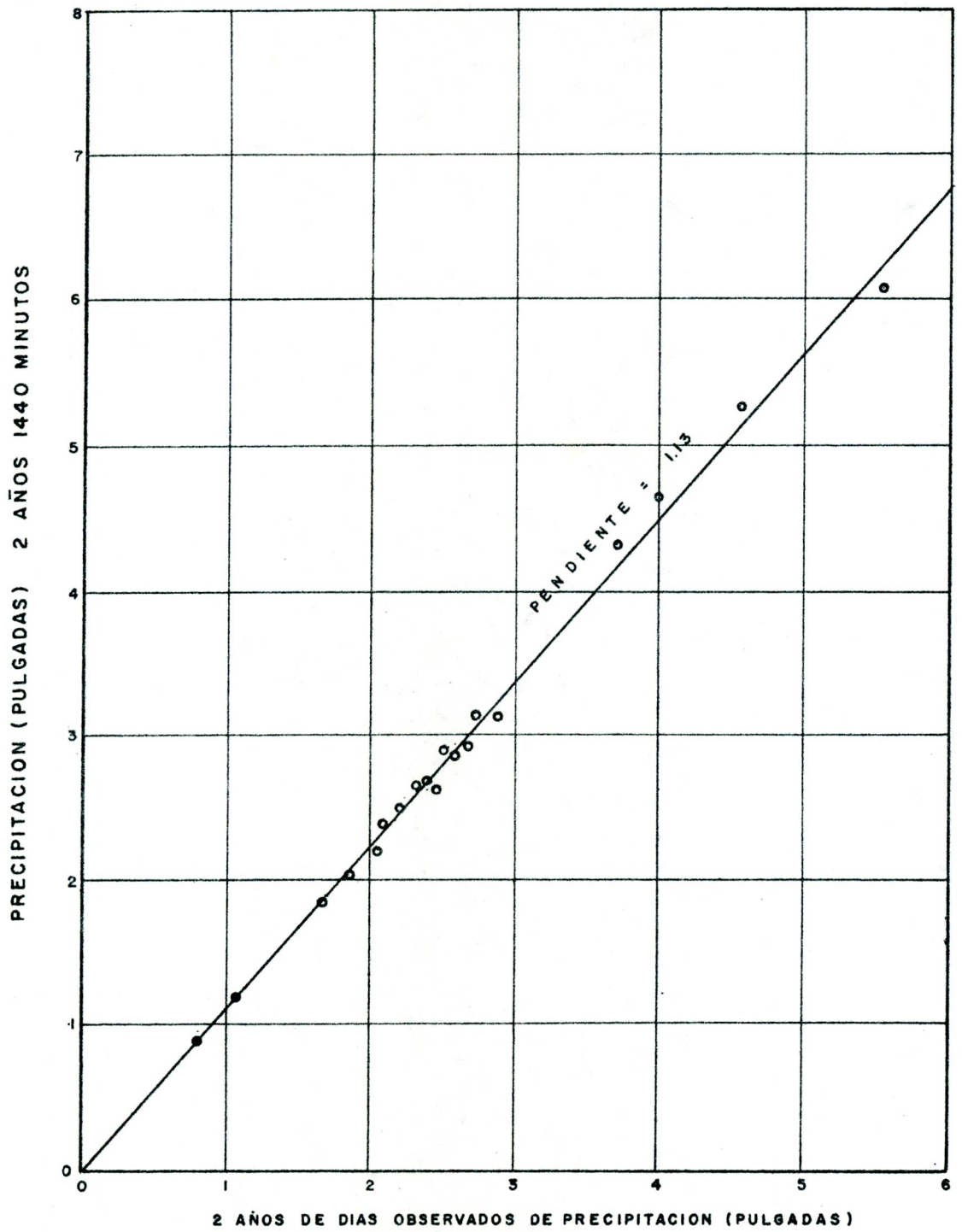


FIG. 7- RELACION ENTRE LA PRECIPITACION DE 2 AÑOS 1440 MINUTOS Y LA PRECIPITACION DE 2 AÑOS DE DIAS OBSERVADOS

Precipitación 1440 minutos = max día - obs. +  $1/2$  max precip - día - obs -  
ady (2). El diagrama de dispersión de la figura 8 da una ilustración de la calidad de  
esta relación para 124 tormentas de estaciones muy dispensadas.

#### Precipitación sobre área:

En general todos los análisis presentados hasta ahora se han basado en lluvias  
puntuales, pero la profundidad sobre área es requerida para el diseño de estructuras  
hidráulicas. Un gran número de profundidades sobre área basadas en un grupo de esta-  
ciones ha sido estimado para tormentas intensas sobre grandes áreas. Sin embargo, la  
calidad de estas estimaciones no es mensurable. Un pequeño número denso de redes de  
pluviómetros provee lo que podría ser considerado formalmente estimaciones de área pe-  
ro, infortunadamente estas redes no han sido experimentadas en largas tormentas poco  
usuales.

"Variación con medidores de densidad" El dato de una red de 40 medidores,  
cubriendo aproximadamente 400 millas cuadradas en Virginia del Oeste, fueron anali-  
zadas para obtener alguna medida de solo una componente de error de muestreo, las  
profundidades promedio de subredes geográficas balanceadas fueron comparadas con  
las profundidades de la red de 40 medidores. Aunque con algunas correlaciones elabo-  
radas como resultado de comparar una parte con el todo. Los resultados de la figura 9  
muestran un gran grado de dispersión. A falta de algo mejor, los resultados numéricos  
tomados de las curvas de profundidad - área para 24 horas, que se encuentran en la pu-  
blicación técnica N° 38 y presentados en la tabla 2, pueden ser usados para pequeñas

áreas.

### "ESTIMACIONES EMPIRICAS DE LA PMP"

Racional.- La envolvente de Km a partir de un gran número de Km computados parecería proveer un índice aceptable para estimar la PMP. En la tabla 1, se observa que hay cuatro valores de Km entre 13 y 15. El quince fué considerado el orden apropiado de magnitud para Km, ya que este envuelve todas las precipitaciones máximas observadas de 24 horas en estaciones oficiales, las cuales tienen una series de máximas anuales.

"Método para calcular la PMP de 24 horas".- Hay seis pasos fundamentales para el cálculo de la PMP por el método dado aquí. Primero, la media y la desviación típica se calculan por los procedimientos convencionales. Segundo, la media y la desviación típica son ajustados para sus precipitaciones máximas observadas de acuerdo a las relaciones de las figuras 1 y 4. Tercero, la media y la desviación típica están ajustadas hacia arriba, cuando es necesario, conocer el patrón de 50 años en longitud. En el cuarto paso la media se le suma al producto de quince veces la desviación típica.

TABLA 2. Radio de 10 millas cuadradas en relación con precipitaciones de N-mi-llas cuadradas.

| Area, N-millas cuadradas<br>(1) | Radio<br>(2) |
|---------------------------------|--------------|
| 50                              | 0.95         |
| 100                             | 0.93         |
| 200                             | 0.90         |
| 400                             | 0.87         |

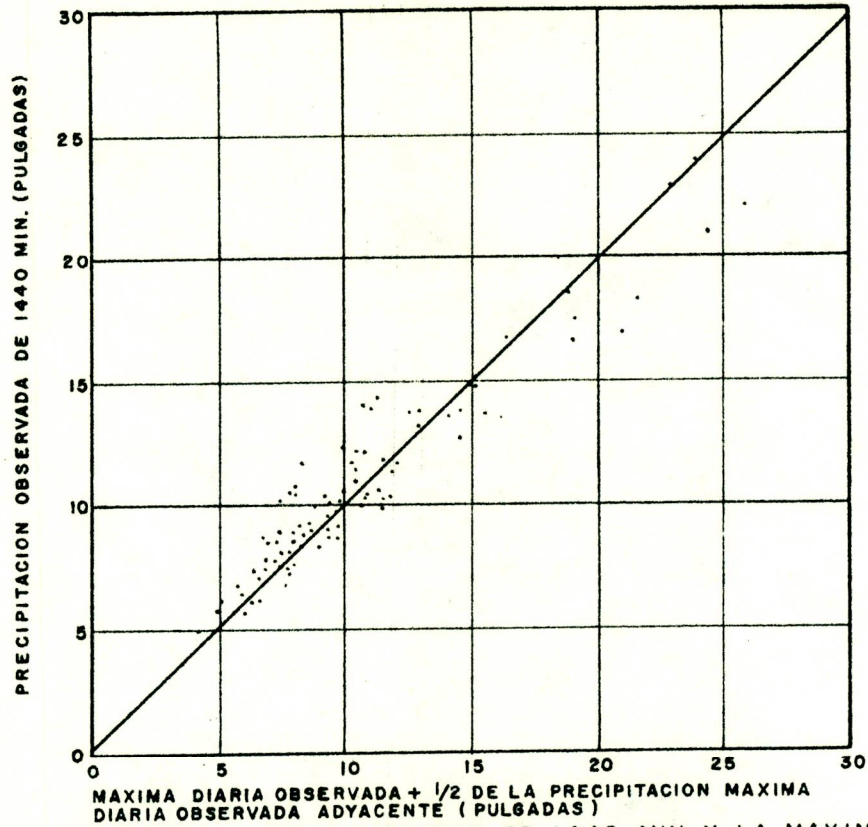


FIG. 8- RELACION ENTRE LA PRECIPITACION DE 1.440-MIN. Y LA MAXIMA DIARIA OBSERVADA +  $\frac{1}{2}$  LA MAXIMA PRECIPITACION DIARIA OBSERVADA ADYACENTE

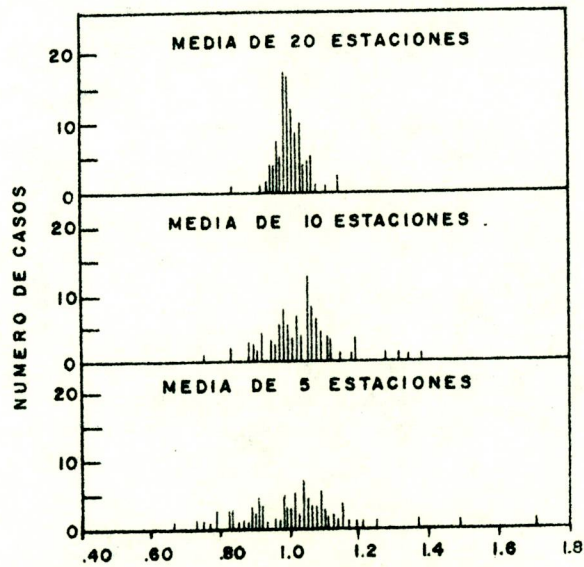


FIG. 9 - TASA DE LA MEDIA DE N ESTACIONES CON LA MEDIA DE 40 ESTACIONES

Como un quinto paso, los valores diarios observados son multiplicados por 1.13. Finalmente, y sumamente importante, los Cv de estaciones cercanas deben de ser comparados unos con otros. Cuando aparecen grandes discrepancias, los datos para varias estaciones debe ser plotado sobre algún tipo de papel de probabilidad de valores extremos para determinar si el Cv es el resultado de una tendencia que ha sido operacional a través de un largo período de tiempo o el resultado de uno o más eventos anormales. Si pareciera necesario, la Cv debe ser ajustada cambiando tan solo la desviación típica. La media, como previamente fué mostrada, es un dato estadístico relativamente estable.

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA