

METODO PARA CALCULAR LAS CURVAS DE INTENSIDAD- DURACION-FRECUENCIAS DE LLUVIAS DE UN AREA GEOGRAFICA A PARTIR DE LA INFORMACION PLUVIOMETRICA

Por: Israel Bastidas Bohorquez *

* Ingeniero Civil M.S.

Angel Montoya Curipoma **

** Ingeniero Civil M.S.

Ana Vaque Vargas **

*** Ingeniero Civil

Instituto de Investigaciones y Estudios Avanzados
de la Universidad de Guayaquil.

RESUMEN

En este trabajo se presenta el resultado del análisis de las relaciones horarias de lluvia en pluviógrafos observándose que son iguales a las relaciones encontradas en otras partes del mundo, confirmándose así el aparente carácter universal de esas relaciones; por lo que en base a ello, se deriva un método para calcular las curvas intensidad - duración - frecuencia aplicando dichas relaciones a la información diaria de lluvia registrada en pluviómetros. El método se aplica a la región de la Cuenca Baja del Guayas Sector Suroriental. Como resultado se presentan las curvas intensidad - duración - frecuencia de esa región y la comparación de la lluvia calculada y la lluvia registrada en la estación San Simón.

INTRODUCCION

Para el diseño de las diversas obras requeridas para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos, drenaje urbano, vías de comunicación, etc., es necesario el conocimiento de las características de la lluvia en cuanto se refiere a su intensidad.

Para este análisis se requiere como información básica la lluvia para diferentes intervalos de tiempo, menores y mayores que una hora. Por lo expuesto, este tipo de información sólo puede obtenerse de registros continuos, es decir, de aquellas estaciones equipadas con pluviógrafos. Este requerimiento constituye una gran limitación por cuanto en países en desarrollo, sólo se dispone de esta información en muy pocos sitios. De allí, que la intención del presente trabajo es presentar una metodología que supla esta deficiencia, tomando en consideración la disponibilidad de estaciones con registros pluviométricos que son frecuentes en nuestro medio.

En efecto, en base a los registros pluviométricos se han derivado intensidades de lluvia para diferentes intervalos de tiempo y frecuencias, utilizando relaciones que ha sido verificadas a nivel mundial.

2. VERIFICACION DE LAS RELACIONES HORARIAS DE LLUVIA.

En referencia bibliográfica 1 se establece que para los Estados Unidos se cumplen las relaciones que se muestran en la Tabla 1 con respecto a la lluvia de una hora, para un mismo período de retorno.

TABLA 1

DURACION	RELACIONES
5	0.29
10	0.45
15	0.17
30	0.79

En la misma referencia, Bell ha extendido esas relaciones para incluir lluvias de dos horas, llegando a establecer una relación de 1.25 con respecto a la lluvia de una hora del mismo período de retorno y, es más, establece que esas relaciones son independientes del período de retorno. En este trabajo, para la lluvia de dos horas, se encontró que 1.20 reproducía mejor la información registrada en el pluviógrafo, como resultado del análisis de los pluviógrafos de las estaciones Guayaquil - Aeropuerto, Bucay, San Simón y Cañar que muestra la Tabla 2.

Por otra parte, relaciones determinadas por otros países como Australia y la Unión Soviética, basadas en ecuaciones empíricas, tienden a confirmar los valores dados por Estados Unidos y sugieren que estas relaciones son aplicables a todo el mundo.

De lo anterior se deduce que, el punto de partida es la lluvia correspondiente a una hora de duración. A este respecto en la misma referencia bibliográfica 1 se indica que: "La idea de estimar la lluvia de una hora como una relación de la lluvia de 24 horas, cuando la lluvia registrada de una hora no está disponible, no es nueva. Hershfield y Wilson desarrollaron un método de estimación de la lluvia de una hora, como una relación de la lluvia de 24 horas basado en el número medio anual de días con tormenta. Murry

TABLA N^o 2

VERIFICACION DE LA RELACION HORARIA DE LLUVIA EN PLUVIOGRAFO DE LAS ESTACIONES SAN SIMON, BUCAY Y GUAYAQUIL.

ESTACION SAN SIMON					ESTACION BUCAY			
AÑO	P1 (mm)	Pd (mm)	P ₂₄ =1.20Pd (mm)	$\frac{P1}{P_{24}}$	P1 (mm)	Pd (mm)	P ₂₄ =1.20Pd (mm)	$\frac{P1}{P_{24}}$
1969	10.2	33.0	39.600	0,258	-	-	-	-
1970	22.0	23.5	28.200	0.780	46.8	64.5	77.520	0.604
1971	17.0	31.7	38.040	0.447	46.5	81.4	97.680	0.476
1972	30.2	33.5	40.200	0.751	43.8	124.2	149.040	0.294
1973	11.4	38.0	45.600	0.250	-	-	-	-
1974	15.1	29.3	35.160	0.429	37.4	84.7	101.648	0.368
1975	12.3	32.1	38.520	0.319	-	-	-	-
1976	9.1	33.9	40.680	0.224	65.7	84.7	101.648	0.646
1977	36.7	45.3	54.360	0.675	31.9	104.2	125.040	0.255
1978	24.0	45.2	54.240	0.442	62.4	124.4	149.280	0.418
1979	17.2	38.3	45.960	0.374	37.5	93.6	112.320	0.334
1980	25.8	26.7	32.040	0.805	-	-	-	-
1981	13.8	35.0	42.000	0.329	44.1	109.1	130.920	0.337
1982	24.5	46.8	56.160	0.436	42.0	100.5	120.600	0.348
1983	22.2	37.7	45.240	0.491	-	-	-	-
1984	16.2	28.3	33.960	0.477	64.0	110.3	132.360	0.484
1985	10.2	31.4	37.680	0.271	55.5	110.3	132.360	0.419

SUMA = 7,758

SUMA = 4,983

MEDIA= 0,456

MEDIA= 0,415

DESV EST.= 0,190

DESV EST.= 0,120

P1 = Altura de lluvia máxima en 1 hora registradas en pluviógrafo

Pd = Altura de lluvia máxima diaria anual

 P₂₄ = Altura de lluvia máxima en 24 horas.

ESTACION : GUAYAQUIL

AÑO	P1 (mm)	Pd (mm)	P ₂₄ = 1.2 Pd (mm)	$\frac{P1}{P_{24}}$
1951	26.5			
1952	31.6			
1953	60.0			
1954	29.1			
1955	-			
1956	-			
1957	52.8			
1958	-			
1959	-	155.5	186.60	-
1960	45.9	105.0	126.00	0.364
1961	32.7	53.4	64.08	0.510
1962	41.0	44.6	53.52	0.766
1963	25.8	50.7	60.84	0.424
1964	26.4	68.9	82.68	0.319
1965	40.5	55.6	66.72	0.607
1966	39.1	125.3	150.36	0.260
1967	43.2	75.8	90.96	0.475
1968	61.0	92.8	111.36	0.548
1969	53.1	124.6	149.52	0.355
1970	25.9	55.5	66.60	0.389
1971	29.0	79.0	94.80	0.306
1972	40.2	91.7	110.04	0.365
1973	95.8	204.7	245.64	0.390
1974	33.6	135.8	162.96	0.206
1975	62.6	122.1	146.52	0.427
1976	72.0	116.3	139.56	0.516
1977	50.3	61.7	74.04	0.679
1978	31.5	59.5	71.40	0.441
1979	73.0	88.6	106.32	0.687
1980	31.0	108.5	130.20	0.238
1981	20.1	95.7	114.84	0.175*
1982	17.3	55.8	66.96	0.258
1983	88.2	168.1	201.72	0.437

SUMA = 9.967

MEDIA = 0.433

DESV. EST. = 0.150

reporta que esta relación está entre 0.35 y 0.45 para la India con un rango en días con tormenta de 10 a 80". Finalmente se expone que un estudio para 75 estaciones de los Estados Unidos, mostró que la relación media de lluvia de una hora a lluvia de 24 horas es de 0.435 para dos años. Para el presente trabajo se ha usado este valor, como se demuestra en la Tabla 3, generalizando para cualquier período de retorno.

Tabla 3.- RELACIONES ENTRE ALTURAS DE LLUVIA DE DOS Y UNA HORAS, TOMADAS DE LOS REGISTROS PLUVIOGRÁFICOS PARA ESTACIONES SELECCIONADAS EN LA REGION DEL ESTUDIO.

AÑO	EST. GUAYATEQUE			EST. CANAL DE LOS TIPOS			EST. BUCAY			EST. SAN SIMON		
	P1	P2	P2/P1	P1	P2	P2/P1	P1	P2	P2/P1	P1	P2	P2/P1
1951	26.5	27.2	1.0									
1952	31.6	31.9	1.0									
1953	60.0	75.0	1.3									
1954	29.1	31.2	1.1									
1955	-	-	-									
1956	-	-	-									
1957	52.8	77.5	1.5									
1958	-	-	-	11.1	19.2	1.7 ^a						
1959	-	-	-	9.7	18.2	1.9 ^a						
1960	45.9	63.6	1.4	5.1	6.0	1.2						
1961	32.7	36.8	1.1	7.1	7.8	1.1						
1962	41.0	44.2	1.1	12.3	14.0	1.1						
1963	25.8	34.9	1.4	18.3	20.0	1.1						
1964	26.4	36.2	1.4	-	-	-						
1965	40.5	46.5	1.1	12.0	12.4	1.0						
1966	39.1	72.4	1.9 ^a	6.6	7.8	1.2						
1967	43.2	49.8	1.2	9.6	11.2	1.2						
1968	61.0	79.4	1.3	23.2	23.6	1.0						
1969	53.6	79.9	1.5	14.0	17.0	1.2						
1970	25.9	38.7	1.5	13.5	16.6	1.2	46.8	60.2	1.3			
1971	29.0	48.3	1.7 ^a	8.0	10.0	1.3	46.5	70.0	1.5	17	14.0	0.8
1972	40.2	66.7	1.7 ^a	9.5	11.8	1.2	43.8	64.0	1.5	30.2	32.2	1.1
1973	95.8	105.1	1.1	12.5	14.8	1.2	-	-	-	-	-	-
1974	33.6	42.2	1.3	7.5	10.0	1.3	37.4	50.2	1.3	15.1	15.2	1.0
1975	62.6	84.7	1.4	11.2	11.8	1.1	-	-	-	12.3	14.6	1.2
1976	-	-	-	8.8	10.8	1.2	65.7	89.2	1.4	-	-	-
1977	50.3	59.1	1.2	-	-	-	31.9	55.8	1.7 ^a	36.7	39.0	1.1
1978	31.5	33.1	1.1	-	-	-	62.4	72.6	1.2	24.0	22.2	0.9
1979	73.0	85.6	1.2	13.2	15.4	1.2	37.5	53.2	1.4	17.2	18.2	1.1
1980	31.0	50.7	1.6 ^a	12.1	12.8	1.1	-	-	-	25.8	27.8	1.1
1981	20.1	29.1	1.4	7.8	9.2	1.2	44.1	52.8	1.2	13.8	14.8	1.1
1982	17.3	20.0	1.2	9.0	12.6	1.4	42.0	58.0	1.4	24.5	24.8	1.0
1983	88.2	119.6	1.4	15.9	16.4	1.0	-	-	-	22.2	23.8	1.1
1984							64.0	71.6	1.1	16.2	14.2	1.0
1985							55.5	95.4	1.7 ^a	10.2	14.0	1.4

P1 y P2 son alturas de lluvia correspondientes a 1 y 2 horas de duración, respectivamente.

SUMA = 30.2 SUMA = 24.5 SUMA = 13.3 SUMA = 13.9
 PROM. = 1.3 PROM. = 1.2 PROM. = 1.3 PROM. = 1.1
 GRAN PROMEDIO = 1.2

* VALORES NO CONSIDERADOS

En cuanto a las duraciones mayores de dos horas, en la referencia bibliográfica 2, se establecen relaciones para 6 y 12 horas de duración y para 5, 10 y 25 años de período de retorno, con respecto a la lluvia máxima de 24 horas. Con el fin de obtener relaciones para esas mismas duraciones (6 y 12 horas), pero para 2,50 y 100 años de período de retorno, se practicó una extrapolación en base a dichos datos, la que se muestra en la Fig. 1 y los valores obtenidos se muestran en la Tabla 4.

TABLA 4

DURACION	6 HORAS
Tr (años)	Pn/P24
2	0.600
50	0.542
100	0.530
DURACION	12 HORAS
Tr	Pn/P24
2	0.744
50	0.698
100	0.688

Por último, como algunas de las relaciones que aquí se han dado están referidas a la lluvia máxima de 24 horas, mas no a la lluvia máxima diaria que se registra en los pluviómetros, cuyo concepto es diferente, entonces es necesario corregir este valor. Para el efecto existen algunas investigaciones, llegándose a establecer factores de 1.13, 1.14 y hasta 1.20, para convertir la lluvia máxima diaria en lluvia máxima en 24 horas. Aquí se ha utilizado el factor de 1.20 por corresponder mejor a la realidad. ver Tabla 2.

3. EL METODO QUE SE PROPONE

Se resume en los siguientes literales:

- a.- En primer lugar se determinan las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia para los máximos valores anuales de las estaciones que disponen de registros pluviográficos y que están ubicadas dentro o en el contorno de la zona de estudio.
- b.- Luego, para estas estaciones, pero utilizando el registro de lluvias máximas diarias anuales para un determinado período, transformadas en lluvias máximas en 24 horas mediante la aplicación de respectivo factor, se efectúa un análisis de frecuencias, obteniendo valores de altura de lluvia para 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de período de retorno.
- c.- A los valores obtenidos en b) se aplica las relaciones indicadas en el numeral 2 de este trabajo, obteniendo alturas de lluvias para diferentes duraciones para cada período de retorno. Estas series de alturas de lluvia se transforman a intensidades, determinando así, de otra manera, las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia.

- d.- En base a estos resultados, se aplican dichas relaciones a todas las estaciones que disponen solamente de registros de lluvias diarias (estaciones pluviométricas), evitando considerar aquellas estaciones que tienen pocos años de registro (no menos de 13 años), a fin de que la muestra sea representativa.
- e.- La distribución teórica utilizada en todos estos casos para el análisis de frecuencia, fue la distribución Gumbel Tipo I, de uso común para eventos extremos.

APLICACION DE METODO

El área de la Cuenca Baja del Guayas Sector Suroriental con una extensión de 8.000 Km² se eligió para aplicar el método, debido a que carece de información pluviográfica de adecuada densidad, prevaleciendo la información pluviométrica.

Los pluviógrafos utilizados corresponden a las estaciones Guayaquil-Aeropuerto, Milagro, Bucay, San Simón y Cañar. La información pluviométrica utilizada corresponde a 48 estaciones distribuidas en el área de estudio.

El procedimiento seguido para aplicar el método es:

- a. Análisis de Intensidad-Duración-Frecuencia en los pluviógrafos, los mismos que en esta área están ubicados dentro o en el contorno de la misma. Este análisis se aplicó a los valores máximos diarios anuales de lluvia.
- b. En cada una de las mismas estaciones se transformaron los valores de lluvia máxima diaria anual en valores de lluvia máxima de 24 horas, mediante la aplicación del factor 1.20 y

se repitió el análisis de frecuencia obteniendo valores de altura de lluvia máxima de 24 horas para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

- c. A los valores obtenidos en b) se aplicaron los coeficientes deducidos en el numeral 2 de este trabajo obteniendo alturas de lluvias para diferentes duraciones para cada período de retorno, series de lluvias que finalmente se transformaron en intensidades obteniéndose las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia calculadas usando los coeficientes para las estaciones pluviográficas.
- d. De la comparación gráfica de resultados obtenidos en a) y en c), se concluye que las curvas obtenidas a partir de la lluvia máxima de 24 horas, concuerdan con suficiente exactitud con las curvas obtenidas a partir de los registros pluviográficos, como puede observarse en la figura No.2 de la estación San Simón.
- e. Vistos los resultados satisfactorios expresados en d) las relaciones obtenidas se aplicaron a los 48 pluviómetros con información de lluvia diaria y registro no menor de 13 años.
- f. Con la información obtenida en a), en c) y en e) se dibujaron las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia de la Cuenca Baja del Guayas Sector Suroriental, obteniéndose planos para diferentes duraciones y estas para 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de período de retorno.

En el análisis se utilizó la distribución de probabilidades de valores extremos de Gumbel Tipo I.

RESULTADOS

RESULTADOS

Como resultado en este analisis se ha determinado, para cada estacion, curvas de Intensidad-Duracion-Frecuencia de lluvias, considerando las duraciones y periodos de retorno como se indica en el siguiente formato (Tabla 5), para el caso de la estacion pluviometrica de Echeandia.

TABLA No. 5
INTENSIDADES DE LLUVIA EN MM/HORA ESTACION ECHEANDIA

Tr ANOS	D U R A C I O N									
	M I N U T O S					H O R A S				
	5	10	15	30	1	2	6	12	24	
2	204.0	158.0	133.4	92.4	58.5	35.1	13.4	8.3	5.6	
5	265.2	206.0	174.0	120.6	76.3	45.8	17.1	10.7	7.3	
10	307.2	237.9	200.6	139.2	88.1	52.9	19.2	12.1	8.4	
25	358.8	278.4	235.1	163.0	103.1	61.9	21.9	14.0	9.9	
50	397.2	308.3	260.4	180.4	114.4	68.5	23.7	15.3	10.9	
100	435.6	338.0	285.5	197.8	125.2	75.1	25.4	16.5	12.0	

Una vez graficados estos valores se ha procedido a efectuar un ajuste gráfico como se muestra en la Fig. 3. Allí se advierte que existe alguna distorsión para las duraciones de 6 (360 minutos) y 12 (720 minutos) horas, la que se repite en todos los casos, lo cual ameritará un análisis a fin de efectuar los ajustes pertinentes, si se desea una mayor precisión en los resultados.

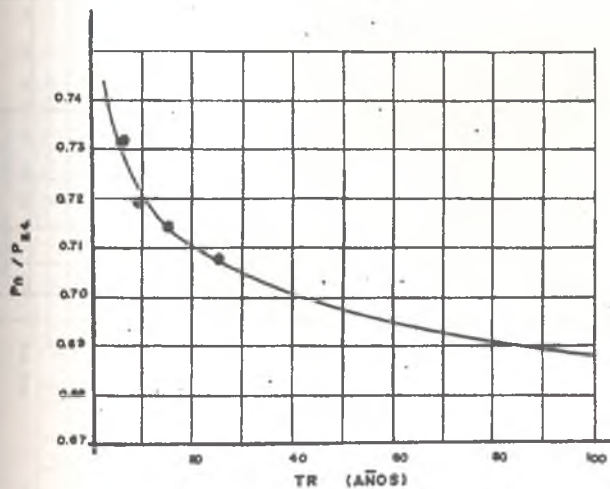
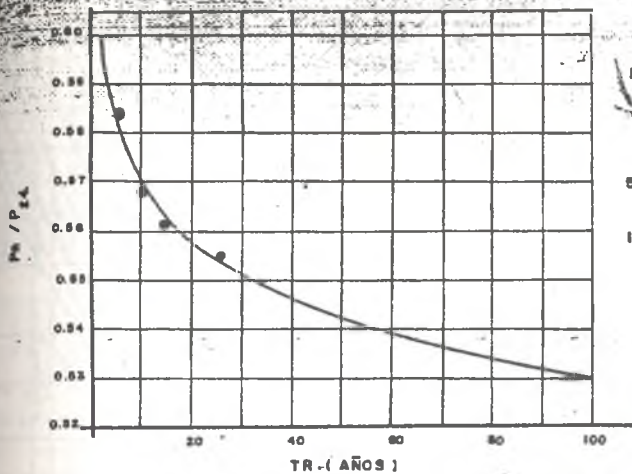
Tomando en consideración que estos resultados son sólo apuntes, y que en la práctica interesan más los valores medios para determinadas áreas; entonces se pensó en otra forma de presentación, esto es, mediante la elaboración de planos de isoyetas de intensidades de lluvia para una duración y frecuencia dadas. Un ejemplo de estos planos se presenta en la Fig. 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A criterio de los autores el método expuesto, aunque todavía en su fase de investigación, podría tener un amplio campo de aplicación en países en desarrollo.

Concluida que sea esta fase y la de evaluación final, el método quedaría como procedimiento normal de diseño, trayendo como consecuencia grandes ahorros en gastos de operación y mantenimiento de sistemas de estaciones meteorológicas.

A tal efecto las investigaciones deben ser ampliadas y aplicadas a toda la región de la Cuenca del Guayas, Costa y todo el Ecuador a efectos de confirmar un método de análisis que sea normalmente aceptado en diseño.



NOTA:

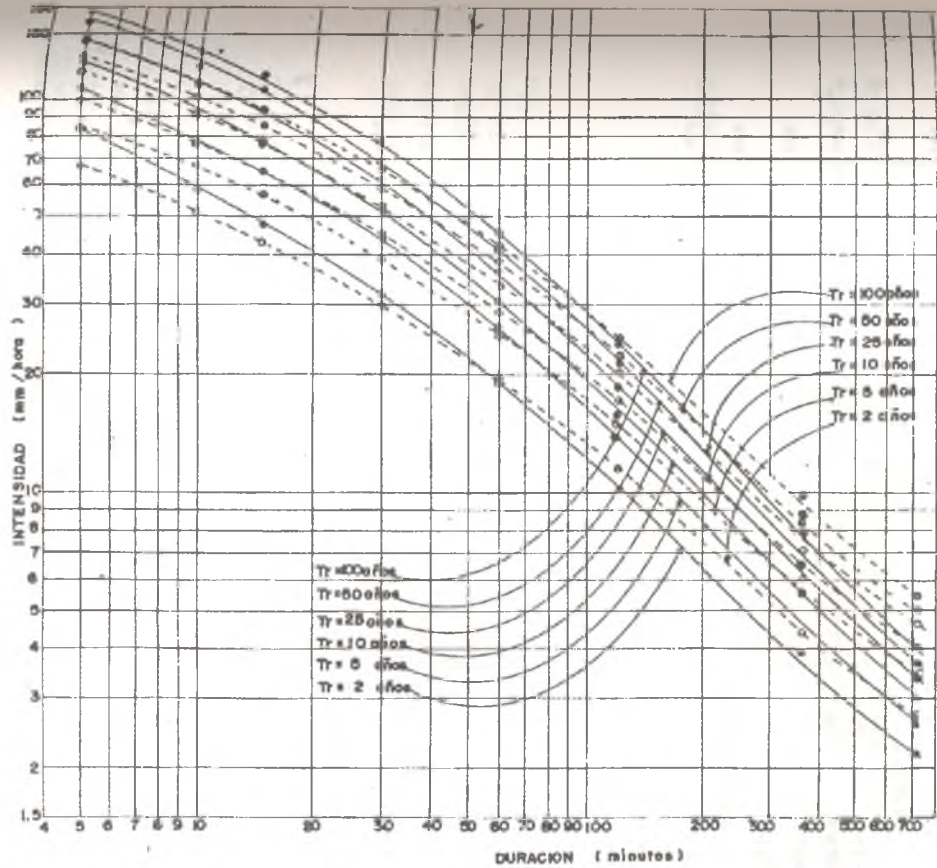
TR = Período de Retorno (años).

P_n = Precipitación Máxima Para Una Duración "n".

P_{24} = Precipitación Máxima En 24 Horas.

r = Coeficiente De Correlación.

EXTRAPOLACION DE RELACIONES PARA: LLUVIAS DE 6 y 12 HORAS.		
CALCULO: ING. S. YAGUI M.	REVISADO: ING. S. MORALES G.	APROBADO: ING. J. GARCIA C.
IMPRESO: ING. S. YAGUI M.	SEÑALADO: ING. S. MORALES G.	FIGURA: 1

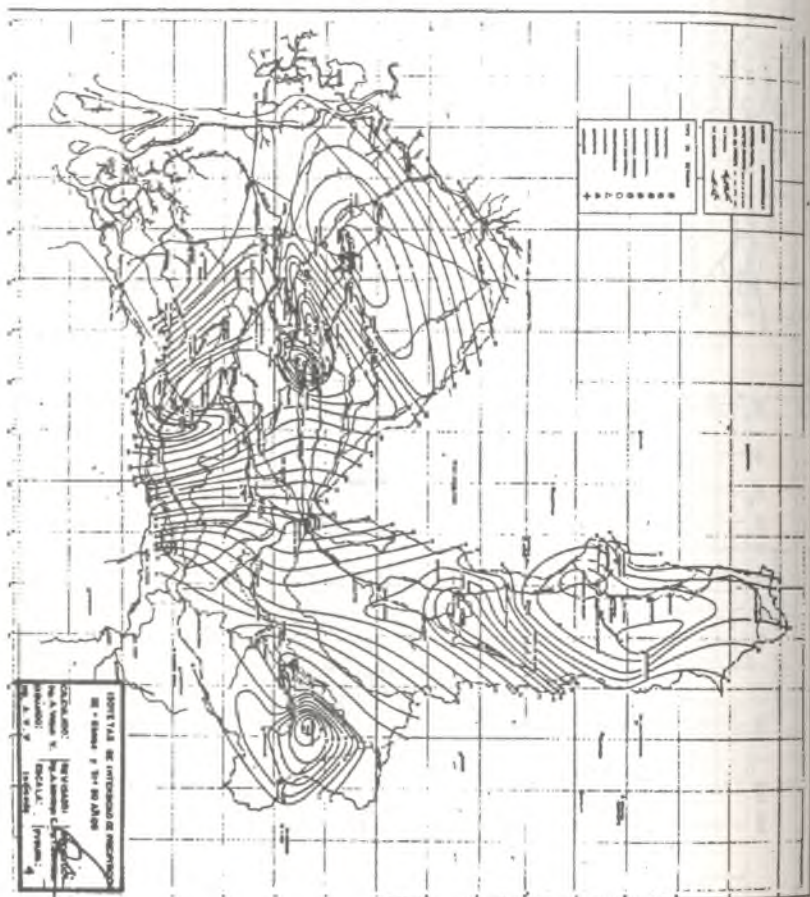


NOTA:
 — PLUVIOGRAFO
 - - - PLUVIOMETRO

COMPARACION DE CURVAS DE INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA -

ESTACION - SAN. SIMON

CALCULADO: ING. A. V. V.	REVISADO: ING. A. M. C.	FECHA: <i>[Signature]</i>
REBUJADO: ING. A. V. V.	ESCALA: 1:4000	FIGURA: 2



A futuro, de acuerdo al progreso de la investigación, pueden usarse coeficientes de relaciones horarias variables de acuerdo a la representatividad de la información pluviográfica existente, a fin de aumentar la exactitud en el diseño.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. DECISIONS WITH INADEQUATE HIDROLOGIC DATA. PROCEEDINGS OF THE SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM Y HIDROLOGIC. SEPTEMBER 1972. FORT COLLINS COLORADO U.S.A. WATWR RESOURCES PUBLICATIONS. FORT COLLINS, COLORADO U.S.A. 1973

2. MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA ESTUDIOS HIDROLOGICOS. PROYECTO HIDROMETEOROLOGICO CENTROAMERICANO. SAN JOSE, COSTA RICA.

3. BOLETINES MENSUALES Y ANUARIOS METEOROLOGICOS DEL INAMHI, ECUADOR.

4. INFORMACION METEOROLOGICA DE LA CUENCA DEL GUAYAS. CEDEGE, GUAYAQUIL - ECUADOR.

5. INFORMACION METEOROLOGICA EN ALGUNAS ESTACIONES DE LA CUENCA BAJA DEL GUAYAS SECTOR SURORIENTAL. INERHI, GUAYAQUIL - ECUADOR