

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

DEDUCCION DE CURVAS Y FORMULAS DE INTENSIDAD DE
LLUVIA PARA LA REGION CUBIERTA POR LA ESTACION
EL PORVENIR, SAYAXCHE PETEN

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
POR

SAMUEL ROJAS CASTELLANOS

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 1,995

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

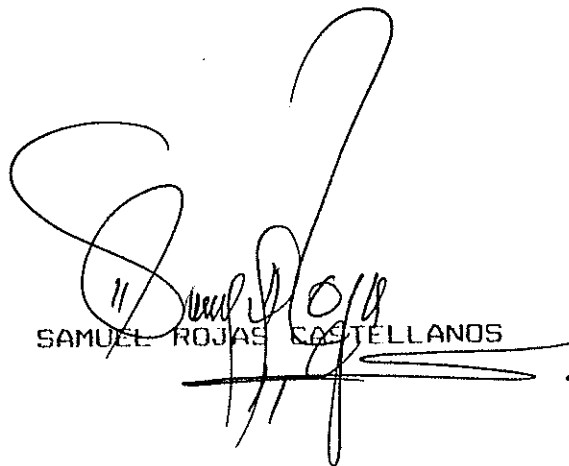
04
T-2000
10/1

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos legales que rigen a la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de presentar a su consideración el trabajo de tesis titulado:

DEDUCCION DE CURVAS Y FORMULAS DE INTENSIDAD DE LLUVIA PARA LA REGION CUBIERTA POR LA ESTACION EL PORVENIR, SAYAXCHE PETEN

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil con fecha 26 de Septiembre de 1.994.



SAMUEL ROJAS CASTELLANOS



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

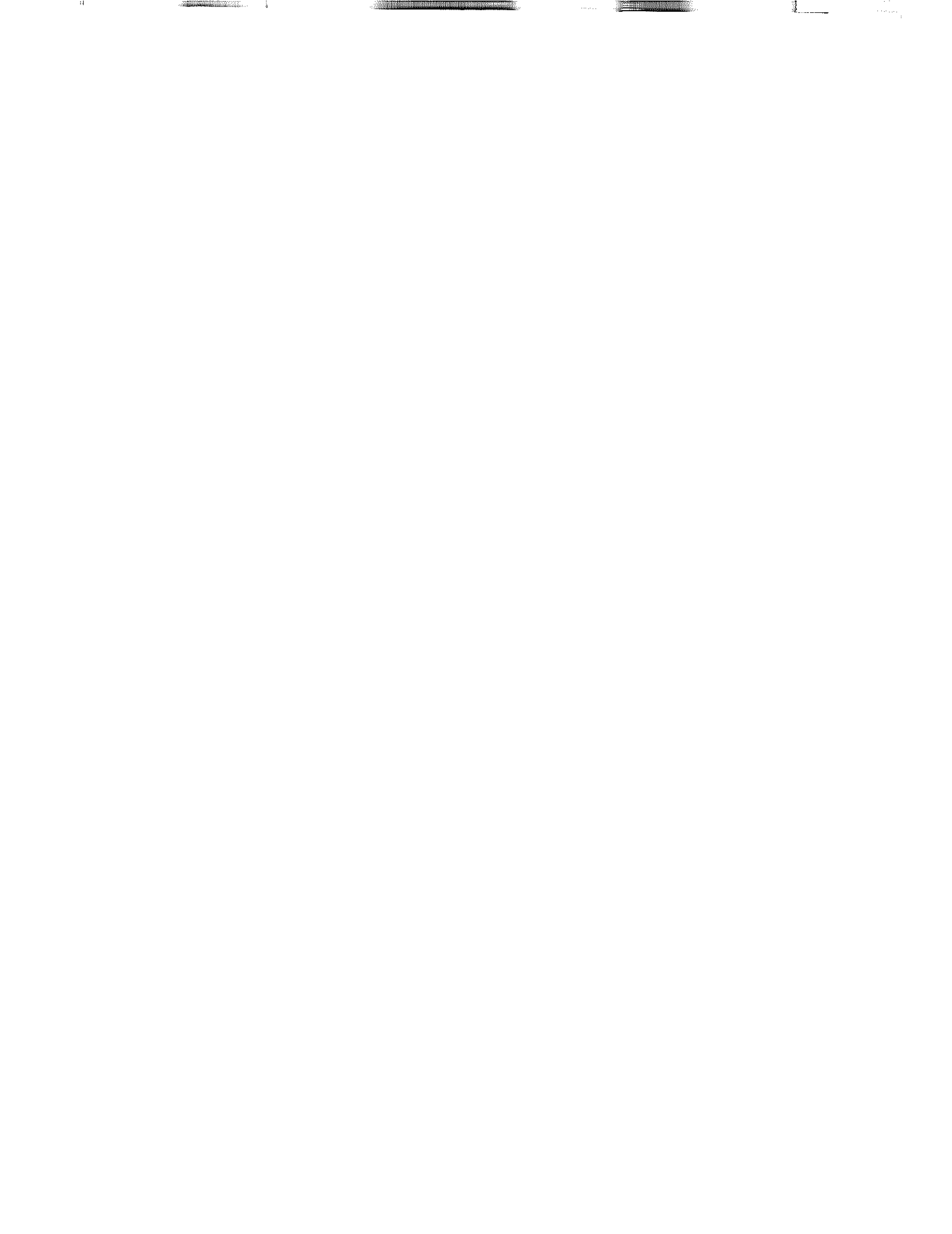
MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
VOCAL PRIMERO:	ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA
VOCAL SEGUNDO:	ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORIZANO
VOCAL TERCERO:	ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRIA MENDEZ
VOCAL CUARTO:	BR. FREDDY ESTUARDO RODRIGUEZ QUEZADA
VOCAL QUINTO:	BR. MARIO NEPHTALI MORALES SOLIS
SECRETARIO:	ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO:	ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
EXAMINADOR:	ING. JULIAN ANTONIO DUARTE JIMENEZ
EXAMINADOR:	ING. FRANCISCO JAVIER QUIRONEZ
EXAMINADOR:	ING. HENRY DE JESUS LOPEZ Y LOPEZ
SECRETARIO:	ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ



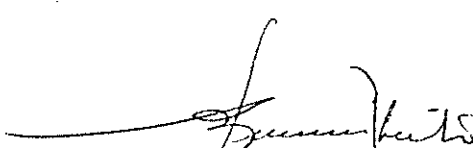
Guatemala, 2 de mayo de 1,995

Ingeniero
Marco Tulio Ventura Roldán
Jefe del Departamento de Hidráulica
Facultad de Ingeniería
Ciudad.

Respetable Ingeniero:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he procedido a la revisión y corrección del trabajo de tesis titulado DEDUCCION DE CURVAS Y FORMULAS DE INTENSIDAD DE LLUVIA PARA LA REGION CUBIERTA POR LA ESTACION METEOROLOGICA DE EL PORVENIR, SAYAXCHE, PETEN, desarrollado por el estudiante Samuel Rojas Castellanos, el cual cumple con los objetivos propuestos por el sustentante, por lo que me permito recomendar su aprobación en mi calidad de asesor del mismo.

Atentamente



Ing. Francisco Ubieta Bedoya
Jefe del Laboratorio de Hidráulica
Facultad de Ingeniería de la USAC
A S E S O R



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 22 de junio de 1,995.

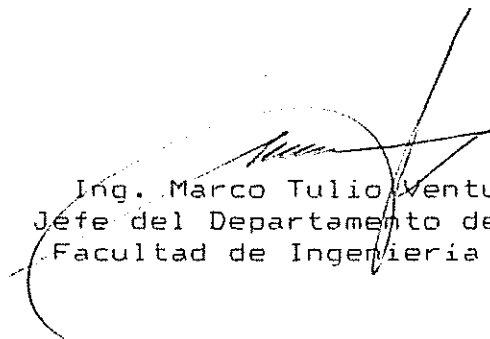
Ingeniero
Jack Douglas Ibarra S.
Director de la Escuela
de Ingeniería Civil
Universidad de San Carlos.

Señor Director:

Por este medio le informo que después de haber analizado así como revisado el trabajo de tesis del estudiante Samuel Rojas Castellanos, titulado DEDUCCION DE CURVAS Y FORMULAS DE INTENSIDAD DE LLUVIA PARA LA REGION CUBIERTA POR LA ESTACION EL PORVENIR, SAYAXCHE PETEN, que fuera aprobado en su oportunidad y habiéndose efectuado todas las observaciones técnicas pertinentes a dicho trabajo, este Departamento da por aprobado el mismo para que se pueda seguir con los trámites correspondientes.

Sin otro particular me suscribo de usted cordialmente

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Marco Tulio Ventura Roldán
Jefe del Departamento de Hidráulica
Facultad de Ingeniería de la USAC



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

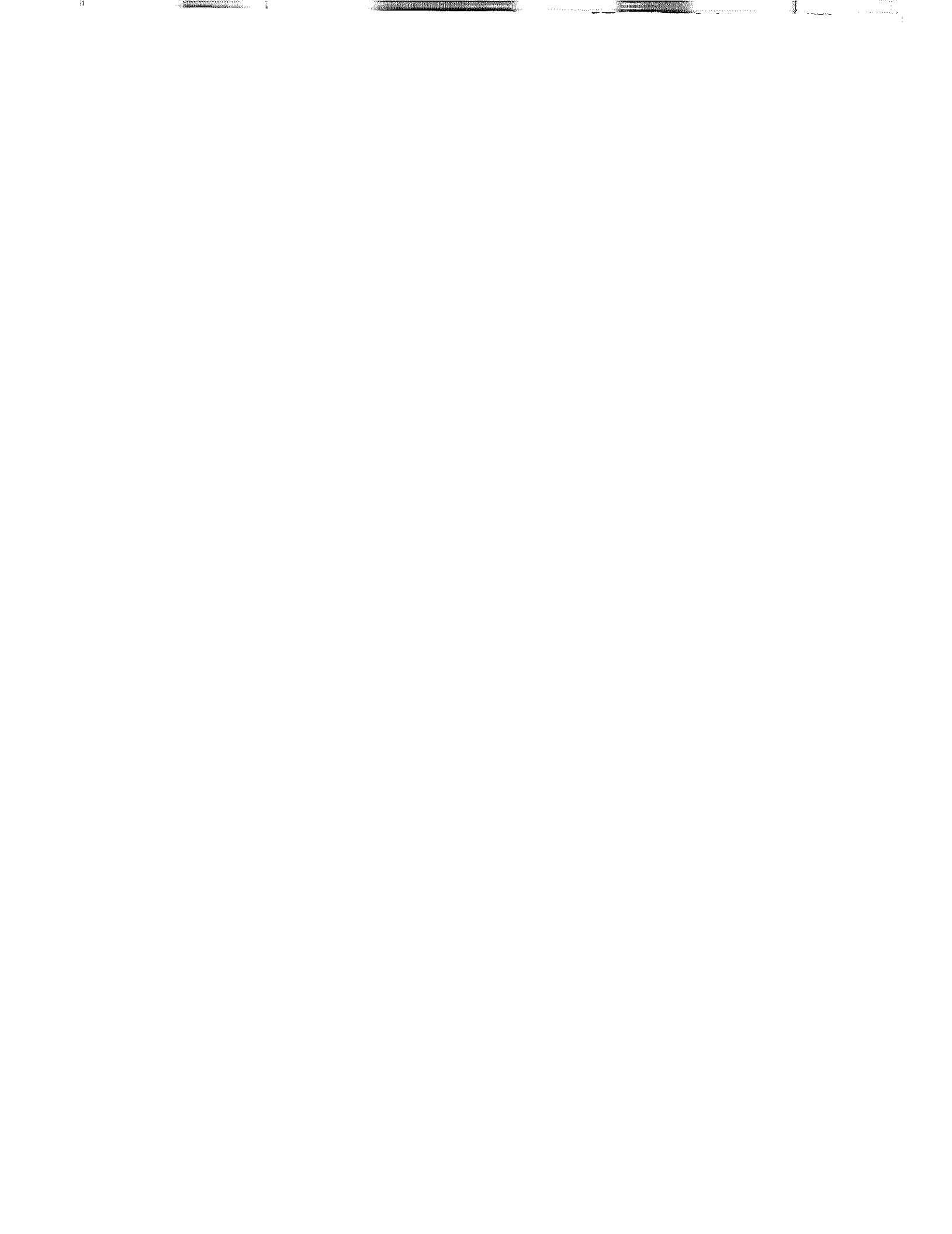
El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Francisco Ubieto Bedoya, y del Jefe del Departamento de Hidráulica Ing. Marco Tulio Ventura Roldán, sobre el trabajo de tesis del estudiante Samuel Rojas Castellanos, titulado DEDUCCION DE CURVAS Y FORMULAS DE INTENSIDAD DE LLUVIA PARA LA REGION CUBIERTA POR LA ESTACION EL PORVENIR, SAYAXCHE PETEN, da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. Jack Douglas Boatra Solórzano



Guatemala, julio de 1,995.

JDIS/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

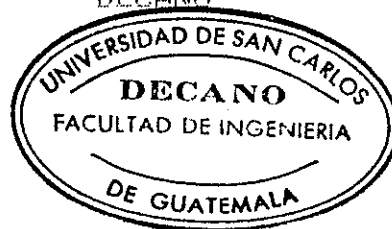
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis DEDUCCION DE CURVAS Y FORMULAS DE INTENSIDAD DE LLUVIA PARA LA REGION CUBIERTA POR LA ESTACION EL PORVENIR, SAYAXCHE PETEN, del estudiante Samuel Rojas Castellanos, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck
DECANO



Guatemala, julio de 1, 995

/bbdeb.



INDICE GENERAL

LISTA DE ILUSTRACIONES	I
GLOSARIO	III
INTRODUCCION	V
OBJETIVOS	
CAPITULO I Generalidades.	
1.1 La Hidrología	1
1.1.1 Un poco de historia	1
1.1.2 Qué estudia la Hidrología	5
1.1.3 La Hidrología en la Ingeniería	6
1.2 El estado atmosférico	6
1.3 El Ciclo Hidrológico	8
1.4 Precipitación	11
1.4.1 Su importancia	13
1.4.2 Sus formas	13
1.4.2.1 Llovizna	13
1.4.2.2 Lluvia	14
1.4.2.3 Granizo	14
1.4.3 Sus tipos	14
1.4.3.1 Ciclónica o de frentes	15
1.4.3.2 Convectiva	17
1.4.3.3 Orográfica	18
1.4.4 Su medición	19
1.4.4.1 Pluviómetro	19
1.4.4.2 Pluviógrafo	20
1.4.5 Su duración	23
1.4.6 Su intensidad	23
1.4.7 Su frecuencia	24
1.5 Curvas y fórmulas de intensidad de lluvia	24
1.5.1 Descripción e importancia	24
1.5.2 Análisis de datos	25
1.5.3 Utilización de las curvas y las fórmulas ..	29
CAPITULO II La estación de El Porvenir y su entorno	
2.1 Descripción de la estación	31
2.1.1 Localización	31
2.1.2 Categoría	32
2.1.3 Personal a cargo de la estación	34
2.1.4 Registros de precipitación	34
2.2 Descripción de su entorno	35
2.2.1 Clima	37
2.2.2 Vegetación	37
2.2.3 Topografía	38
2.2.4 Hidrografía	38
2.2.5 Geología	39

CAPITULO III Deducción de las curvas y las fórmulas de intensidad de lluvia para la estación El Porvenir

3.1	Descripción del método a utilizar	41
3.2	Lectura de cartas pluviográficas	44
3.3	Selección de las máximas precipitaciones anuales .	45
3.4	Cálculo de intensidades	45
3.5	Cálculo de probabilidades	47
3.6	El resultado: fórmulas y curvas para la estación referida	52
3.7	Ejemplo de aplicación de los resultados	56
CONCLUSIONES		IX
RECOMENDACIONES		XI
BIBLIOGRAFIA		XIII
ANEXO		XV

INDICE DE ILUSTRACIONES

A- GRAFICAS

	Pag.
1- Fig. #1 El ciclo hidrológico	10
2- Fig. #2 Componentes del ciclo hidrológico	11
3- Fig. #3 Precipitación de frentes cálidos	15
4- Fig. #4 Precipitación de frentes fríos	16
5- Fig. #5 Precipitación convectiva	17
6- Fig. #6 Precipitación orográfica	18
7- Fig. #7 Pluviómetro	21
8- Fig. #8 Pluviógrafo	22
9- Fig. #9 Pluviograma	23
10- Fig. #10 Estación El Porvenir y vertientes de Guatemala	33
11- Fig. #11 Municipios de Petén y la estación El Porvenir.	36
12- Fig. #12 Curvas de intensidad de lluvia-probabilidad ..	54
13- Fig. #13 Curvas de intensidad-duración-frecuencia	55

B- TABLAS

1- Tabla #1	Tabulación de las precipitaciones	27
2- Tabla #2	Altura mínima de precipitación	28
3- Tabla #3	Máximas precipitaciones anuales	45
4- Tabla #4	Máximas intensidades anuales	46
5- Tabla #5	Ordenamiento de máximas intensidades	47
6- Tabla #6	Máximas intensidades y su probabilidad	49
7- Tabla #7	Sumatorias para resolver el sistema de Ecs...	50
8- Tabla #8	Datos para la construcción de las curvas ...	53

GLOSARIO

AFORO

Acción y efecto de medir la cantidad de agua que lleva una corriente en una unidad de tiempo.

ALEATORIO

Fenómeno que depende de un suceso fortuito.

AVENIDA

Crecida impetuosa de un río.

CRECIDA

Aumento del caudal de los ríos y arroyos.

CUENCA

Área de terreno cuyas aguas fluyen a un mismo río, lago o al mar.

EMBALSE

Depósito artificial o natural en el que se recogen las aguas para su aprovechamiento por el hombre.

ESCORRENTIA

Libre circulación del agua de lluvia sobre el terreno.

FRENTE

Zona de transición entre dos masas de aire con diferente temperatura.

METEORO

Todo fenómeno atmosférico, ya sea de naturaleza líquida, óptica, auditiva o eléctrica.

PRECIPITACION

Agua meteórica que cae sobre la superficie terrestre, tanto en forma líquida como sólida.

INTRODUCCION

Es común medir el progreso de los pueblos en función de su infraestructura y es, generalmente, el ingeniero quien, basado en estudios de factibilidad, debe enfrentar la construcción tratando de conjugar factores tales como costos, periodo de diseño y otros.

Uno de los elementos a considerar en la construcción de obra civil (presas, puentes, drenajes, etc.), lo constituye la precipitación en el lugar bajo estudio.

Entre las obras cuyo diseño depende, en gran parte, de la precipitación están: drenaje de carreteras, alcantarillado pluvial, presas, puentes, protectores y evacuadores de crecidas y otras obras hidráulicas utilizadas para el control y aprovechamiento de las aguas superficiales.

Es muy importante calcular la máxima intensidad de las precipitaciones ininterrumpidas que, por lo común, tienen una duración mayor a los 20 minutos, así como su frecuencia de ocurrencia. Esto porque es improcedente desde el punto de vista del costo de una obra, diseñar para una precipitación muy intensa, en el caso de una duración indefinida. Sus valores dependen de la ubicación geográfica y de las características físicas y meteorológicas del lugar.

Las curvas de intensidad de lluvia resultan ser una herramienta de primer orden para ingenieros civiles, hidráulicos y sanitarios; pero es oportuno indicar que, para su construcción, se hace necesario tener registros de por lo menos 15 años de precipitaciones máximas de la estación bajo estudio.

OBJETIVOS

GENERALES

A- Utilizar correctamente y en beneficio de la población, una mínima parte de la gran cantidad de información que, sobre precipitación, ha reunido el INSIVUMEH a lo largo de los años.

B- Proporcionar a los profesionales de la ingeniería del área cubierta por la estación de El Porvenir, un instrumento válido, confiable y de fácil manejo, para coadyuvar al mejoramiento en el diseño de obras hidráulicas.

ESPECIFICOS:

A- Determinar las curvas y las fórmulas de intensidad de lluvia para periodos de retorno de 2, 5, 10 y 20 años.

B- La aplicación de cálculos matemáticos y estadísticos, combinados con la utilización de medios automatizados (computadora, impresora, etc.), para arribar a resultados seguros, evitando en lo posible el error humano.



CAPITULO I

Generalidades

1.1 La Hidrología

La hidrología estudia el agua sobre la tierra, su existencia y distribución, sus propiedades físicas y su papel en el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. El dominio de la hidrología abarca la historia completa del agua sobre la tierra. La ingeniería hidrológica incluye aquellas partes del campo que atañen al diseño y operación de proyectos de ingeniería para el control y el uso del agua. Los límites entre la hidrología y otras ciencias de la tierra tales como la meteorología, la oceanografía y la geología son confusos y no tiene objeto el tratar de definirlos rigidamente. Asimismo, la distinción entre la ingeniería hidrológica y otras ramas de la hidrología aplicada es vaga. Está claro que el ingeniero debe gran parte de su conocimiento actual de la hidrología a los agrónomos, ingenieros forestales, meteorólogos, geólogos y otros profesionales de una diversidad de disciplinas.

1.1.1 Un poco de historia

El primer proyecto hidráulico se encuentra perdido en la bruma de la prehistoria. Posiblemente algún hombre prehistórico descubrió que una pila de rocas colocadas a través de una corriente le permitía elevar el nivel

del agua lo suficiente para regar sus tierras y el suministro del vital líquido durante las sequías.

Sea cual fuese la historia primitiva de la hidráulica, existe mucha evidencia para demostrar que los constructores comprendían poco de hidrología. Documentos de los antiguos griegos y romanos indican que éstos aceptaban que los océanos fuesen la fuente final de toda el agua, pero no podían imaginar que la cantidad de precipitación es igual o mayor que la cantidad de escorrentía. Pensaban que el agua de los océanos se movía subterráneamente hasta la base de las montañas. Allí se desalinizaba en forma natural y ascendía como vapor a través de conductos hasta la cumbre de las montañas donde se condensaba y escapaba en el nacimiento de las corrientes. Marcos Vitruvio Pollio (100 A.C., aprox.) parece haber sido el primero en reconocer el papel jugado por la precipitación tal como es aceptado en la actualidad.

Leonardo da Vinci (1452/1519) fue el segundo en sugerir una concepción moderna del ciclo hidrológico, pero sólo Pierre Perrault (1608/1680) comparó medidas de lluvia con la descarga estimada del río Sena, demostrando que la escorrentía era cerca de la sexta parte de la precipitación. El astrónomo inglés Halley (1656/1742) midió la precipitación con un pequeño recipiente y estimó la evaporación del mar Mediterráneo a partir de esos datos. Sin embargo, todos los conceptos anteriores fueron puestos en duda por algunos especialistas hasta 1921.

La precipitación fue medida en la India desde el siglo IV A.C. pero el desarrollo de métodos adecuados para la medida de la

escorrentia es muy posterior. Frontino, quien fue comisionado hidráulico de Roma en el año 97 de nuestra era, basó los estimativos de flujo en el área de secciones transversales sin considerar la velocidad de éste. En los EE.UU., las medidas organizadas de precipitación se iniciaron en 1819 al mando del cirujano general del Ejército: fueron transferidas al Signal Corps en 1870 y finalmente, en 1891, fueron encargadas al organismo U.S. Weather Bureau, el cual lleva el nombre de National Weather Service a partir de 1970.¹

La mayor cantidad de trabajo en hidrología ocurre en los primeros años del presente siglo, cuando científicos de la talla de Horton, Mead y Sherman empezaron a explorar el campo. La gran expansión de la actividad en control de inundaciones, irrigación, conservación de suelos, etc. que comenzó por 1930, originó el primer impulso real hacia la investigación organizada, ya que la necesidad de obtener datos más precisos para el diseño de dichas obras se hizo más evidente.

En Guatemala surgió la investigación meteorológica a raíz de la necesidad de proporcionar el tipo de información requerida en las actividades aeronáuticas, participando en ello, tanto el Observatorio Nacional con su estación de "La Aurora", como las compañías aéreas establecidas en el país. Pero fue el 18 de septiembre de 1956, que se creó la sección de Meteorología Aeronáutica, con el fin de evitar la duplicación de actividades.

¹Descripción de aparatos meteorológicos. Boletín informativo. INSIVUMEH. Guatemala, 1989. 48 pp.

iniciando, durante las 24 horas del día, la observación de parámetros de control atmosférico tales como: temperatura ambiente, humedad relativa, tensión de vapor de agua, viento, tanto en superficie como en los niveles de la atmósfera superior; cantidad, tipo y carácter de la precipitación; cantidad, clase, altura y movimiento de las nubes, presión atmosférica; también visibilidad horizontal y fenómenos de tiempo presente.

Respecto de los registros pluviográficos en el país, fue a partir de 1962 que se puso mayor énfasis en ello; puesto que se distribuyeron los pluviómetros alemanes marca Wilh Lambrecht Gotingen, en estaciones situadas a lo largo y ancho del territorio nacional. Cabe destacar que, según registros, el más antiguo pluviógrafo data de 1934, situado en la ciudad capital y a cargo del Observatorio Nacional, hoy Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH. También es conveniente mencionar que las estaciones meteorológicas no tenían y aún no tienen, un mando único pues pertenecían a instituciones tales como: Aeronáutica Civil, Observatorio Nacional, Recursos Hidráulicos, ICAITI, INDE y Municipalidad de Guatemala. Actualmente hay algunas estaciones particulares en la costa y bocacosta sur, al servicio de la agroindustria.

Por último, todas las actividades estatales de índole meteorológico han estado regidas por las normas, métodos y recomendaciones emanadas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

1.1.2 Qué estudia la hidrología

La hidrología versa sobre diversos tópicos. La materia de que trata la hidrología puede ser clasificada en forma amplia, en dos fases: recolección de datos y métodos de análisis. Disponer de datos básicos adecuados es esencial en todas las ciencias y en hidrología no es una excepción. Por las características complejas de los fenómenos naturales se hace difícil el tratamiento de muchos de los procesos hidrológicos mediante un razonamiento deductivo riguroso. No siempre es posible partir de una ley básica y determinar con base en ésta el resultado hidrológico que se espera. En cambio, es necesario partir de un conjunto de hechos observados, analizarlos, y con este análisis establecer las normas sistemáticas que gobiernan los hechos. Así, se está en una difícil posición cuando no se cuenta con los datos históricos adecuados para la solución de un problema específico. Es importante destacar que se debe conocer la forma cómo los datos son recolectados, las limitaciones que ellos tienen y los métodos propios para su interpretación y ajuste.

Los problemas típicos de hidrología implican cálculos de extremos que no se observan en una muestra de datos de corta duración. Generalmente, cada problema hidrológico es único en cuanto trata con un conjunto diferente de condiciones físicas dentro de una cuenca hidrográfica específica. Por lo tanto, las condiciones cuantitativas de un análisis no son siempre transferibles a otros problemas. Sin embargo, la solución general

a la mayoría de los problemas puede obtenerse a partir de la aplicación de unos pocos conceptos básicos.

1.1.3 La Hidrología en la Ingeniería

La hidrología es utilizada en ingeniería principalmente en relación con el diseño y ejecución de estructuras hidráulicas, como por ejemplo: ¿Qué caudales máximos pueden esperarse en un vertedero, en una alcantarilla de carretera o en un sistema de drenaje urbano?. ¿Qué capacidad de embalse se requiere para asegurar el suministro adecuado de agua para irrigación o consumo municipal durante las sequías? ¿Qué efecto producen los embalses, diques y otras obras de control sobre las avenidas de las corrientes?. Preguntas típicas que debe contestar el hidrólogo.

Generalmente se da el caso que instituciones tales como las municipalidades no pueden mantener personal especializado para resolver sus problemas. Por lo tanto, muchos ingenieros civiles no especializados son utilizados para realizar ocasionales estudios hidrológicos; consecuentemente, el conocimiento de los fundamentos de la hidrología es una parte esencial de la preparación del ingeniero civil.

1.2 El estado atmosférico

El agua es, por un amplio margen, la substancia que más abunda en la superficie de la tierra. Los océanos cubren más del 70% de la tierra. Se vive en el fondo de un mar de aire: la atmósfera. Las tres cuartas partes inferiores

de la atmósfera son lo bastante densas como para mantener la humedad. Esta capa se llama tropósfera, mide aproximadamente 10 Kms. y se caracteriza por estar en constante movimiento. Es al estado siempre cambiante de esta capa a lo que se le llama estado atmosférico. El sol constituye la única fuente de energía notable que causa los cambios constantes en el estado atmosférico. Por eso mismo, las regiones ecuatoriales de la tierra reciben la mayor cantidad de radiación solar; el aire cerca de la superficie se calienta y el agua de la superficie de los océanos se evapora. El aire húmedo y cálido se eleva y el aire más frío se precipita a reemplazarlo. La diferencia latitudinal en el calentamiento de la tierra produce diferencias en la presión del aire sobre toda la superficie, resultando en un patrón general de movimiento. Este patrón está influido por muchas fuerzas: la rotación de la tierra, la geografía, las variaciones estacionales, etc. El aire tiende a igualar las presiones causadas por el calentamiento desigual de la superficie. Desde una región fría de altas presiones, los vientos soplan hacia una región cálida y húmeda de bajas presiones. En las áreas de altas presiones, si el aire permanece un tiempo considerable sobre una superficie bastante uniforme, toma las características de la superficie: la frialdad y sequedad de los polos o la humedad y calor de los trópicos. El aire mantiene estas características durante largo tiempo, aún cuando haya sido llevado a otras regiones. Y son estas masas de aire las que producen los principales cambios en el estado atmosférico, donde quiera que sean llevadas.

La temperatura de la tropósfera disminuye con la altura. Según se eleva el aire cálido tiende a alcanzar el punto de rocío, dando lugar a la formación de nubes. En general, las masas de aire cálido contienen una gran cantidad de humedad; por lo consiguiente, muchas nubes. Las masas de aire frío y seco no producen nubes. La densidad del aire es inversamente proporcional a la temperatura. Entonces las masas de aire frío representan altas presiones, mientras que las masas cálidas de aire producen bajas presiones en la superficie de la tierra. Donde choquen estas masas de aire, habrá un frente atmosférico.

1.3 El ciclo hidrológico

Una porción del agua que es transportada como humedad atmosférica cae sobre la tierra en forma de lluvia, nieve, rocío o granizo. En el país, la lluvia es la más significativa: la vida en la tierra sería imposible sin ella. Al caer la lluvia sobre el suelo, una parte se evapora de inmediato, aumentando la humedad de la atmósfera. Otra parte se infiltra en el terreno. Una vez allí, puede ser absorbida y transpirada por la vegetación, luego evaporada por las hojas. La evapotranspiración de las plantas devuelve a la atmósfera una fracción del agua presente en el terreno. Otra parte del agua entra por los poros abiertos de las capas del mismo, e inicia su lento movimiento descendente a la napa freática y las corrientes de agua subterráneas, a los ríos, los lagos o al mar. La última parte escurre sobre el terreno, se reúne en riachuelos, arroyos

y ríos, regresando a los océanos. Esta circulación del agua de los océanos a la atmósfera, al suelo y de regreso a los océanos se llama ciclo hidrológico. Ver diagrama de flujo de la figura #1 y la figura #2. Este movimiento ciclico no es un proceso continuo y ordenado. Las lluvias se precipitan sólo intermitentemente: la evaporación después de una lluvia es cuestión de unas cuantas horas. Algunas "aguas innatas" se mantienen indefinidamente en las capas subterráneas del terreno.

La evaluación cuantitativa del flujo en el ciclo hidrológico de regiones de poca extensión, es de mucho valor en el diseño hidráulico. Se debe responder a interrogantes tales como: la cantidad de precipitación que puede razonablemente esperarse, el porcentaje de lluvia que se puede acumular en forma de flujo sobre el terreno y que, en un momento dado, puede aparecer en los ríos como una onda de avenida, la cantidad anual de evaporación de un embalse y otras.

Debido a su naturaleza aleatoria e intermitente, el movimiento del agua a través de los caminos del ciclo hidrológico sólo se puede estudiar por medios estadísticos. Antes de proporcionar datos confiables con fines prácticos hay que llevar, por décadas, registros cuidadosos con información sobre el estado atmosférico, medidas de la precipitación, estudios de etapas de avenida y descarga, etc. Aún cuando haya datos disponibles, hay que tomarlos con reserva desde el punto de vista del ingeniero.

Aunque siempre la teoría estadística pueda predecir la magnitud de una "inundación de cada 50 años" basándose en sólo 30

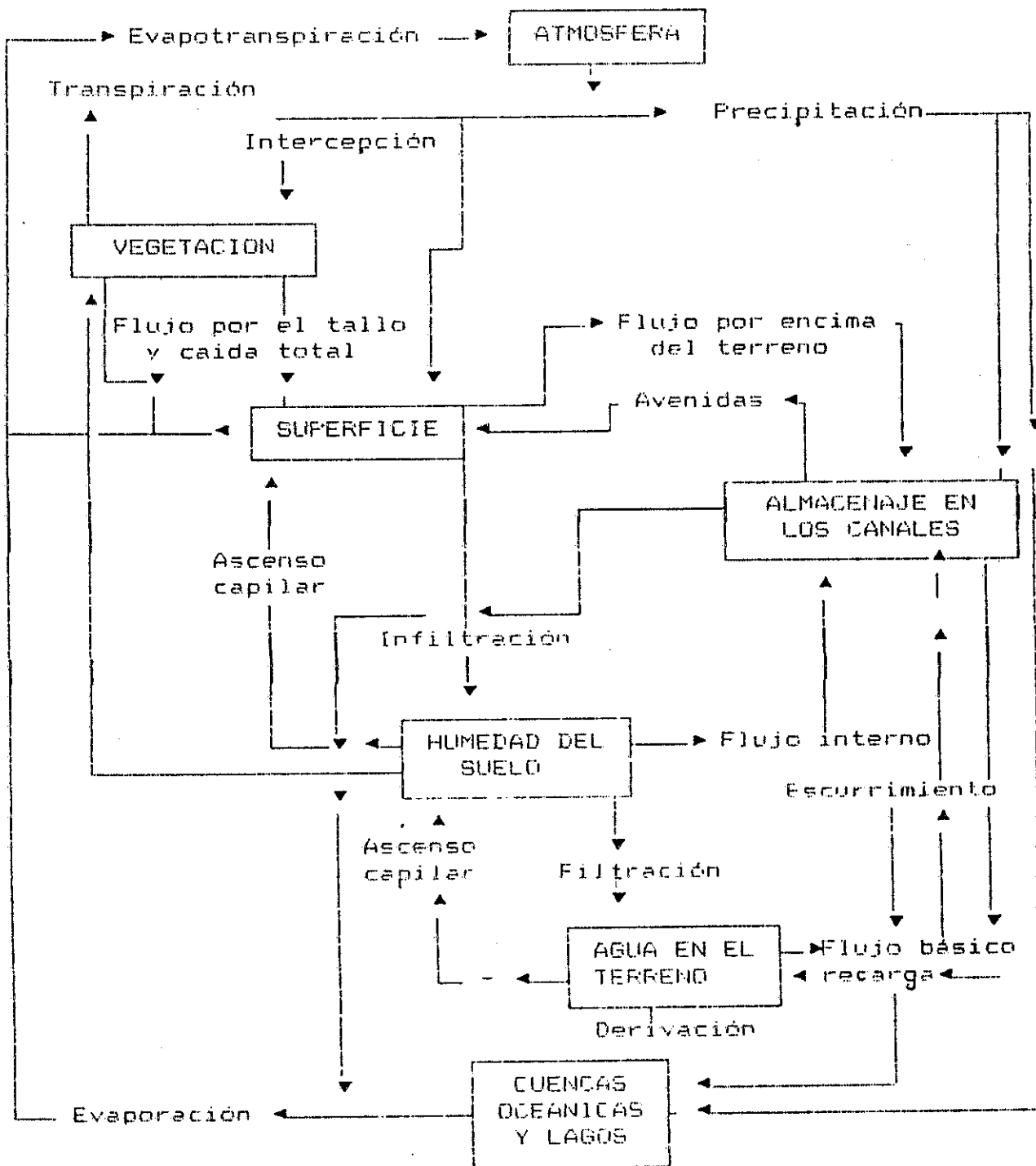


Fig. #1 El ciclo hidrológico²

²Simon, Andrew L. Hidráulica Básica. Ed. Limusa. México. 1,992. pp. 16.

años de datos. no hay seguridad de que no ocurra una mayor avenida. esperada cada cien años, en el segundo o quinto año de existencia de un proyecto. Esta es la razón por la que el ingeniero debe fomentar una comprensión básica de los fundamentos estadísticos usados en hidrología.

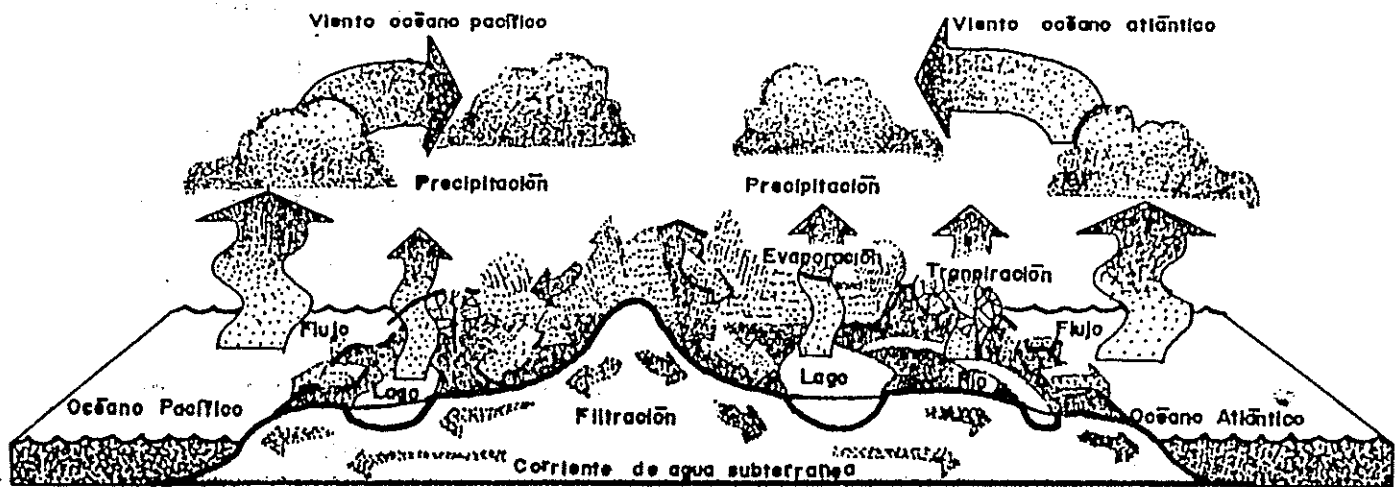


Fig #2 Componentes del ciclo hidrológico

1.4 Precipitación

Es la fase del ciclo hidrológico en la cual el agua en su estado sólido o líquido, cae a la superficie terrestre por efecto de la gravedad. La precipitación es el resultado del

excedente de vapor de agua en la atmósfera el que por medio de procesos de cambio de estado físico como la condensación y la sublimación, se transforma en pequeñas gotas o pequeños cristales de hielo, los que tienden a unirse hasta alcanzar volumen y peso suficientes, desplazándose a niveles inferiores de la atmósfera hasta caer a la tierra.

La humedad siempre está presente en la atmósfera, aún en los días sin nubes. Para que ocurra la precipitación se requiere de un mecanismo que enfríe el aire lo suficiente para que llegue así al punto de saturación o cerca de él. El enfriamiento de grandes masas, necesario para que se produzcan cantidades significativas de precipitación, se logra cuando ascienden las masas de aire. Este fenómeno se lleva a cabo por medio de barreras orográficas, presencia de frentes o por sistemas convectivos, los que resultan de radiaciones desiguales las cuales producen calentamiento o enfriamiento de la tierra y la atmósfera.

Está plenamente probado que la evaporación de los océanos es la principal fuente de humedad, base para la precipitación: y que, aproximadamente, el 10% de la precipitación en los continentes se puede atribuir a la evaporación de los mismos.

El análisis de las precipitaciones surge de la necesidad de determinar la magnitud del escurrimiento de una cuenca dada. Los datos de precipitación suministrados en forma de gráficas de intensidad, frecuencia y duración, se refieren a lluvias registradas en una estación pluviométrica. Se le conoce como precipitación en un punto.

1.4.1 Su importancia

La importancia de la precipitación radica en que el agua es un recurso natural renovable de singular trascendencia para nuestro planeta; esencialmente, el material necesario para el sostenimiento de cualquier forma de vida. Tanto en las actividades de la industria como en las de la agricultura, su presencia es determinante.

1.4.2 Sus formas

Por el estado físico que presente, la precipitación se puede clasificar en líquida, amorfa y sólida. En el país no ocurre la segunda (nieve), por lo que no se hará énfasis en ella. De las otras dos, la líquida se subdivide, por el diámetro de las gotas, en llovizna y lluvia; la sólida corresponde al llamado granizo.

1.4.2.1 Llovizna

Esta forma de precipitación se caracteriza por el diámetro tan pequeño de sus elementos, los cuales miden, aproximadamente, 0.5 mm. o menos. Por lo menudo de sus componentes, se perciben como partículas flotando en la atmósfera y son llevadas por el viento. Además, se manifiesta durante largos periodos pero con baja densidad y, por lo tanto, poca intensidad. La velocidad de caída de las gotitas es inferior a los 3m/s. No es, de ninguna manera, directamente influyente en el diseño de las obras hidráulicas enlistadas anteriormente. En

La precipitación de frentes fríos es de naturaleza corta y se origina cuando el aire cálido es obligado a subir por una masa de aire frío que avanza hacia él y cuya cara delantera es un frente frío. Estos frentes se mueven más rápidamente que los frentes cálidos puesto que sus superficies frontales tienen pendientes más inclinadas (1/50 a 1/150). Entonces el aire cálido se eleva más rápido y la precipitación es mucho mayor. Ver la figura #4. Cuando hay poco movimiento en las masas de aire, el frente recibe el nombre de estacionario.

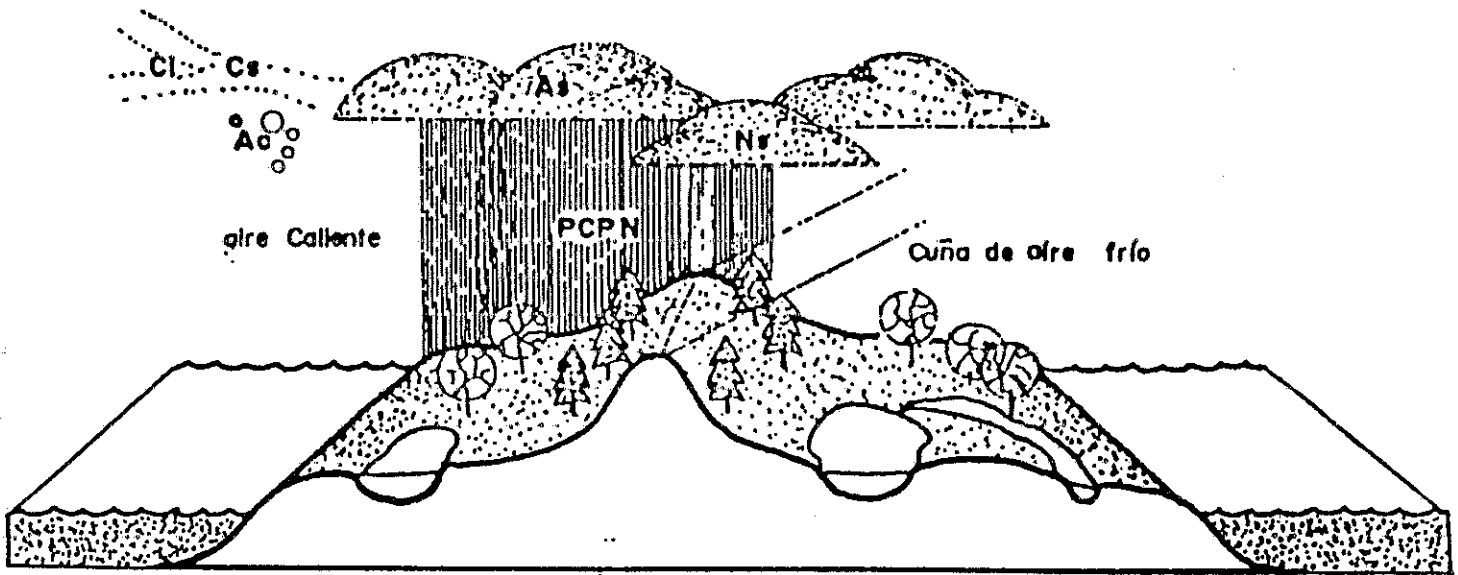


Fig. #4 Precipitación de frentes fríos

1.4.3.2

Convectiva

La precipitación convectiva es causada por el ascenso de aire cálido, más liviano que el aire frío de los alrededores. Las diferencias de temperatura pueden ser el resultado de calentamientos diferenciales en la superficie o de enfriamientos diferenciales en la parte superior de la capa de aire. La precipitación convectiva es más puntual y su intensidad varía entre la correspondiente a lloviznas ligeras y aguaceros. Es característica de las regiones ecuatoriales o de ocasiones muy calurosas. Ver la figura #5.

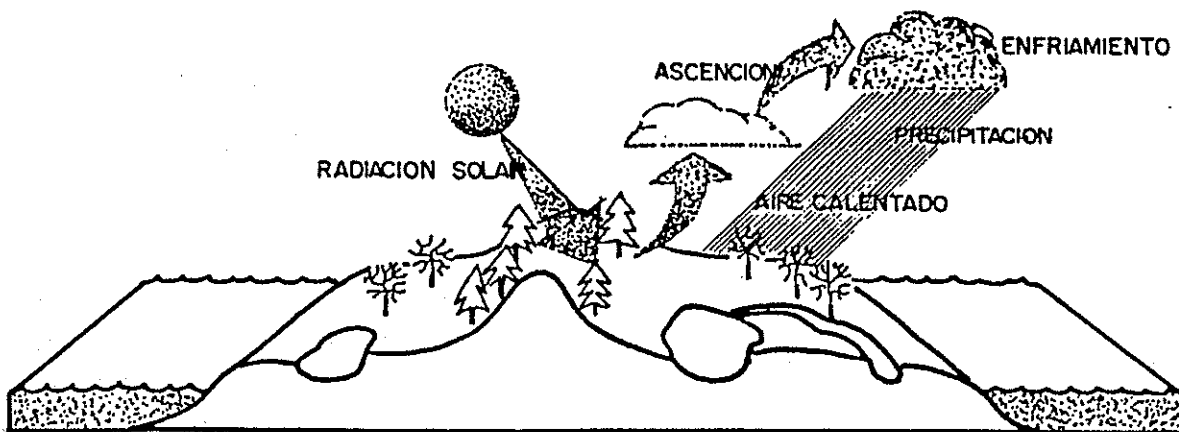


Fig. #5 Precipitación convectiva

1.4.3.3

Orográfica

La precipitación orográfica resulta del ascenso mecánico de las masas de aire cálido, provenientes del océano, sobre una cadena de montañas. Estas lluvias se caracterizan por ser intensas y abarcar áreas poco extensas. La influencia orográfica es tan marcada en terreno quebrado que los patrones de las tormentas se parecen a los de la precipitación media anual. Ver la figura #6.

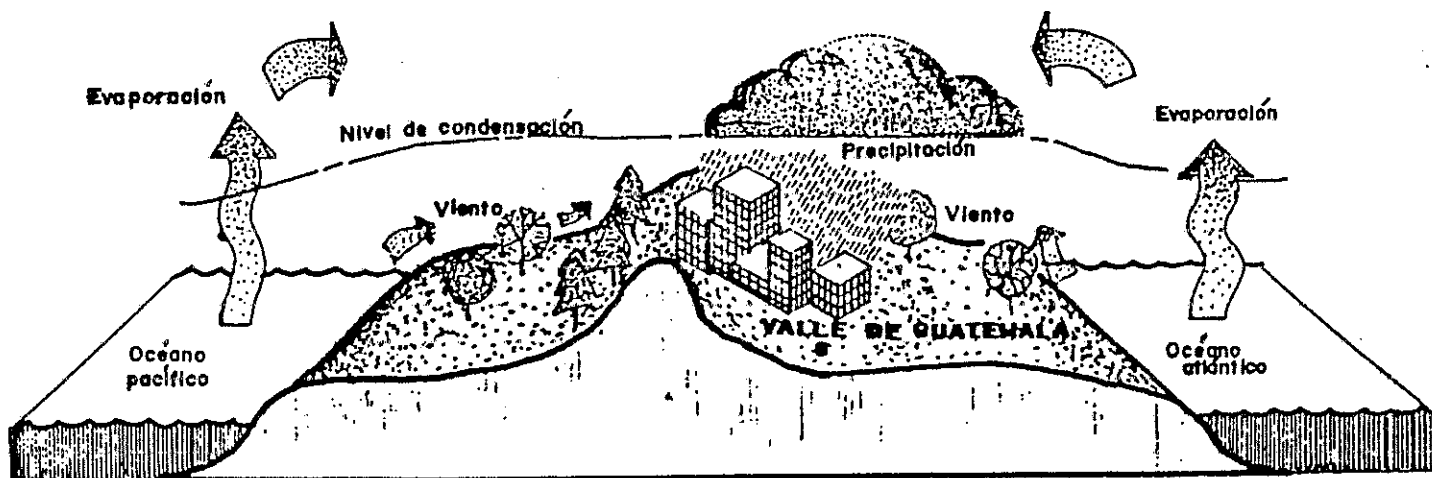


Fig. #6 Precipitación orográfica

1.4.4 Su medición

Hay gran variedad de técnicas e instrumentos para recopilar información de cualquiera de las fases de la precipitación. Una técnica moderna, enfocada a la meteorología, pero también un valioso auxiliar de la hidrología lo es la que emplea el radar meteorológico, determinando no sólo volúmenes de lluvia sino su desarrollo en un área específica.

Los instrumentos que son útiles para medir la cantidad y la intensidad son de gran importancia. Los hay también que son de utilidad para medir el tamaño y la distribución de las gotas de agua y para conocer el inicio y el final de una lluvia. Todas las formas de precipitación se miden sobre la base de una columna vertical de agua que se acumularía sobre una superficie a nivel. En el sistema internacional se mide en milímetros y en el sistema inglés, en pulgadas.

1.4.4.1 Pluviómetro

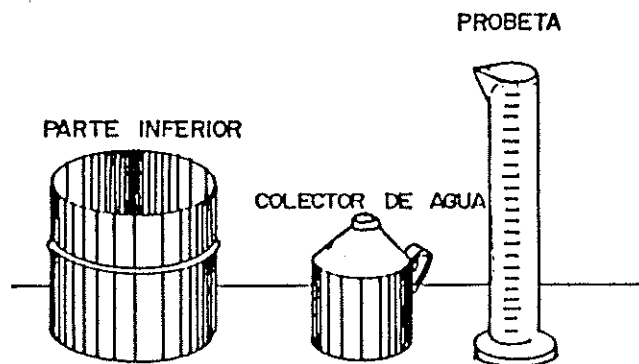
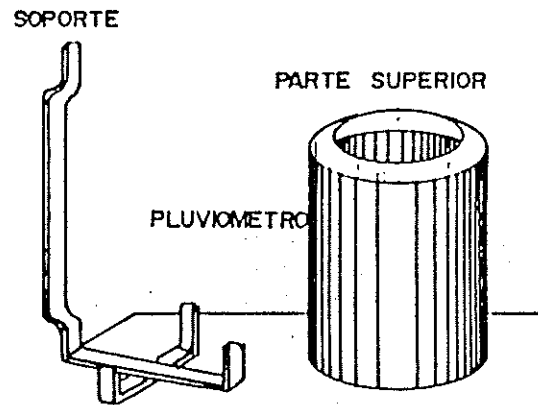
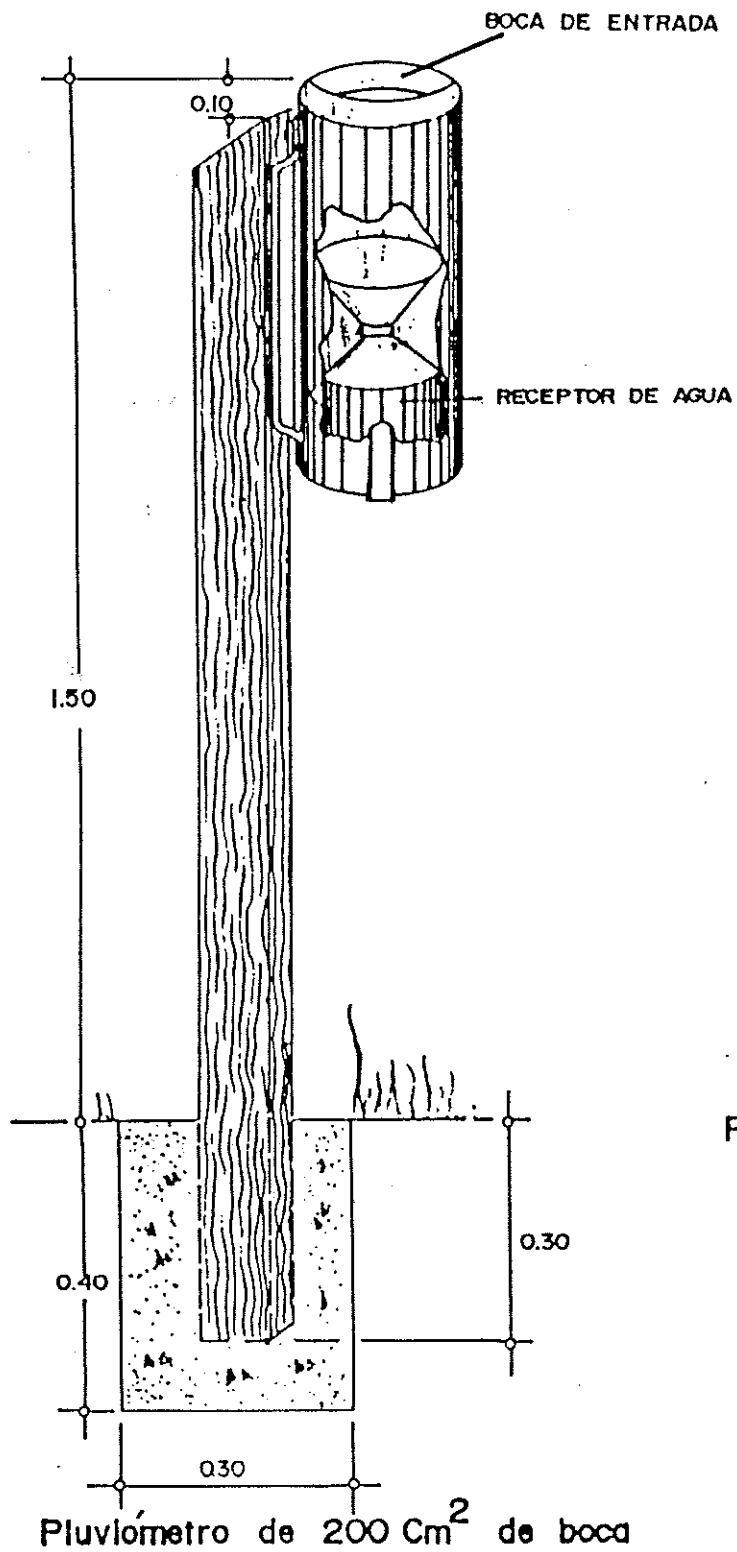
Es el instrumento que mide la cantidad de lluvia que cae en un lugar y en un tiempo determinado. La Organización Meteorológica Mundial -OMM- recomienda la utilización de un recipiente standard con un área de recepción de 200 cm cuadrados, delimitada por un anillo de bronce con borde bicelado. El equipo está formado por un recipiente cilíndrico, que tiene en su interior un colector y un receptor. Este se une al borde de bronce y su fondo tiene forma de embudo, el cual conduce el agua al colector, una basija de boca estrecha aislada del cilindro

para evitar evaporación por calentamiento. La medición del agua se realiza por medio de una probeta de vidrio con una escala graduada en mm. Se instala sobre un pedestal hincado a tierra a una altura de aproximadamente 1.50 m. Ver figura #7.

Por último, es aconsejable evitar la instalación del pluviómetro en los tejados o en laderas con mucho viento. El mejor lugar es aquel donde haya una superficie a nivel, rodeada de árboles o arbustos que protejan contra el viento y no obstruyan el aparato.

1.4.4.2 Pluviógrafo

Los tres tipos de pluviógrafo más conocidos son el de cubeta basculante, el de balanza y el de flotador. Es este último el descrito por ser el de uso corriente en Guatemala. Los pluviógrafos son semejantes a los pluviómetros, especialmente respecto del área de recepción, con la ventaja de tener un mecanismo que registra la altura de la precipitación caída y también cuándo ha caído, lo que permite analizar la distribución de la lluvia en el tiempo. Este mecanismo está formado por un tambor que gira a velocidad constante, al cual se adhiere un papel graduado especial. En el recipiente se coloca un flotador, unido a una plumilla cuya función es la de marcar las alturas de precipitación en el papel; el recipiente tiene una capacidad de 10 mm de lluvia y, al alcanzarse, se vacía automáticamente mediante un sifón. Ver figura #8. El registro obtenido es llamado pluviograma y se puede observar en la figura #9.



Piezas que constituyen el Pluviómetro

Fig. #7 Pluviómetro

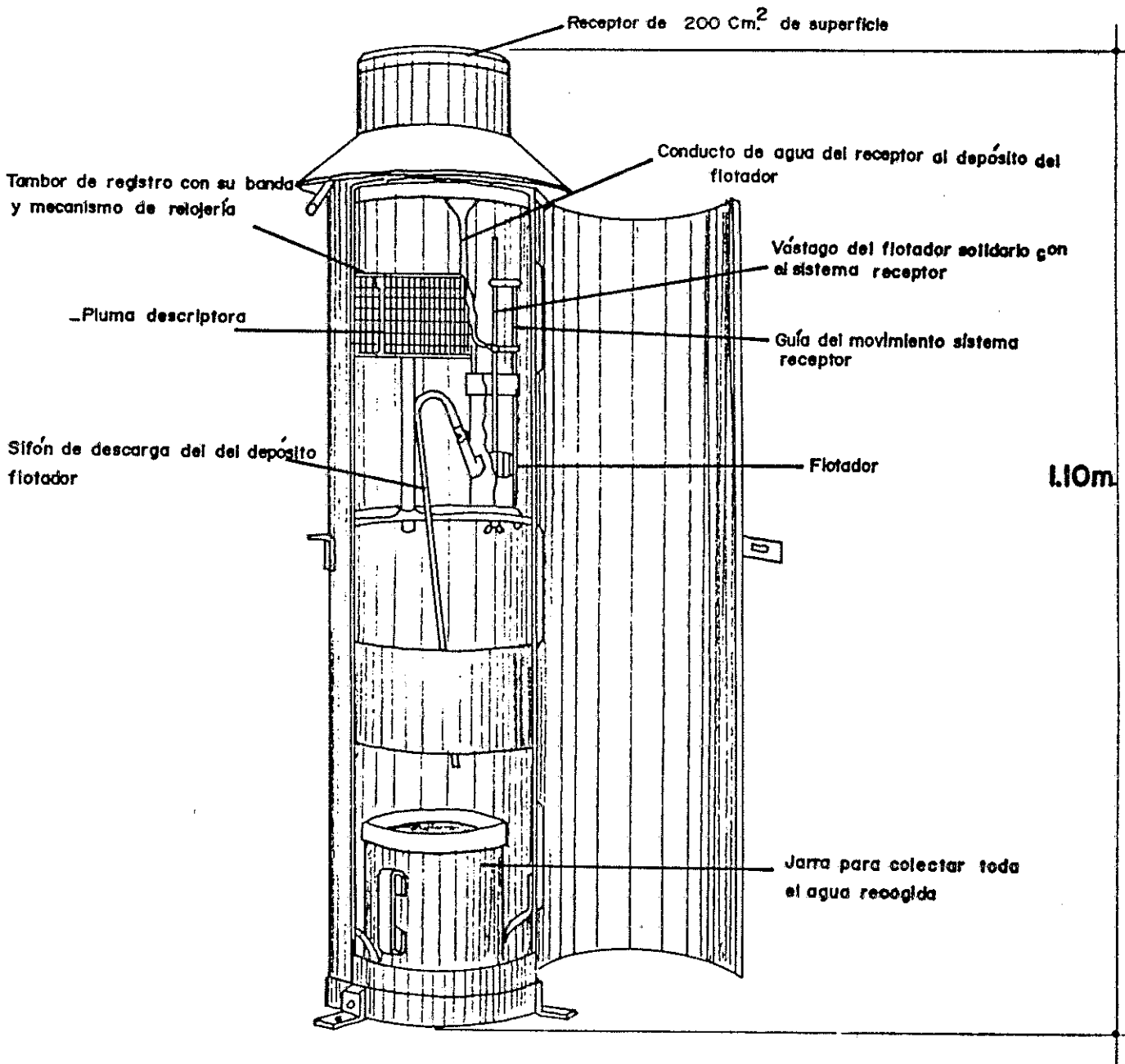


Fig. #8 Pluviógrafo

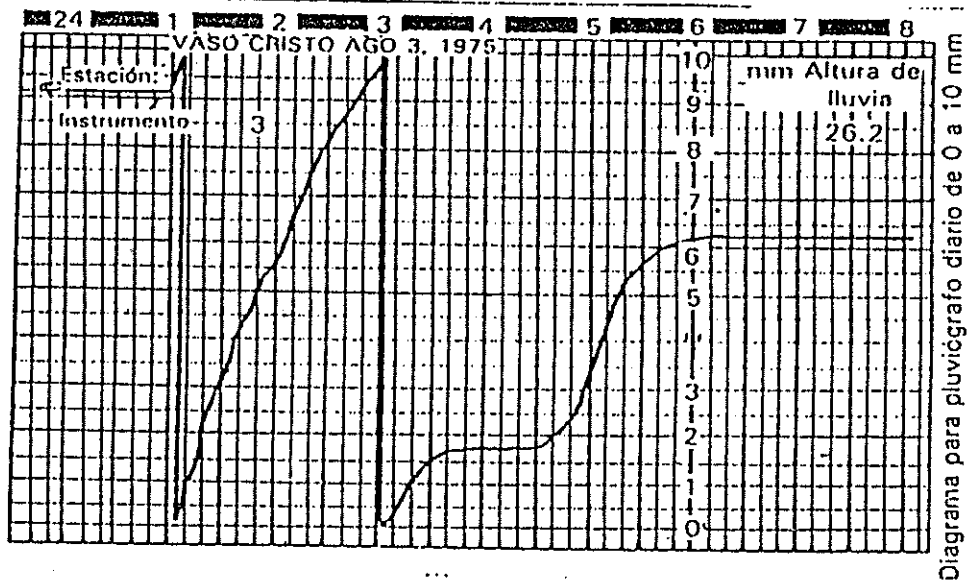


Fig. #9 Pluviograma

La precipitación se define por tres parámetros: duración, intensidad y frecuencia.

1.4.5 Su duración

La duración es el periodo de tiempo (t) durante el cual cae una determinada lluvia. Se puede expresar en minutos, horas o días. La duración de la precipitación es inversamente proporcional a su intensidad.

1.4.6 Su intensidad

La cantidad de agua que ha caído durante la lluvia y ha sido medida por medio de pluviómetros, se expresa en altura de precipitación (h). Si se divide ésta entre la duración de la

lluvia, se obtiene su intensidad (i). Se expresa en milímetros por hora (o pulgadas por hora). Debido a la naturaleza de las lluvias y por la forma en que se define la intensidad, las precipitaciones de corta duración son de alta intensidad; mientras que las lluvias de larga duración son de baja intensidad.

1.4.7 Su frecuencia

La frecuencia de la lluvia, también llamada probabilidad de ocurrencia, resulta de la relación entre la magnitud de la misma, caída en un lapso de tiempo predeterminado, con su periodo de retorno. Es un fenómeno dependiente de la ubicación geográfica y de las características físicas y también meteorológicas del lugar en estudio.

1.5 Curvas de intensidad de lluvia y sus fórmulas

Son también llamadas curvas de intensidad-duración-frecuencia porque interrelacionan los tres parámetros antes mencionados, en una sola gráfica. Ver la Fig. #13, pp. 55.

1.5.1 Descripción e importancia

Las referidas gráficas se dibujan en papel milimetrado y a una escala conveniente, situando en el eje de las abscisas los intervalos de tiempo previamente establecidos, es decir, once intervalos: 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 y 120 minutos. En el eje de las ordenadas se anota la intensidad de lluvia en

mm/h. Acá el número de intervalos dependerá del lugar estudiado y se dibuja una curva por cada periodo de retorno que interese.

Su importancia radica en que son gráficas útiles para hallar las intensidades óptimas de diseño ($i=hp/t$, ver Ec. #6, pp. 46), para la construcción de obras hidráulicas, particularmente ahora que las limitaciones económicas en el país son más que evidentes. La optimización depende, por un lado, de su costo y, por otro, del costo que implicaría una falla por un mal diseño. Este pequeño "juego" conlleva un riesgo, cuya magnitud -aceptable- depende del balance entre el costo de la obra y el de los daños que se producirían al verificarse una falla. Para determinar cuál es el riesgo que se corre al proponer un diseño de la obra, se hace necesario el análisis de los datos hidrológicos recabados en el lugar.

1.5.2 Análisis de datos

Toda la información requerida para el presente estudio fue gentilmente proporcionada por la encargada de la Sección de Archivo y Procesamiento de Datos, del INSIVUMEH. Para las lecturas en los rollos o cartas pluviográficas se usa una plantilla vinilica transparente, con líneas verticales, de acuerdo a la escala de los rollos o cartas, que están divididos en horas y éstas en periodos de 5 minutos, en la escala horizontal. La escala vertical va de 0 a 10 mm. Antes de cualquier lectura, es necesario verificar si el pluviógrafo ha trabajado normalmente.

Es muy importante anotar que la lectura de la gráfica se inicia en el preciso momento que la altura de la lluvia que ha caído, es mayor o igual a 0.8 mm, para un tiempo de 5 minutos (unos 10 mm/h aprox.). Se sigue leyendo cada cinco minutos la precipitación ocurrida, siempre que la suma acumulada sea mayor o igual que la indicada en la tabla #2 de la página 28 y hasta que la lluvia deje de ser intensa ($h = 0.8$ mm) o deje de llover.

Por el procedimiento descrito, se analizan los rollos y cartas diarias, escogiendo, por lo menos, seis aguaceros por mes -los más fuertes- y luego seleccionando el más intenso del año, para los 20 años (de 1.970 a 1.989 por ejemplo), así:

a- Se escoge la precipitación más intensa para 5 minutos, en cualquiera de las seis tormentas y no importando si se dió al principio, en medio o al final del meteoro.

b- Se busca la precipitación más intensa para 10 minutos, sumando las parejas consecutivas más grandes y seleccionando la mayor (no importa de qué aguacero).

c- Se busca la precipitación más intensa para 15 minutos, sumando las tres lecturas consecutivas de una misma lluvia, cuyo resultado sea el mayor; y así sucesivamente para los intervalos de tiempo establecidos.

Este procedimiento resulta ser excelente pues permite la obtención de datos de precipitación máxima más conservadores y seguros. A continuación, en la tabla #1, se presenta un ejemplo cuyo propósito es el de ilustrar mejor lo antes expuesto.

Sean las cinco lluvias siguientes:

T A B L A # 1

Fecha (1986)	21/5	15/6	24/9	15/10	12/1		
Inicio	16:20	19:55	10:10	21:45	5:00		
Tiempo (min)	P r e c i p i t a c i ó n (mm)						
5	1.3	2.2	3.7	G	1.2	2.9	
10	3.5	4.2	2.7	G	4.0	CD	3.8
15	2.0	6.4	8.4	EFG	8.8	ABCD	4.2
20	0.6	3.2	4.7	EFG	5.2	BCD	3.9
25	0.9	1.4	3.6	EFG	3.0	D	3.2
30	3.3	1.2	2.7	EFG	1.2		3.0
35	2.3	2.0	2.7	EFG	1.7		2.1
40	4.4	1.0	2.9	EFG	2.2		0.7
45	1.1	2.7	3.2	FG	5.0		0.9
50	0.3	2.7	4.7	FG	2.7		0.9
55	0.2	3.7	4.4	FG	1.9		0.7
60	0.2	1.5	1.7	G	0.3		0.5
65	---	0.2	0.7		---		---

De la tabla anterior se observa que la máxima precipitación para un intervalo de 5 minutos ocurrió el 15/10. a los 15 minutos de iniciada la lluvia (8.8 mm). En general, para obtener la precipitación máxima anual, se tabulan los datos señalados en la tabla, de la siguiente manera:

5 minutos (A)	8.8 mm
10 minutos (B)	8.8 + 5.2	14.0 mm
15 minutos (C)	8.8 + 5.2 + 4.0	18.0 mm
20 minutos (D)	8.8 + 5.2 + 4.0 + 3.0	21.0 mm
30 minutos (E)	8.4 + 4.7 + 3.6 + 2.7 + 2.7 + 2.9	25.0 mm
45 minutos (F)	8.4 + 4.7 + 3.6 + 2.7 + 2.7 + 2.9 + 3.2 + + 4.7 + 4.4	37.3 mm
60 minutos (G)	3.7 + 2.7 + 8.4 + 4.7 + 3.6 + 2.7 + 2.7 + + 2.9 + 3.2 + 4.7 + 4.4 + 1.7	45.4 mm

Entonces, la lluvia máxima anual para esos 7 intervalos será:

Tiempo (min)	5	10	15	20	30	45	60
Altura (mm)	8.8	14.0	18.0	21.0	25.0	37.3	45.4
Intensidad(mm/h)	105.6	84.0	72.0	63.0	50.0	49.7	45.4

T A B L A #2*

Altura mínima de precipitación para una lluvia intensa

Tiempo(min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Altura(mm)	0.8	1.7	2.5	3.3	4.2	5.0	5.8	6.7	7.5
Tiempo(min)	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Altura(mm)	8.3	9.2	10.0	10.8	11.7	12.5	13.3	14.2	15.0
Tiempo(min)	95	100	105	110	115	120	125	130	135
Altura(mm)	15.8	16.7	17.5	18.3	19.2	20.0	20.8	21.7	22.5
Tiempo(min)	140	145	150	155	160	165	170	175	180
Altura(mm)	23.3	24.2	25.0	25.8	26.7	27.5	28.3	29.2	30.0
Tiempo(min)	185	190	195	200	205	210	215	220	225
Altura(mm)	30.8	31.7	32.5	33.3	34.2	35.0	35.8	36.7	37.5

Respecto de las fórmulas a utilizar para llegar al ploteo de las curvas, es necesario escoger el procedimiento estadístico en función de tres parámetros:

- 1- Su claridad.
- 2- Su facilidad de manejo.
- 3- La confiabilidad de sus resultados.

Con base en lo anterior, y después de una exhaustiva revisión del método de rangos percentiles y el de correlación lineal múltiple, se escogió este último el cual relaciona simultáneamente las tres variables (intensidad, duración, frecuencia) en una familia de curvas cuya ecuación es:

$$i = \frac{kT^m}{(t + b)^n} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: k, m, n & b son constantes que se calculan mediante un

Documento proporcionado por la Sección de Hidrología del INSIVUMHEH.

análisis de correlación lineal múltiple. T & t son las variables dependientes: i es la variable independiente.

1.5.3 Utilización de las curvas y las fórmulas

Su uso en Guatemala es muy pobre debido a que, según lo que se pudo investigar, son pocas las regiones en las que los datos recabados por alguna estación meteorológica han sido ordenados y tabulados; además, aparte de la poca información, no se ha hecho conciencia en los profesionales afines, de las bondades que reporta su aplicación.

La utilización de las curvas y las fórmulas de intensidad-duración-frecuencia permitirán al ingeniero optimizar diseños en obras como drenaje de carreteras, alcantarillado pluvial y otras obras ingenieriles, coadyuvando en el esfuerzo por encontrar soluciones económicas y duraderas a los ingentes problemas que en este campo tiene Guatemala.

Para elaborar un buen diseño bastará con seleccionar el período de retorno (frecuencia) y la duración de la precipitación como las variables dependientes del problema. Con estos datos en la fórmula respectiva, será fácil calcular la intensidad máxima de la lluvia esperada y con ello proponer las características de la obra sobre una base más segura y confiable.

Un ejemplo desarrollado en el capítulo #3, permitirá una mayor claridad en la comprensión del uso de las curvas y las fórmulas de intensidad de lluvia, con datos reales de la estación de El Porvenir del municipio de Sayaxché, Petén.



CAPITULO II

La estación de El Porvenir y su entorno

2.1 Descripción de la estación

Guatemala cuenta con una cantidad abundante de datos meteorológicos e hidrométricos originados en los registros de sus estaciones en todo el territorio, los cuales pueden ser consultados en las diferentes secciones del INSIVUMEH.

Por su geografía, la Republica de Guatemala está dividida en tres vertientes, ver figura #10, las que a su vez se dividen en cuencas y éstas en subcuencas, lo que da origen a las claves de cada estación.

Las vertientes son:

- 1- Vertiente del Pacífico.
- 2- Vertiente del Mar de las Antillas.
- 3- Vertiente del Golfo de México.

2.1.1 Localización

La estación meteorológica de El Porvenir se encuentra ubicada al norte de Guatemala, en el suroeste del departamento de Petén, en el municipio de Sayaxché y en las márgenes del río La Pasión. Por su situación geográfica, corresponde a la vertiente del Golfo de México. A continuación sus datos más relevantes:

- 1- Estación No.: 11.3.3 (Código del INSIVUMEH)
- 2- Elevación: 125 Mts. sobre el nivel del mar.
- 3- Latitud: 16°31'00"
- 4- Longitud: 90°29'08"

2.1.2 Categoría

La estación meteorológica de El Porvenir pertenece al Proyectó Hidrometeorológico Centroamericano (P.H.C.) y es de Primer Orden o clase "A": esto es, se llevan tres lecturas diarias (7, 13 y 18 Hrs.) de los siguientes fenómenos:

- a- Presión atmosférica, máxima, mínima y media.
- b- Temperaturas extremas, máxima, mínima y oscilación media.
- c- Tensión de vapor.
- d- Humedad relativa.
- e- Radiación, media y máxima; y, además:
- f- Punto de rocío.
- g- Sol, total y %
- h- Nubosidad.
- i- Evaporación.
- j- Viento.
- k- Temperatura del suelo en °C.
- l- Precipitación en intervalos de 7 AM a 6 PM y de 6 PM a 7 AM.

En razón que la mayor parte de esta información se mide y actualiza cada 2 horas, la estación es sinóptica (registra los fenómenos de tiempo presente), proporcionando dicha información a la aeronavegación, de ser necesario.

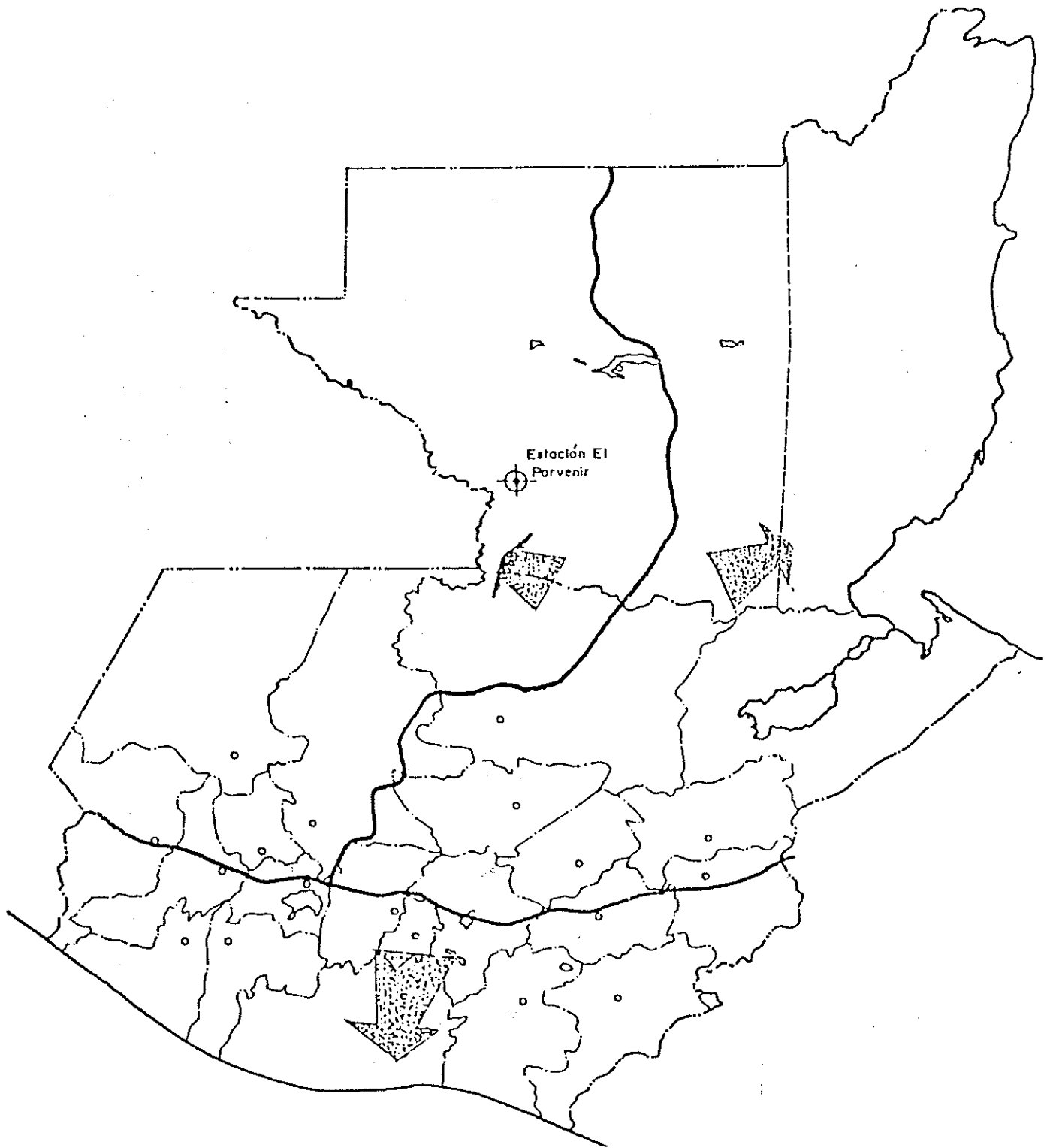


Fig. #10 Estación El Porvenir y vertientes de Guatemala

2.1.3 Personal a cargo de la estación

Para recopilar toda la información indicada anteriormente, se hace necesario tener una regular cantidad de personal, que trabaje por turnos y sea suficientemente adiestrado; además, debe radicar cerca de la estación. Acá, el personal fue el adecuado en cuanto a cantidad y preparación cuando se creó la estación; pero ahora, después de 28 años (la estación se inauguró en julio de 1967), debido a los problemas financieros del estado y un poco a la dejadez de las autoridades correspondientes, sólo hay dos personas que se turnan para hacer todo el trabajo con el consiguiente deterioro de los datos. Párrafo aparte merece el escaso mantenimiento y la tardía reparación de los instrumentos dañados, justificable, tal vez, por la ubicación lejana de la estación.

2.1.4 Registros de precipitación

Los registros de precipitación para la estación de El Porvenir se llevan a cabo por medio de un pluviómetro y un pluviógrafo. En cierta forma ambos se complementan pues, por lo delicado del sistema del pluviógrafo, cuando sufre algún desperfecto, son los datos del pluviómetro los registrados, con la consiguiente disminución en la calidad de la información, especialmente para la realización de un trabajo como el actual.

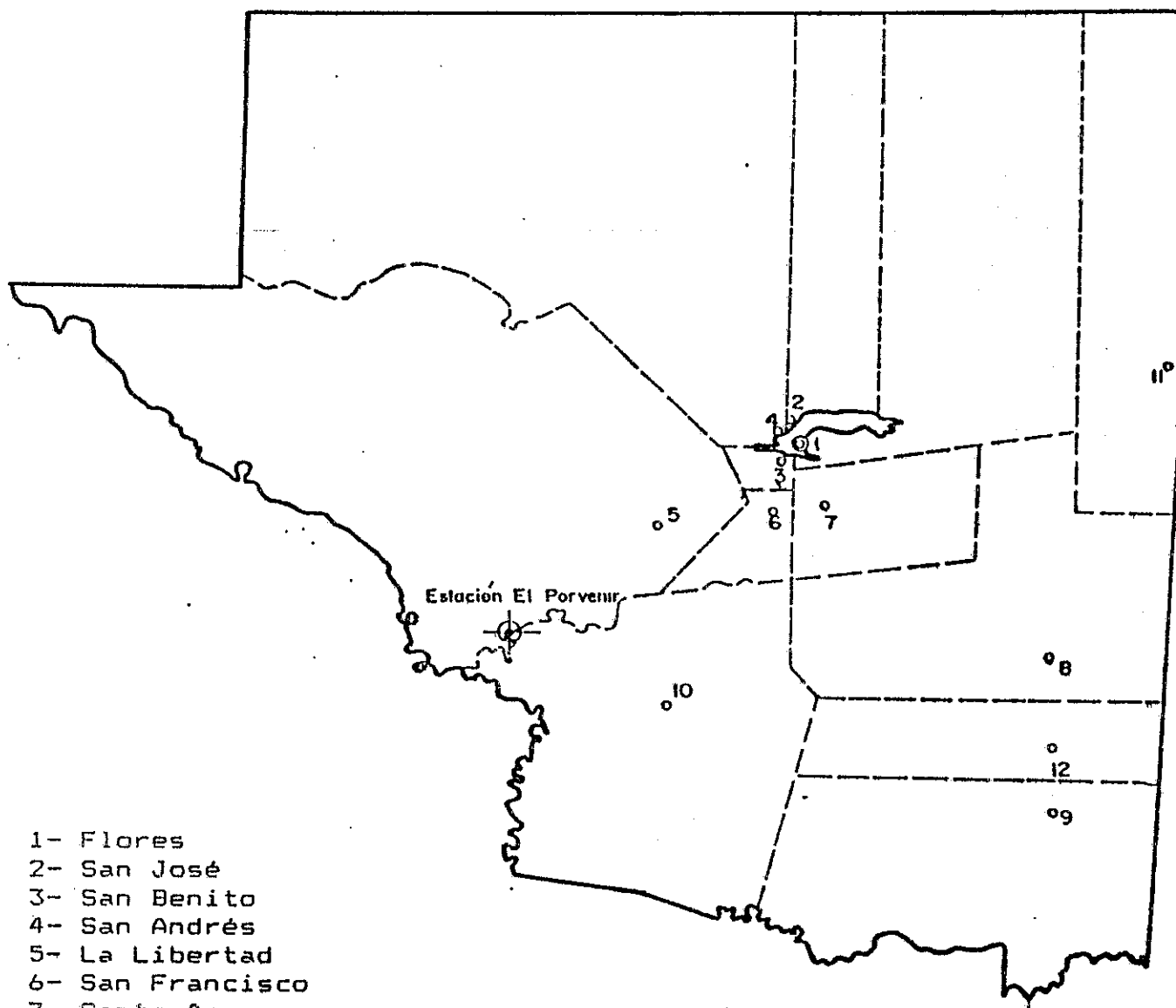
Los registros en los rollos y en las cartas pluviográficas se hacen a diario, en dos intervalos (de 7 a.m. a 6 p.m. y de 6 p.m. a 7 a.m.). Se registra el total diario de precipitación en

milímetros y la intensidad máxima cada 5', 10', 15', 30', 50', 2H y 6H, aunque es muy rara la lluvia que excede las dos horas de duración.

Existen registros de precipitación, con alzas y bajas por desperfectos de los instrumentos, desde 1,967 hasta 1,993. Hay totales de altura de precipitación y también días totales de lluvia, de dos formas: mensual y anualmente de 1,970 a 1,989, los cuales proporcionan una visión general de la precipitación en la zona. Las curvas y las fórmulas de intensidad de lluvia fueron desarrolladas con los registros de 1,971 a 1,986 -16 años- porque presentan lecturas homogéneas en el pluviógrafo, salvo algunos meses no significativos, las que permitieron llegar a resultados consistentes.

2.2 Descripción de su entorno

La situación de la estación a orillas del río La Pasión es muy pintoresca y no existe ningún poblado cercano, excepto las ruinas mayas de Yaxchilán a 20 minutos río abajo, utilizando lancha rápida. Está cerca de la confluencia de los ríos Salinas y La Pasión, los cuales forman el anchuroso río Usumacinta, límite entre Guatemala y México. El único medio de comunicación con la cabecera municipal, Sayaxché, es por la vía fluvial, empleándose aproximadamente 3 horas en lancha rápida para llegar a ella. La estación no cuenta con transporte propio, razón por la cual los instrumentos que resultan dañados tardan más en ser reparados y los registros en llegar a su destino.



- 1- Flores
- 2- San José
- 3- San Benito
- 4- San Andrés
- 5- La Libertad
- 6- San Francisco
- 7- Santa Ana
- 8- Dolores
- 9- San Luis
- 10- Sayaxché
- 11- Melchor de Mencos
- 12- Poptún

Fig. #11 División municipal de Petén y situación de la Estación El Porvenir.

2.2.1 Clima

Consultado el Mapa Climatológico Preliminar de la República de Guatemala,⁴ según el sistema Thornthwaite, se halló la siguiente nomenclatura para el área donde se encuentra la estación de El Porvenir:

(A' b' B r)

Con la siguiente descripción:

- A' ——— Clima cálido
- b' ——— Con invierno benigno
- B ——— Húmedo boscoso
- r ——— Sin estación seca bien definida

2.2.2 Vegetación

La vegetación en los alrededores de la estación de El Porvenir es de lo más exuberante porque se combinan para ello las condiciones óptimas de humedad, latitud y altitud. Aún existen abundantemente las maderas preciosas como el cedro y la caoba a pesar que su explotación se inició en 1874 cuando el gobierno estableció una "montería" en las márgenes del río Usumacinta. En 1880 se arrendó el bosque a la casa comercial "Jamet y Sastre" la que delegó la concesión a la compañía norteamericana "The Guatemalan and Mexican of Mohogan and Export Company", que extendió sus trabajos hasta las márgenes del río La

⁴Tesis del Ing. Civil Ricardo Obiols del Cid, publicado por el IGN en Noviembre de 1966, 134 pp.

Pasión. Posteriormente, la casa comercial "Sisniega Otero e hijos" explotó las márgenes del río mencionado y sus afluentes, ya que la transportación de la madera hasta territorio mexicano, aprovechando el caudal de los ríos, les resultaba económica.

En los alrededores también es fácil encontrar árboles de chico-zapote, hule silvestre y la imponente ceiba. En fin, los bosques de Petén pertenecen a la categoría de bosques tropicales.

2.2.3 Topografía

La estación de El Porvenir está inmersa en la topografía del departamento: extensas planicies y dilatadas llanuras, con excepción de las colinas que se extienden al N.O., a lo largo del río Usumacinta hasta Tenosique (México), con alturas de hasta 250 metros. Está situada a 125 Mts. sobre el nivel del mar.

2.2.4 Hidrografía

Los ríos de Petén, caudalosos en su mayoría, corren en todas direcciones y tributan sus aguas, unos al Golfo de México y otros al Mar de las Antillas, siendo los más importantes los siguientes: Río San Pedro, Hondo, Mopán, Salinas, La Pasión y Usumacinta: este último es el más caudaloso y sirve de línea divisoria entre nuestro país y México.

Respecto de los lagos, son veintisiete los principales, todos ellos sin desagüe visible. El más extenso e importante es Petén Itzá y al sur, zona de la estación: Comixtún, Petexbatún, San Joaquín, San Juan Akul, San Diego, San Pablo y Yaxchilán.

2.2.5 Geología

Las características geológicas del subsuelo de Petén varían según la región. Representan un área de bosque tropical húmedo, con elevaciones promedias de cien metros, formadas por sedimentos Mesozóicos y terciarios. Sobre calizas y dolomitas Cretácicas se desarrolló un relieve karst, dando lugar a terrenos muy accidentados.

Los depósitos sedimentarios aumentan de espesor hacia el centro de la cuenca de Petén. Ese incremento se acompaña de un cambio de fases de carbonatos cretácicos hacia evaporitas que, posiblemente, llegan a tener un espesor mayor de los tres mil metros. El espesor sedimentario total en las partes más profundas de la cuenca, probablemente exceda los diez mil metros. En la parte sur de las tierras bajas, los carbonatos cretácicos están cubiertos por rocas clásticas del Cretácico Superior y Terciario Inferior. Más al norte afloran carbonatos, rocas clásticas y evaporitas del terciario más joven. Sedimentos clásticos del Pensilvánico-Pérmico se encuentran en las montañas Mayas. También existe una franja delgada de capas rojas Jurásicas-Cretácicas alrededor del extremo suroeste de esta estructura. Estos sedimentos Paleozóicos y Mesozóicos fueron penetrados en pozos perforados en el lado este de la cuenca.³

Respecto de la mineralogía, existen yacimientos de yeso, talco y alabastro, así como de petróleo, ya en explotación.

³Atlas Nacional de Guatemala. Instituto Geográfico Nacional, 1972:pp. 3-6.



CAPITULO III

Deducción de las curvas y las fórmulas de intensidad

de lluvia para la estación de El Porvenir

3.1 Descripción del método a utilizar

El procedimiento estadístico seleccionado es el de correlación lineal múltiple, el cual relaciona las tres variables consideradas (intensidad, duración, frecuencia, ver ecuación #1, páginas 28 y/o 42) en forma simultánea, para obtener la familia de curvas que interesa.

Generalmente se encuentra en la práctica que hay relación entre dos o más variables. Lo importante es lograr expresar esta relación mediante una ecuación matemática que ligue las variables. Un primer paso sería la recolección de datos de las variables consideradas. Luego representarlos en un sistema de coordenadas rectangulares. El conjunto de puntos resultantes recibe el nombre de diagrama de dispersión, con el cual se puede, con frecuencia, representar una curva que se aproxime a los datos, llamada curva de aproximación. Si los datos se aproximan a una línea recta se dice que entre las variables existe una relación lineal; de lo contrario, existe una relación no lineal.

El tipo más sencillo de curva de aproximación es la línea recta, cuya ecuación puede escribirse:

$$Y = a_0 + a_1 X$$

Ecuación 2

Los problemas que abarcan tres o más variables son tratados de la misma forma que los de dos variables. Por ejemplo, puede existir una relación entre tres variables, que viene dada por la ecuación:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 \quad \text{Ecuación 3}$$

Esta ecuación corresponde a una familia de líneas rectas de pendiente a_2 , ordenada en el origen a_0 y espaciamiento a_1 .

La correlación es el grado de relación entre las variables, que se estudia para determinar en qué medida una ecuación lineal o de otro tipo describe o explica en forma adecuada dicha relación. Si se trata de sólo dos variables, se habla de correlación simple. Cuando se trata de más de dos variables se habla de correlación lineal múltiple.*

Volviendo a la ecuación escogida:

$$i = \frac{kT^m}{(t+b)^n} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

k , m , n y b son constantes a calcular por medio de un análisis de correlación lineal múltiple. T y t son las variables dependientes y representan la frecuencia y la duración, respectivamente; mientras que i es la variable independiente y representa la intensidad de lluvia.

Si se toman logaritmos de la Ec. 1, se obtiene:

$$\boxed{\text{Log } i = \text{log } k + m \text{log } T - n \text{log } (t+b)}$$

*Aparicio Mijares, Francisco J.: Fundamentos de hidrología de superficie. Ed. Limusa, México, 1989; pp. 169.

Ecuación que comparada con la Ec. #3, resulta:

$$Y = \log i ; a_0 = \log k ; a_1 = m ; x_1 = \log T ; a_2 = -n ; x_2 = \log(t+b)$$

Si los registros de i , t y T se dibujan en papel logaritmico, usualmente se agrupan en torno a lineas rectas. A veces las lineas resultan ligeramente curvas, lo que se puede corregir agregando al tiempo (t) un valor constante (b). Si los datos se agrupan lo suficiente en torno a lineas rectas, el valor de la constante b puede tomarse como cero.

Al hacer un ajuste de correlación lineal múltiple de una serie de tres tipos de datos, se obtiene un sistema de ecuaciones como el siguiente:

$$\begin{aligned} \Sigma y &= N a_0 + a_1 \Sigma x_1 + a_2 \Sigma x_2 \\ \Sigma (x_1 y) &= a_0 \Sigma x_1 + a_1 \Sigma (x_1)^2 + a_2 \Sigma (x_1 x_2) \\ \Sigma (x_2 y) &= a_0 \Sigma x_2 + a_1 \Sigma (x_1 x_2) + a_2 \Sigma (x_2)^2 \end{aligned}$$

donde N es el número de datos y las incógnitas son a_0 , a_1 y a_2 ; x_1 , x_2 e y son, respectivamente, los logaritmos del periodo de retorno, el tiempo (con el valor de b agregado, de ser necesario) y la intensidad, obtenidos de los registros de precipitación.

Una vez calculados los coeficientes a_0 , a_1 y a_2 , es posible valorar los parámetros k , m y n de la ecuación 1.

Usualmente, cuando se tienen datos de un cierto periodo y se desea aplicar algún método estadístico para extrapolar dichos datos a periodos de retorno mayores a los de las mediciones, es necesario asignar un valor de T a cada dato registrado. La

siguiente expresión se utiliza para asignar periodos de retorno a una serie de de datos:

$$T = \frac{n + 1}{m} \quad \text{Ecuación 4}$$

donde m = No. de orden en una lista, de mayor a menor, de los datos y n = No. de datos.

R es llamada el riesgo en la teoría probabilística y con este parámetro es posible determinar cuáles son las implicaciones de seleccionar un periodo de retorno dado T , para una obra que tiene una vida útil de n años.

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n \quad \text{Ecuación 5}$$

La cuestión que se plantea ahora es: ¿Qué valor debe tener un riesgo para tomar una decisión acertada?. El análisis clásico de este punto es ambiguo y sale del paso afirmando que, por ser una decisión estratégica, es suficiente que el ingeniero proporcione a quien debe decidir, la información útil para su estrategia.

3.2 Lectura de cartas pluviográficas

La lectura de los rollos o cartas pluviográficas se realizó en la Sección de Archivo y Procesamiento de Datos del INSIVUMEH. Para ello se usó una plantilla vinilica transparente, con líneas verticales, de acuerdo a la escala de los rollos, los cuales están divididos en horas y éstas en periodos de 5 minutos en la escala horizontal: la escala vertical va de 0 a 10 mm. Se escogieron de 4 a 6

aguaceros por año y luego se procedió como quedó descrito en la página 26, concluyendo en que lo realizado permite la obtención de datos de precipitación máxima más conservadores y, por lo tanto, con mayor confiabilidad para su uso.

3.3 Selección de las máximas precipitaciones anuales

La siguiente tabla es el resumen de las máximas precipitaciones para la estación El Porvenir, durante los 16 años de registros continuos:

T A B L A #3

Registro de las máximas precipitaciones anuales de la estación

Año	Duración, minutos					
	5'	10'	15'	30'	50'	120'
1971	33.6	58.8	75.2	90.0	100.4	106.6
1972	41.0	80.0	107.1	130.7	147.8	157.6
1973	54.6	98.6	128.5	148.7	159.2	186.0
1974	40.7	66.6	84.9	97.9	107.5	114.6
1975	46.0	77.0	100.5	118.8	131.4	139.3
1976	74.6	120.9	149.9	165.2	180.5	190.8
1977	51.7	94.7	124.7	140.0	151.0	157.8
1978	38.8	63.0	81.7	92.1	102.3	109.5
1979	73.4	118.6	147.6	162.7	178.2	188.5
1980	44.2	70.0	88.8	100.9	110.3	117.2
1981	45.4	78.3	105.5	125.8	142.4	152.6
1982	44.4	74.6	97.6	115.6	128.1	136.1
1983	65.4	109.6	138.9	155.5	168.2	177.9
1984	48.0	73.3	93.3	105.5	120.9	131.0
1985	39.9	70.1	100.9	121.1	136.4	147.9
1986	42.5	79.4	110.4	131.4	152.4	164.0

Alturas de precipitación en mm

3.4 Cálculo de intensidades

Ahora es necesario transformar las alturas de precipitación de la tabla #3 en intensidades de lluvia, con el

propósito de someter los datos al proceso estadístico requerido, para lo cual se utilizará la siguiente ecuación:

$$i = \frac{hp * 60}{t} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde: i = Intensidad de lluvia, en mm/h.

hp = Altura de precipitación, en mm.

t = Duración, en minutos.

Por ejemplo, para un intervalo de 10' y una precipitación máxima de 80 mm, la intensidad máxima será:

$$i = \frac{80 \text{ mm} * 60 \text{ min/h}}{10 \text{ min}} = 480 \text{ mm/h}$$

T A B L A #4

Registro de las máximas intensidades anuales de la estación

Año	Duración, minutos					
	5'	10'	15'	30'	50'	120'
1971	403.2	352.8	300.8	180.0	120.5	53.3
1972	492.0	480.0	428.4	261.4	177.4	78.8
1973	655.2	591.6	514.0	297.4	191.0	93.0
1974	488.4	399.6	339.6	195.8	129.0	57.3
1975	552.0	462.0	402.0	237.6	157.7	69.6
1976	895.2	725.4	599.6	330.4	216.6	95.4
1977	620.4	568.2	498.8	280.0	181.2	78.9
1978	465.6	378.0	326.8	184.2	122.8	54.8
1979	880.8	711.6	590.4	325.4	213.8	94.3
1980	530.4	420.0	355.2	201.8	132.4	58.6
1981	544.8	469.8	422.0	251.6	170.9	76.3
1982	532.8	447.6	390.4	231.2	153.7	68.1
1983	784.8	657.6	555.6	311.0	201.8	89.0
1984	576.0	439.8	373.2	211.0	145.1	65.5
1985	478.8	420.6	403.6	242.2	163.7	74.0
1986	510.0	476.4	441.6	262.8	182.9	82.0

Intensidades en mm/h

Una vez transformados los datos en intensidades, es preciso asignarle a cada uno un periodo de retorno, de acuerdo a la ecuación #4: por ejemplo, para los datos cuyo número de orden es 5, se tiene:

$$T = \frac{16 + 1}{5} = 3.4 \quad \text{Ecuación 4}$$

También se necesita ordenar los datos de mayor a menor para cada duración, lo cual se realizó en la tabla #5.

T A B L A #5

Máximas intensidades ordenadas de mayor a menor

No. orden	T.años	Duración, minutos					
		5'	10'	15'	30'	50'	120'
1	17.0	895.2	725.4	599.6	330.4	216.6	95.4
2	8.5	880.8	711.6	590.4	325.4	213.8	94.3
3	5.7	784.8	657.6	555.6	311.0	201.8	93.0
4	4.3	655.2	591.6	514.0	297.4	191.0	89.0
5	3.4	620.4	568.2	498.8	280.0	182.9	82.0
6	2.8	576.0	480.0	441.6	262.8	181.2	78.9
7	2.4	552.0	476.4	428.4	261.4	177.4	78.8
8	2.1	544.8	469.8	422.0	251.6	170.9	76.3
9	1.9	532.8	462.0	403.6	242.2	163.7	74.0
10	1.7	530.4	447.6	402.0	237.6	157.7	69.6
11	1.5	510.0	439.8	390.4	231.2	153.7	68.1
12	1.4	492.0	420.6	373.2	211.0	145.1	65.5
13	1.3	488.4	420.0	355.2	201.8	132.4	58.6
14	1.2	478.8	399.6	339.6	195.8	129.0	57.3
15	1.1	465.6	378.0	326.8	184.2	122.8	54.8
16	1.06	403.2	352.8	300.8	180.0	120.5	53.3

Intensidades en mm/h

3.5 Cálculo de probabilidades

Luego de tener tabuladas y ordenadas, rigurosamente, de mayor a menor las intensidades, se necesita calcular la probabilidad de ocurrencia de cada una y así poder

plotear en papel logaritmico de probabilidad las gráficas de intensidad Vrs. probabilidad para cada duración. El referido papel tiene una escala probabilística en el eje de las abscisas (para la probabilidad) y una escala logaritmica en el eje de las ordenadas (para la intensidad). Es también llamado papel probabilístico con ordenada logaritmica y tiene la propiedad que en él, la gráfica resulta ser una línea recta. Este papel se obtiene a partir del papel usual para gráficas, mediante un alargamiento adecuado de la escala de probabilidades (eje de las abscisas) a fin que las probabilidades de ocurrencia o de no ocurrencia de un evento estadístico que siguiera la distribución normal de Gauss se transforme, por medio de ese papel, en una línea recta. Por lo consiguiente, el grado en que los puntos asi dibujados se encuentren sobre la línea recta determina la bondad del ajuste de los datos.

En el presente trabajo se puede asegurar que los datos recabados representan un buen ajuste. Se destaca que en la tabla #6 las intensidades mayores tienen una probabilidad menor de ocurrencia y las menores, un valor mayor.

Como se puede observar en la figura #12, los datos tienden a agruparse en torno a líneas rectas en una forma muy precisa.

T A B L A #6

Máximas intensidades con su respectiva probabilidad

No.	Duración, minutos						Probabilidad	
	5'	10'	15'	30'	50'	120'	Frac.,	%
1	895.2	725.4	599.6	330.4	216.6	95.4	1/16	6.25
2	880.8	711.6	590.4	325.4	213.8	94.3	2/16	12.50
3	784.8	657.6	555.6	311.0	201.8	93.0	3/16	18.75
4	655.2	591.6	514.0	297.4	191.0	89.0	4/16	25.00
5	620.4	568.2	498.8	280.0	182.9	82.0	5/16	31.25
6	576.0	480.0	441.6	262.8	181.2	78.9	6/16	37.50
7	552.0	476.4	428.4	261.4	177.4	78.8	7/16	43.75
8	544.8	469.8	422.0	251.6	170.9	76.3	8/16	50.00
9	532.8	462.0	403.6	242.2	163.7	74.0	9/16	56.25
10	530.4	447.6	402.0	237.6	157.7	69.6	10/16	62.50
11	510.0	439.8	390.4	231.2	153.7	68.1	11/16	68.75
12	492.0	420.6	373.2	211.0	145.1	65.5	12/16	75.00
13	488.4	420.0	355.2	201.8	132.4	58.6	13/16	81.25
14	478.8	399.6	339.6	195.8	129.0	57.3	14/16	87.50
15	465.6	378.0	326.8	184.2	122.8	54.8	15/16	93.75
16	403.2	352.8	300.8	180.0	120.5	53.3	15/16	93.75

Intensidad en mm/h

Para poder realizar el análisis de correlación lineal múltiple y obtener las ecuaciones para las curvas, es necesario resolver el sistema de ecuaciones de la página 43; entonces se deben calcular los parámetros x_1 , x_2 e y , así como sus productos y cuadrados y las sumas indicadas en el sistema; todo lo cual se tabuló en la tabla #7. Como recordatorio se escribirá a continuación el equivalente de los parámetros mencionados arriba, agregando que, como los datos se agrupan en torno a líneas rectas, el valor de b se tomó como cero.

$$x_1 = \log T$$

$$x_2 = \log t$$

$$y = \log i$$

T A B L A #7

No.	x_1	x_2	y	x_1y	x_2y	x_1^2	x_2^2	x_1x_2
1	1.230	0.699	2.952	3.631	2.063	1.513	0.489	0.860
2	0.929	0.699	2.945	2.736	2.059	0.863	0.489	0.649
3	0.756	0.699	2.895	2.189	2.024	0.572	0.489	0.528
4	0.633	0.699	2.816	1.783	1.968	0.401	0.489	0.442
5	0.531	0.699	2.793	1.483	1.952	0.282	0.489	0.371
6	0.447	0.699	2.760	1.234	1.929	0.200	0.489	0.312
7	0.380	0.699	2.742	1.042	1.917	0.144	0.489	0.266
8	0.322	0.699	2.736	0.881	1.912	0.104	0.489	0.225
9	0.279	0.699	2.727	0.761	1.906	0.078	0.489	0.195
10	0.230	0.699	2.725	0.627	1.905	0.053	0.489	0.161
11	0.176	0.699	2.708	0.477	1.893	0.031	0.489	0.123
12	0.146	0.699	2.692	0.393	1.882	0.021	0.489	0.102
13	0.114	0.699	2.689	0.307	1.880	0.013	0.489	0.080
14	0.079	0.699	2.680	0.212	1.873	0.006	0.489	0.055
15	0.041	0.699	2.668	0.109	1.865	0.002	0.489	0.029
16	0.025	0.699	2.606	0.065	1.822	0.001	0.489	0.017
17	1.230	1.000	2.861	3.519	2.861	1.513	1.000	1.230
18	0.929	1.000	2.852	2.650	2.852	0.863	1.000	0.929
19	0.756	1.000	2.818	2.130	2.818	0.572	1.000	0.756
20	0.633	1.000	2.772	1.755	2.772	0.401	1.000	0.633
21	0.531	1.000	2.755	1.463	2.755	0.282	1.000	0.531
22	0.447	1.000	2.681	1.198	2.681	0.200	1.000	0.447
23	0.380	1.000	2.678	1.018	2.678	0.144	1.000	0.380
24	0.322	1.000	2.672	0.860	2.672	0.104	1.000	0.322
25	0.279	1.000	2.665	0.744	2.665	0.078	1.000	0.279
26	0.230	1.000	2.651	0.610	2.651	0.053	1.000	0.230
27	0.176	1.000	2.643	0.465	2.643	0.031	1.000	0.176
28	0.146	1.000	2.624	0.383	2.624	0.021	1.000	0.146
29	0.114	1.000	2.623	0.299	2.623	0.013	1.000	0.114
30	0.079	1.000	2.602	0.206	2.602	0.006	1.000	0.079
31	0.041	1.000	2.577	0.106	2.577	0.002	1.000	0.041
32	0.025	1.000	2.548	0.064	2.548	0.001	1.000	0.025
33	1.230	1.176	2.778	3.417	3.267	1.513	1.383	1.446
34	0.929	1.176	2.771	2.574	3.259	0.863	1.383	1.093
35	0.756	1.176	2.745	2.075	3.228	0.572	1.383	0.889
36	0.633	1.176	2.712	1.717	3.189	0.401	1.383	0.744
37	0.531	1.176	2.698	1.433	3.173	0.282	1.383	0.624
38	0.447	1.176	2.645	1.182	3.111	0.200	1.383	0.526
39	0.380	1.176	2.632	1.000	3.095	0.144	1.383	0.447
40	0.322	1.176	2.625	0.845	3.087	0.104	1.383	0.379
41	0.279	1.176	2.606	0.727	3.065	0.078	1.383	0.328
42	0.230	1.176	2.604	0.599	3.062	0.053	1.383	0.270
43	0.176	1.176	2.592	0.456	3.048	0.031	1.383	0.207
44	0.146	1.176	2.572	0.376	3.025	0.021	1.383	0.172
45	0.114	1.176	2.550	0.291	2.999	0.013	1.383	0.134
46	0.079	1.176	2.531	0.200	2.976	0.006	1.383	0.093
47	0.041	1.176	2.514	0.103	2.956	0.002	1.383	0.048
48	0.025	1.176	2.478	0.062	2.914	0.001	1.383	0.029

49	1.230	1.477	2.519	3.098	3.721	1.513	2.182	1.817
50	0.929	1.477	2.512	2.334	3.710	0.863	2.182	1.372
51	0.756	1.477	2.493	1.885	3.682	0.572	2.182	1.117
52	0.633	1.477	2.473	1.565	3.653	0.401	2.182	0.935
53	0.531	1.477	2.447	1.299	3.614	0.282	2.182	0.784
54	0.447	1.477	2.420	1.082	3.574	0.200	2.182	0.660
55	0.380	1.477	2.417	0.918	3.570	0.144	2.182	0.561
56	0.322	1.477	2.401	0.773	3.546	0.104	2.182	0.476
57	0.279	1.477	2.384	0.665	3.521	0.078	2.182	0.412
58	0.230	1.477	2.376	0.546	3.509	0.053	2.182	0.340
59	0.176	1.477	2.364	0.416	3.492	0.031	2.182	0.260
60	0.146	1.477	2.324	0.339	3.433	0.021	2.182	0.216
61	0.114	1.477	2.305	0.263	3.404	0.013	2.182	0.168
62	0.079	1.477	2.292	0.181	3.385	0.006	2.182	0.117
63	0.041	1.477	2.265	0.093	3.345	0.002	2.182	0.061
63	0.025	1.477	2.255	0.056	3.331	0.001	2.182	0.037
65	1.230	1.699	2.336	2.873	3.969	1.513	2.887	2.090
66	0.929	1.699	2.330	2.165	3.959	0.863	2.887	1.578
67	0.756	1.699	2.305	1.743	3.916	0.572	2.887	1.284
68	0.633	1.699	2.281	1.444	3.875	0.401	2.887	1.075
69	0.531	1.699	2.262	1.201	3.843	0.282	2.887	0.902
70	0.447	1.699	2.258	1.199	3.836	0.200	2.887	0.759
71	0.380	1.699	2.249	0.855	3.821	0.144	2.887	0.646
72	0.322	1.699	2.233	0.719	3.794	0.104	2.887	0.547
73	0.279	1.699	2.214	0.618	3.762	0.078	2.887	0.474
74	0.230	1.699	2.198	0.506	3.734	0.053	2.887	0.391
75	0.176	1.699	2.187	0.385	3.716	0.031	2.887	0.299
76	0.146	1.699	2.162	0.316	3.673	0.021	2.887	0.248
77	0.114	1.699	2.122	0.242	3.605	0.013	2.887	0.194
78	0.079	1.699	2.111	0.167	3.587	0.006	2.887	0.134
79	0.041	1.699	2.089	0.086	3.549	0.002	2.887	0.070
80	0.025	1.699	2.081	0.052	3.536	0.001	2.887	0.042
81	1.230	2.079	1.980	2.435	4.116	1.513	4.322	2.557
82	0.929	2.079	1.975	1.835	4.106	0.863	4.322	1.931
83	0.756	2.079	1.968	1.488	4.091	0.572	4.322	1.572
84	0.633	2.079	1.949	1.233	4.052	0.401	4.322	1.316
85	0.531	2.079	1.914	1.016	3.979	0.282	4.322	1.104
86	0.447	2.079	1.897	0.848	3.944	0.200	4.322	0.929
87	0.380	2.079	1.896	0.720	3.942	0.144	4.322	0.790
88	0.322	2.079	1.883	0.606	3.915	0.104	4.322	0.669
89	0.279	2.079	1.869	0.521	3.886	0.078	4.322	0.580
90	0.230	2.079	1.843	0.424	3.832	0.053	4.322	0.478
91	0.176	2.079	1.833	0.323	3.811	0.031	4.322	0.366
92	0.146	2.079	1.816	0.265	3.775	0.021	4.322	0.304
93	0.114	2.079	1.768	0.202	3.676	0.013	4.322	0.237
94	0.079	2.079	1.758	0.139	3.655	0.006	4.322	0.164
95	0.041	2.079	1.739	0.071	3.615	0.002	4.322	0.085
96	0.025	2.079	1.727	0.043	3.590	0.001	4.322	0.052
Σ	37.908	130.080	232.689	94.710	301.976	25.704	196.208	51.362
	Σx_1	Σx_2	Σy	$\Sigma x_1 y$	$\Sigma x_2 y$	Σx_1^2	Σx_2^2	$\Sigma x_1 x_2$

3.6 El resultado: fórmulas y curvas para la estación referida

Con los resultados obtenidos en la tabla #7, el sistema de la página 43 se convierte en un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas:

$$\begin{aligned}96a_0 + 37.908a_1 + 130.080a_2 &= 232.689 \\37.908a_0 + 25.704a_1 + 51.362a_2 &= 94.710 \\130.080a_0 + 51.362a_1 + 196.208a_2 &= 301.976\end{aligned}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones, se obtiene:

$$a_0 = 3.224 \quad ; \quad a_1 = 0.263 \quad ; \quad a_2 = -0.667$$

entonces los valores de los parámetros de la Ec. #1 son:

$$\begin{aligned}a_0 = \log k & ; \text{ entonces } k = 10^{3.224} = 1,675 \\a_1 = m & ; \text{ entonces } m = 0.263 \\a_2 = -n & ; \text{ entonces } n = 0.667\end{aligned}$$

y la ecuación general de las curvas de intensidad-duración-frecuencia es:

$$i = \frac{1,675 T^{0.263}}{t^{0.667}}$$

Donde:

- i = mm/h
- T = años
- t = minutos

Entonces las FORMULAS para la estación de El Porvenir son las siguientes:

1- Para un periodo de retorno de 2 años:

$$i = \frac{1,675 * 2^{0.263}}{t^{0.667}}$$

2- Para un periodo de retorno de 5 años:

$$i = \frac{1,675 * 5^{0.263}}{t^{0.667}}$$

3- Para un periodo de retorno de 10 años:

$$i = \frac{1,675 * 10^{0.263}}{t^{0.667}}$$

4- Para un periodo de retorno de 20 años:

$$i = \frac{1,675 * 20^{0.263}}{t^{0.667}}$$

T A B L A #8

Tabulación de datos para la construcción de las curvas

No.	Duración, min	T=2a	T=5a	T=10a	T=20a
1	5'	687	874	1,049	1,259
2	10'	433	551	661	793
3	15'	330	420	504	605
4	20'	273	347	416	499
5	30'	208	265	318	381
6	40'	172	218	262	314
7	50'	148	188	226	271
8	60'	131	167	200	240
9	80'	108	138	165	198
10	100'	93	119	142	171
11	120'	82	105	126	151

Intensidad en mm/h

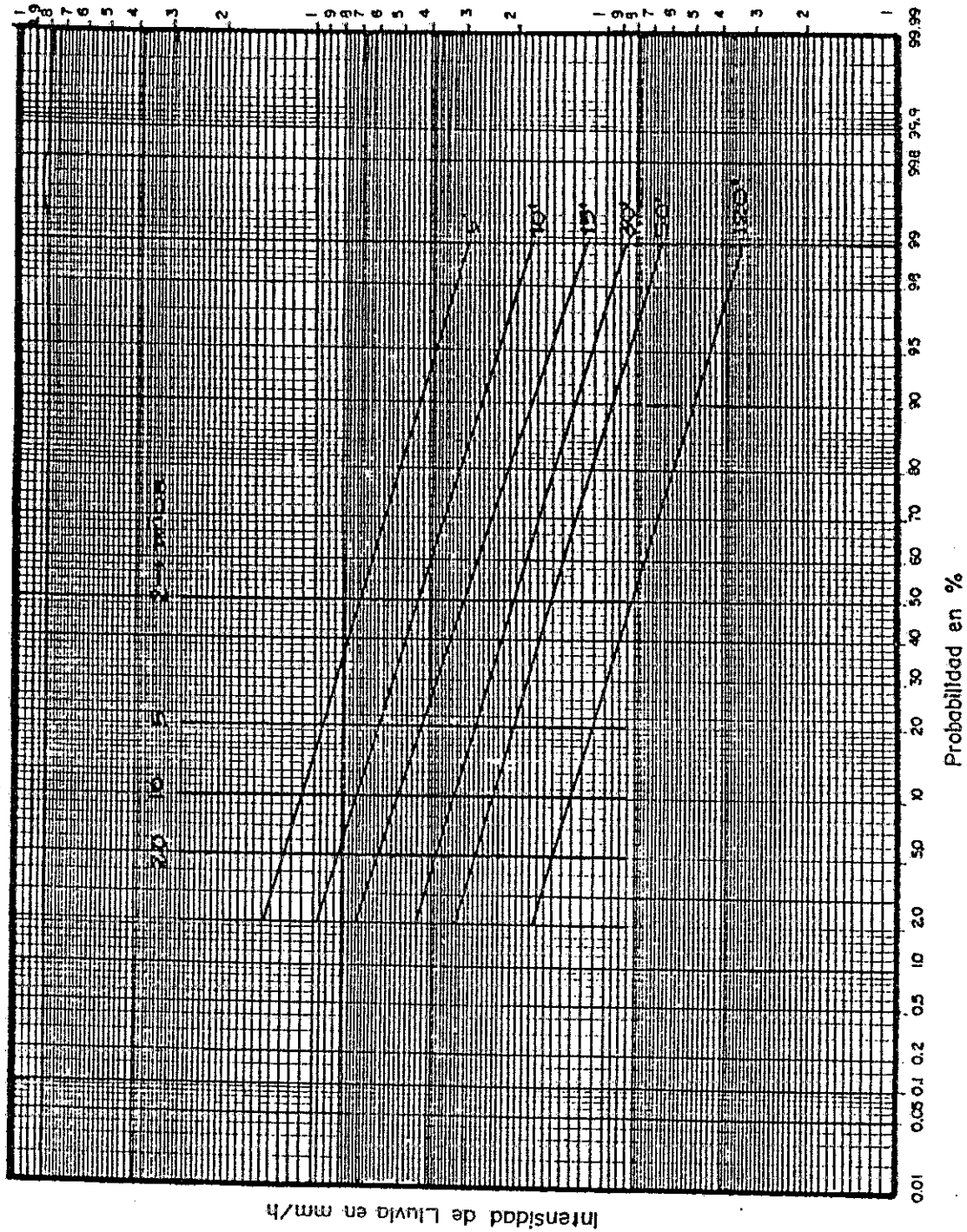


Fig. # 12. Curvas de intensidad de lluvia-probabilidad.

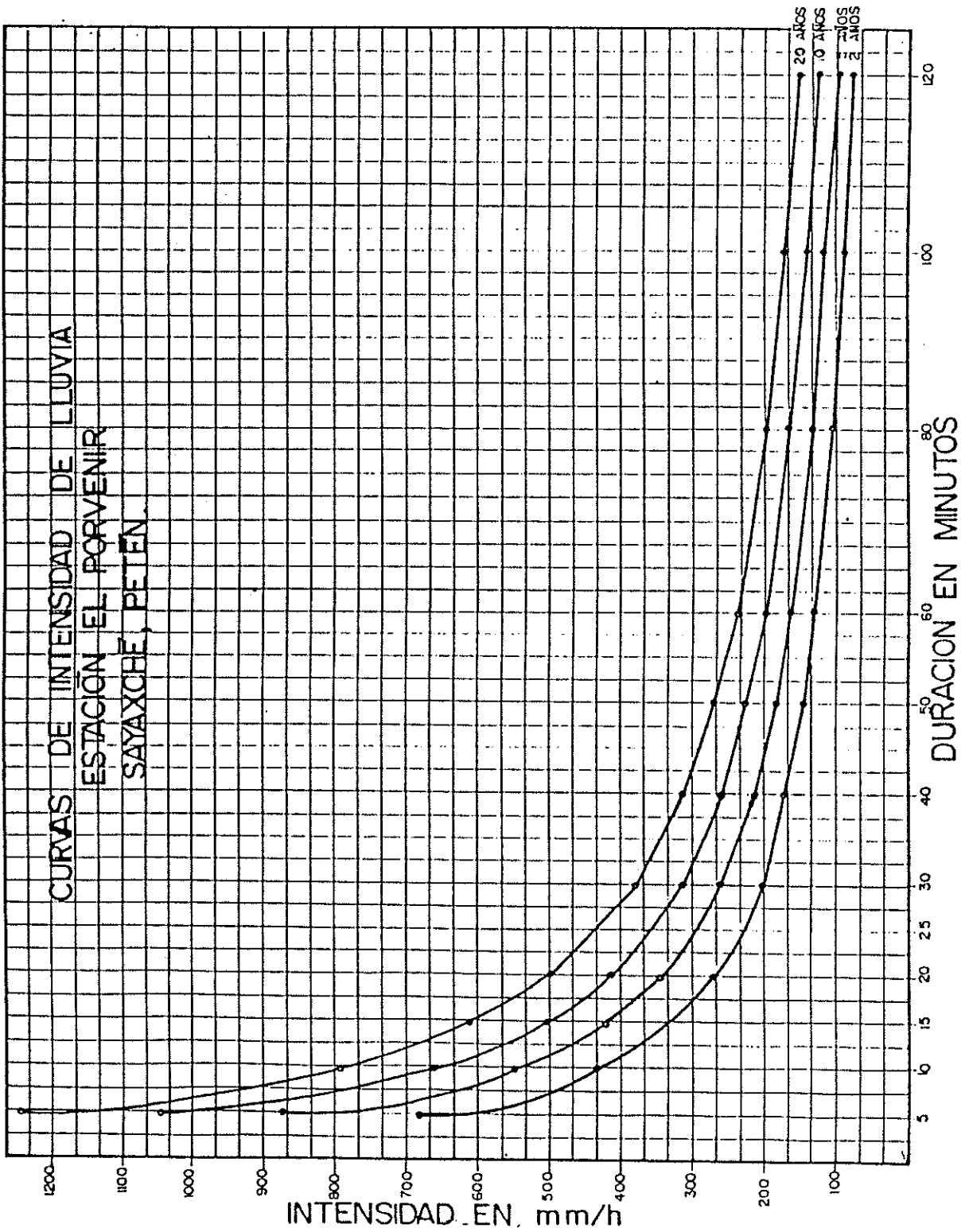


Fig. #13 Curvas de intensidad-duración-frecuencia

3.7

Ejemplos de aplicación de los resultados

Ejemplo 1- Determinar la intensidad de una precipitación en el área de la estación de El Porvenir, correspondiente a una lluvia de 50 minutos con un periodo de retorno de 10 años, con el objeto de diseñar un drenaje pluvial.

Solución: Haciendo uso de la gráfica #13 o bien de la estadística de la tabla #8, se observa que para una duración de 50' y en la frecuencia de 10 años la intensidad de la lluvia es de 226 mm/h, dato que se debe tener muy en cuenta para el diseño del drenaje. La altura de precipitación equivalente es de 188 mm de lluvia.

Ejemplo 2- Averiguar cuál es el riesgo de falla de una obra que tiene una vida útil de 12 años, si se diseña para un periodo de retorno de 20 años.

Solución: Haciendo uso de la Ec. #5 de la página 44 y teniendo $T = 20$ años y $n = 12$ años, se tiene:

$$R = 1 - (1 - 1/20)^{12} = 0.4596$$

El riesgo es del 46%, lo que quiere decir que se tiene una probabilidad del 46% de que la obra falle durante su vida útil.

CONCLUSIONES

1- Las curvas y las fórmulas de intensidad de lluvia son un auxiliar valioso en la construcción de obra civil.

2- La cantidad de años de registro de datos así como la calidad de los mismos, son requisitos indispensables para obtener resultados consistentes.

3- Para la zona lluviosa de la estación estudiada, el procedimiento de lectura resulta conveniente pues permite la obtención de datos de precipitación máxima más conservadores y seguros.

4- Los procedimientos matemáticos y estadísticos combinados con la utilización de medios automáticos facilitan el trabajo de análisis y cálculo.

5- Los resultados de este estudio resultan ser de fácil manejo, pero sólo deben ser utilizados para la estación de El Porvenir y su área de influencia, es decir, para una extensión muy limitada en torno a la estación indicada.



RECOMENDACIONES

1- Que, en la medida de lo posible, todas las instituciones estatales y privadas que tienen que ver con el tema trabajen coordinadamente y que intercambien sus experiencias para beneficio del país.

2- Que el INSIVUMEH aporte los recursos humanos y económicos suficientes para darle el mantenimiento adecuado a las estaciones a su cargo y de esta manera evitar el deterioro en la calidad de información futura.

3- Aprovechar toda la información existente, procediendo a su análisis y procesamiento, de modo que permita la utilización racional de nuestros recursos naturales.

4- Que el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH, en coordinación con las autoridades de la Facultad de Ingeniería, prepare y desarrolle un plan de rescate de la información que en materia de meteorología e hidrología se deteriora en sus archivos, involucrando a estudiantes del curso de hidrología y/o estudiantes voluntarios pendientes de tesis de graduación en Ingeniería Civil, de manera que la misma pueda ser debidamente procesada.



BIBLIOGRAFIA

- APARICIO MIJARES, Francisco. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa, México. 1989. 303 pp.
- ATLAS NACIONAL DE GUATEMALA. Instituto Geográfico Nacional. 1972.
- HERNANDEZ CAMAS, José Arnulfo. Deducción de curvas y fórmulas de intensidad de lluvia para la región cubierta por la estación meteorológica El Asintal, depto. de Retalhuleu. (Tesis Ing. Civil, USAC, Guatemala, 1992: 47 pp.)
- INSIVUMEH. Descripción de aparatos meteorológicos. Boletín informativo. Guatemala. 1989. 48 pp.
- KREYSZIG, Erwin. Introducción a la Estadística Matemática. Editorial Limusa, México. 1985. 505 pp.
- LINSLEY, Ray K. Jr. Hidrología para Ingenieros. 2a. Ed., Compañía editorial McGraw-Hill. México. 1985. 386 pp.
- PEQUEÑO LAROUSSE EN COLOR. Diccionario enciclopédico de todos los conocimientos. Ediciones Larousse. España, 1980. 1564 pp.
- PORRAS Y PORRAS, Edgar Adolfo. Método estándar de cálculo de curvas de duración-intensidad-frecuencia. (Tesis Ing. Civil, USAC, Guatemala, 1988. 77 pp.)
- STIMON, Andrew L. Hidráulica Básica. Editorial Limusa. México. 1992. 234 pp.
- SOLORZANO N., Alberto. Apuntes de Hidrología. Universidad de San Carlos de Guatemala. Editorial Universitaria, USAC. 1981.
- SPIEGEL, Murray R. Teoría y problemas de Estadística. Serie de compendios Schaum. Ed. McGraw-Hill. Colombia 1971. 357 pp.
- YAMANE, Taro. Estadística. Tercera Edición. Ed. Harla, S.A. de C.V. México. 1977. 771 pp.

APPROVED FOR THE BOARD OF DIRECTORS
DATE: 10/15/08

A N E X O

Factores de conversión de volumen

Pul.Cub.	Gal.USA	Gal.Imp.	PieCub.	Yd.Cub.	M.Cub.	Acr.pie	S.pie-día
Pul.cub. 1	0.00433	0.00361	5.8×10^{-4}	2.1×10^{-3}	1.6×10^{-3}	1.3×10^{-4}	6.7×10^{-7}
Gal.USA 231	1	0.833	0.134	0.00495	0.00379	3.1×10^{-4}	1.5×10^{-6}
Gal.Imp 277	1.20	1	0.161	0.00595	0.00455	3.7×10^{-4}	1.9×10^{-6}
P.Cub. 1728	7.48	6.23	1	0.00370	0.0283	2.3×10^{-5}	1.2×10^{-8}
Yd.Cub 46,656	202	168	27	1	0.765	6.2×10^{-4}	3.1×10^{-6}
M.Cub. 61,000	264	220	35.3	1.31	1	8.1×10^{-4}	4.1×10^{-6}
Acr.pie 7.5×10^7	3.3×10^8	2.7×10^8	43,560	1,610	1,230	1	0.504
S.pie-día 1.5×10^8	6.5×10^8	5.4×10^8	86,400	3,200	2,450	1.98	1

Conversiones de precipitación y escurrimiento

	Milim/año	Pul/año	Litros/seg/Km ²	Metro ³ /año/Km ²	Pies ³ /seg/mi ²
Milim/año	1	0.0394	0.03169	1.000	0.3468
Pul/año	25.4	1	0.805	25.400	8.85
Lit/seg/Km ²	31.55	1.1242	1	31.550	10.94
M ³ /año/Km ²	0.001	0.392×10^{-4}	0.316×10^{-4}	1	3.47×10^{-4}
Pies ³ /seg/mi ²	2.88	0.113	0.0914	2.880	1

1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960