

41121  
15



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN**

**INUNDACIONES:  
RIESGO Y MITIGACIÓN**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**I N G E N I E R O     C I V I L**  
P R E S E N T A N:  
**HERNÁNDEZ AGUILAR / ABEL EDI  
LÓPEZ AVILÉS JAQUELINE ELOÍSA**

**ASESOR:  
ING. PATROCINIO ARROYO HERNÁNDEZ**

MÉXICO

2003.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN  
SECRETARÍA ACADÉMICA

\* Ing. MARTÍN ORTIZ LEÓN \*  
Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil,  
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 18 de junio del año en curso, por la que se comunica que los alumnos ABEL EDI HERNANDEZ AGUILAR y JAQUELINE ELOISA LOPEZ AVILES, de la carrera de Ingeniero Civil, han concluido su trabajo de investigación intitulado "INUNDACIONES: RIESGO Y MITIGACIÓN", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

\* Atentamente \*  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 18 de junio del 2003  
EL SECRETARIO \*  


Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

C p Asesor de Tesis.  
C p Interesado.

AIR/vr  
✓

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2





UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

\* ABEL EDI HERNANDEZ AGUILAR \*  
PRESENTE.

En contestación a la solicitud de fecha 26 de agosto del año en curso, presentada por Jaqueline Eloisa Lopez Aviles y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Ing. PATROCINIO ARROYO HERNÁNDEZ pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado "INUNDACIONES: RIESGO Y MITIGACIÓN", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

\* Atentamente \*  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 30 de agosto de 2002 \*  
LA DIRECTORA

*L. Turcott*  
ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



*GR*

- C p Secretaria Académica.
- C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil.
- C p Aseccr de Tesis.

LTG/AIR/IIa.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

4



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES ARAGÓN - UNAM

JEFATURA DE CARRERA  
DE INGENIERÍA CIVIL

OFICIO No. ENAR/JCIC/0256/2003

ASUNTO: Sinodo. Tesis Conjunta.

**LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS**  
**SECRETARIO ACADÉMICO**  
**P R E S E N T E**

Por medio del presente me permito relacionar los nombres de los profesores que sugiero integren el Sinodo del Examen Profesional del C. ABEL EDI HERNÁNDEZ AGUILAR, con número de cuenta: 09220215-5 y de la C. JAQUELINE ELOISA LÓPEZ AVILÉS, con número de cuenta: 09225133-5, con el tema de tesis: " INUNDACIONES: RIESGO Y MITIGACIÓN".

**PRESIDENTE:**  
**VOCAL:**  
**SECRETARIO:**  
**SUPLENTE:**  
**SUPLENTE:**

**ING. PATROCINIO ARROYO HERNÁNDEZ**  
**ING. LUIS POMPOSO VIGUERAS MUÑOZ**  
**ING. MARTÍN ORTIZ LEÓN**  
**ING. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ GONZÁLEZ**  
**ING. MARIO SOSA RODRÍGUEZ**

Quiero subrayar que el director de tesis es el Ing. Patrocinio Arroyo Hernández, el cual está incluido en base a lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

**A T E N T A M E N T E**  
**" POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU "**  
San Juan de Aragón, Estado de México, a 18 de junio del 2003

**EL JEFE DE CARRERA**

**ING. MARTÍN ORTIZ LEÓN**



c c p Lic. Ma. Teresa Luna Sanchez - Jefa del Departamento de Servicios Escolares  
Ing. Karla Ivonne Gutierrez Vazquez - Secretaria Técnica de la carrera de Ingeniería Civil  
Ing. Patrocinio Arroyo Hernandez - Director de Tesis  
Comité de Tesis  
Interesado

MCM/mies\*

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

5



Agradecemos a nuestros padres y hermanos el apoyo que nos han brindado en el transcurso de nuestras vidas, por toda la ayuda recibida ya que han hecho más ligero nuestro camino, por las palabras de aliento escuchadas en los momentos más difíciles, por todas las cosas..... Por la vida misma y ahora que hacemos realidad uno de nuestros más caros anhelos queremos agradecer todo el amor, paciencia y comprensión para con nosotros. Por todo y mucho más...

También agradecemos el apoyo recibido por los Ingenieros del Laboratorio de Hidráulica, especialmente a nuestro asesor el Ing. Patrocinio y a la Ing. Ahilen quienes nos ayudaron en los detalles más pequeños de nuestro trabajo logrando un trabajo de equipo.

Hernández Aguilar Abel Edi.  
López Avilés Jaqueline Eloísa

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**INDICE.**

|   |          |
|---|----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.</b>                                  | <b>1</b> |
| <b>OBJETIVOS.</b>                                     | <b>3</b> |
| <b>CAPITULO I</b>                                     |          |
| <b>CONSIDERACIONES GENERALES.</b>                     |          |
| 1.1 ORIGEN DE LOS DESASTRES.                          | 4        |
| 1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DESASTRES.                   | 6        |
| 1.3 FENOMENOS DE MAYOR INCIDENCIA EN MÉXICO.          | 14       |
| 1.4 CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN.                      | 15       |
| 1.5 CRONOLOGÍA DE DAÑOS OCASIONADOS POR INUNDACIONES. | 21       |
| 1.6 POLÍTICAS DE PREVENCIÓN DE RIESGO.                | 25       |
| 1.7 LA INGENIERÍA CIVIL Y LA PREVENCIÓN DE DESASTRES. | 32       |
| <b>CAPITULO II</b>                                    |          |
| <b>INUNDACIONES.</b>                                  |          |
| 2.1 GENERALIDADES.                                    | 34       |
| 2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES.                | 35       |
| 2.3 ESTIMACIÓN DEL RIESGO.                            | 38       |
| 2.4 CONSECUENCIAS DE LAS INUNDACIONES.                | 39       |
| 2.5 MEDIDAS DE PROTECCIÓN.                            | 41       |



|     |                                     |    |
|-----|-------------------------------------|----|
| 2.6 | ¿QUE HACER EN CASO DE INUNDACIONES? | 44 |
|-----|-------------------------------------|----|

CAPITULO III

HIDROLOGIA DE LAS INUNDACIONES.

|     |                                      |    |
|-----|--------------------------------------|----|
| 3.1 | LA CUENCA                            | 49 |
| 3.2 | PRECIPITACIÓN.                       | 62 |
| 3.3 | ESCURRIMIENTO.                       | 76 |
| 3.4 | RELACION AGUA-ESCURRIMIENTO.         | 90 |
| 3.5 | INTEGRACIÓN DE EVENTOS HIDROLOGICOS. | 94 |

CAPITULO IV

MITIGACIÓN DE LAS INUNDACIONES.

|     |                          |     |
|-----|--------------------------|-----|
| 4.1 | IMPORTANCIA.             | 103 |
| 4.2 | ESTRUCTURAS HIDRAULICAS. | 105 |
| 4.3 | MEDIDAS INDIRECTAS.      | 145 |

CAPITULO V

|  |               |     |
|--|---------------|-----|
|  | APLICACIONES. | 148 |
|--|---------------|-----|

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## INTRODUCCIÓN.

El estudio de las inundaciones y la problemática que su ocurrencia trae consigo en áreas urbanas y suburbanas, está estrechamente ligada al conocimiento del régimen de precipitaciones y a la capacidad de drenaje<sup>1</sup> de la cuenca hidrográfica<sup>2</sup> sobre cuya superficie se desarrollan tales áreas.

En la mayoría de los casos las inundaciones son resultado directo de la precipitación, aunada a la deficiencia de drenaje, y sus consecuencias se acentúan principalmente debido al grado de concentración poblacional, a el crecimiento demográfico desmesurado y sin la debida planeación en zonas propicias y no propicias para los asentamientos humanos regulares e irregulares y al tipo de actividad social y de sistema productivo que el desarrollo de las comunidades trae consigo, en las zonas de escurrimiento natural.

Por otra parte, la combinación de los problemas de contaminación, de cambio climático<sup>3</sup>, de cambio en uso de suelo<sup>4</sup>, y las anomalías actuales como el fenómeno del niño, han enfatizado y favorecido la frecuencia de las inundaciones independientemente de la actividad ciclónica que podría considerarse en un principio como factor determinante.

Históricamente el mayor impacto de las inundaciones se da sobre áreas de asentamientos humanos, evidenciando cada vez mas la estrecha relación que existe entre los procesos de deterioro de los recursos naturales y del medio ambiente y la presencia de centros urbanos en zonas naturalmente inadecuadas para su desarrollo, provocándose así, la existencia de daños incalculables a las poblaciones, su infraestructura y obstaculizándose el progreso y desarrollo de las mismas.

Las precipitaciones tienen su origen en el funcionamiento interno de la naturaleza pero dependiendo de la magnitud con que se manifiesten pueden llegar o no a ser peligrosas para el hombre. En general, adquieren su carácter de desastre cuando se presentan en magnitudes no comunes y extraordinarias, también como consecuencia del descuido y daño provocado a la naturaleza por el hombre y vulneran determinados sectores físicos y económicos de nuestra sociedad. Actualmente como resultado de los avances tecnológicos se tiene un alto grado de conocimiento y comunicación sobre las lluvias, lo que ha permitido que sean previsibles hasta cierto grado.

Sin embargo, para atenuar sus efectos nocivos, es necesario todavía tener un mayor conocimiento de los factores que las provocan, de su comportamiento y repercusiones que

<sup>1</sup> Natural o artificial

<sup>2</sup> Superficie de terreno donde cae el agua que se confluente hacia un mismo punto de salida

<sup>3</sup> Que en la actualidad estan generando condiciones hidrometeorológicas extraordinarias

<sup>4</sup> Va que la atmosfera es sensible al tipo de suelo y su cobertura vegetal

den como resultado métodos, medidas de prevención y en su caso nueva tecnología que brinde una seguridad relativa a la población.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## OBJETIVOS.

### GENERAL

De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este trabajo es ampliar el enfoque técnico que tradicionalmente se le ha dado a las inundaciones, por parte de la ingeniería, aportando un enfoque socio-cultural y ambiental.

Redactar un documento de fácil entendimiento, que refleje claramente la cronología de los desastres producidos por las inundaciones y sus efectos sobre los grupos humanos dentro de un contexto global, considerando la función de la Ingeniería Civil en las actividades de recuperación.

### PARTICULAR

Describir y comentar las obras y acciones que pueden efectuarse para aminorar o en su caso evitar los daños que ocasionan las inundaciones provocadas por las lluvias en exceso que llegan a desbordar los ríos, así como saturar el drenaje en las ciudades.

Hacer un recuento de algunas de las catástrofes que han ocurrido durante los últimos años en nuestro país.

Presentar los alcances de las acciones de la Ingeniería Civil como instrumento para la prevención y mitigación de las Inundaciones.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



# CAPITULO I

## CONSIDERACIONES GENERALES



## CONSIDERACIONES GENERALES.

### 1.1 ORIGEN DE LOS DESASTRES

Primeramente se define al desastre como un evento concentrado en tiempo y en espacio, resultado del impacto de un agente perturbador que afecta a un agente o sistema afectable y cuyos efectos pueden ser prevenidos, mitigados o evitados por un agente regulador.

Para comprender mejor el proceso de generación de un desastre es conveniente estudiarlo como sistema, es decir, como un conjunto de elementos que interactúan entre ellos y que pueden o no ser simultáneos. Con este enfoque pueden identificarse tres componentes esenciales:

#### Los Agentes Perturbadores<sup>2</sup>

Pueden ser de origen natural o antropogénico y son fenómenos que alteran el funcionamiento habitual de los asentamientos humanos o sistemas afectables y desencadenan con ellos un estado de desastre. Los primeros provienen de la naturaleza, generalmente de cambios en las condiciones ambientales, de los desplazamientos de las grandes placas que conforman el subsuelo, o bien, de la actividad volcánica. Los segundos son consecuencia de la acción del hombre y de su desarrollo.

Los agentes perturbadores comúnmente llamados "calamidades" se pueden clasificar como previsibles y no previsibles; es posible tener un conocimiento previo de la ocurrencia de los primeros, lo que facilita aplicar con ventaja acciones de prevención, ejemplo de estos son los fenómenos ciclónicos, la contaminación ambiental, la desertificación y la erosión, etc. Los no previsibles se presentan súbitamente, como los sismos, los incendios forestales, las nevadas, los agrietamientos, y explosiones, etc. Sin embargo, es posible también estar preparados para reducir y mitigar sus efectos destructivos.

Las calamidades pueden diferenciarse por su alcance, sus efectos destructivos y la probabilidad de que ocurran. Existen dos conceptos básicos para el estudio de los desastres:

a) **Sus mecanismos de generación y producción.** Son los procesos a través de los cuales se producen las calamidades y están constituidos generalmente por las siguientes etapas:

- ❖ **Preparación.** Determinan la conjunción de las condiciones necesarias para la formación de la calamidad.

<sup>2</sup> Fenómenos naturales o humanos



- ❖ **Iniciación.** Es la excitación del mecanismo.
- ❖ **Desarrollo.** Es la fase de crecimiento o intensificación del fenómeno.
- ❖ **Traslado.** Consiste en el transporte de los elementos o energía del fenómeno, del lugar de inicio al lugar de impacto.
- ❖ **Producción de impactos.** Se entiende como la manifestación y realización del fenómeno o agente perturbador.

**b) Sus mecanismos de encadenamiento con otras calamidades.** Son aquellos que se propician, como consecuencia, de la presencia de una primera calamidad y a partir de esta surge otra; a esta última se le llama " calamidad encadenada".

De acuerdo con sus características se han definido tres tipos de encadenamiento:

- ❖ **Corto.** Se produce cuando el impacto primario de una calamidad da lugar directamente a otra; por ejemplo el impacto de un sismo puede producir inmediatamente un colapso de suelos.
- ❖ **Largo.** Se trata de una secuencia lineal de calamidades encadenadas, en la que un sistema afectable se convierte en un sistema perturbador, un ejemplo es cuando un sismo provoca una ruptura de ductos de combustible y estalla un incendio.
- ❖ **Integrado.** Es el caso de agregación de impactos debido a efectos de una calamidad inicial, tal como la interrupción de los procesos productivos, el daño a los sectores habitacionales, etc.

El conocer como se producen los mecanismos de encadenamiento es de vital importancia y por lo tanto deben ser incluidos en la planeación y gestión de los desastres para prevenir o reducir los efectos negativos.

#### Los Agentes Afectables<sup>6</sup>

Se trata del sistema compuesto por el hombre y su entorno físico<sup>7</sup>, donde puedan materializarse los desastres al presentarse un agente perturbador; es decir, un sistema afectable puede ser una comunidad o asentamiento, área productiva o ambiente humano. El impacto es cualquier incidencia de un agente, elemento o suceso sobre el sistema afectable, que produce efectos indeseables, (o daños) de diversos tipos: humanos, materiales, productivos, ecológicos y sociales.

<sup>6</sup> Asentamientos humanos

<sup>7</sup> Incluye a la población, los servicios y los elementos básicos de subsistencia, de los bienes materiales y la naturaleza



El estudio de los agentes afectables o sistemas afectables implica analizar sus partes o sistemas de subsistencia. Para identificar los sistemas de subsistencia deben considerarse las necesidades y los satisfactores de los individuos, los grupos y la comunidad, tales como la alimentación, abrigo, seguridad, defensa, etc. Ninguna definición de comunidad estará completa si no incluye las interrelaciones entre sus subsistemas, pues éstas permiten comprender el proceso y desarrollo del asentamiento humano tanto en condiciones normales como ante las calamidades.

Se distinguen tres tipos de interrelación:

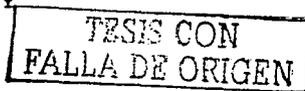
- **Por dependencia.** Surgen cuando un sistema de subsistencia es capaz de descomponer el funcionamiento normal de otro, lo que convierte al primero en agente perturbador y, por tanto, en calamidad. Es el caso de la dependencia de la industria respecto del suministro de energía eléctrica: Cuando esta falla el sistema productivo se paraliza.
- **Por efectos negativos.** Se deben determinar y localizar los efectos negativos de los sistemas de subsistencia, para impedir que se conviertan en desastres y así por tanto, disminuir su capacidad de aumentar los efectos de otros desastres, por ejemplo: El hundimiento de la Ciudad de México por la sobreexplotación de los mantos acuíferos.
- **Por peligrosidad.** Se presenta cuando uno de los sistemas de subsistencia incluye materiales ó equipo que pueden provocar un desastre en caso de accidente.

### Agentes Reguladores

Están constituidos por la organización de instituciones federales y estatales, además, de las acciones, normas, programas y obras destinadas a proteger, prevenir y controlar los efectos destructivos de los agentes perturbadores sobre los agentes ó sistemas afectables.

## 1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DESASTRES

El Sistema Nacional de Protección Civil, en un análisis de los procesos de producción y generación de las calamidades y de su encadenamiento, elaboró un esquema de clasificación útil para orientar el estudio de los fenómenos destructivos, dicho esquema postula cinco tipos de fenómenos atendiendo a su origen, dicha clasificación permite a las unidades estatales y municipales de protección civil elaborar mapas de riesgos y hacer las prevenciones de acuerdo a la naturaleza del mismo, en función de la calamidad que lo





provoca, y de acuerdo a la geografía local, tomando en consideración los asentamientos humanos ubicados en sus cercanías.

Según la mencionada clasificación se tienen:

### Geológicas

Se producen por la actividad de las placas tectónicas, fallas continentales y regionales que cruzan y circundan a la república mexicana. Los principales fenómenos de este tipo son:

- a) Sismicidad
- b) Vulcanismo
- c) Deslizamiento y colapso de suelos y deslaves
- d) Hundimiento regional y agrietamiento
- e) Maremoto (tsunamis)
- f) Flujo de lodo

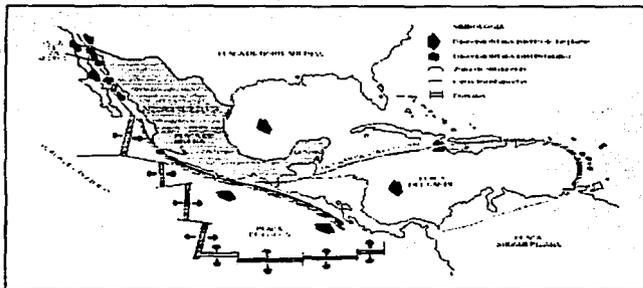
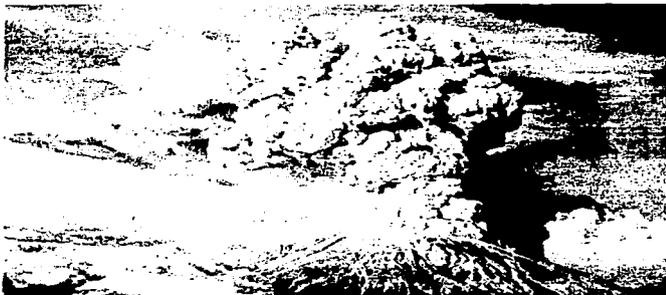


Fig. 1.1 Terremoto en la cd. de México 1985

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Fig. 1.2 Vulcanismo**

### **Hidrometeorológicos**

Este es término genérico empleado para designar ciertos fenómenos atmosféricos, que dependen mayormente de las modificaciones del vapor del agua y de su acción violenta en la atmósfera y estos afectan periódicamente al país. Los principales fenómenos de este tipo son:

- a) Huracanes
- b) Lluvias torrenciales y trombas
- c) Granizadas
- d) Nevadas
- e) Inundaciones - pluviales y fluviales (costeras y lacustres)
- f) Sequías (polvo)
- g) Tormentas eléctricas
- h) Temperaturas extremas
- i) Ciclones de zonas templadas

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

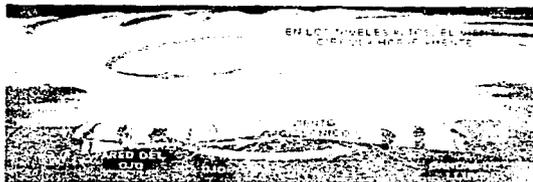


Fig. 1.3 Origen de un huracán

La clasificación anterior engloba a los agentes perturbadores que son producto de la condensación o sublimación de vapor de agua atmosférica.

La magnitud de los daños que generan varía ampliamente según su origen, naturaleza, grado de predictibilidad, probabilidad y control, así como por la velocidad con la que aparecen, por su alcance y por los efectos destructivos en la población, en los bienes materiales y en la naturaleza.



Fig. 1.4 Daños ocasionados por el paso del huracán Pauline en Acapulco 1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### Química-Tecnológicos

Se encuentran íntimamente ligados a la compleja vida en sociedad, al desarrollo industrial y tecnológico de las actividades humanas y al uso de diversas formas de energía. Generalmente afectan a las grandes concentraciones humanas e industriales. En esta clase están incluidos:

#### a) Incendios

- ❖ Urbanos
- ❖ Domésticos
- ❖ Industriales
- ❖ Forestales



Fig. 1.5 incendio forestal

b) Explosiones: derivadas en su mayoría por el uso, transporte y comercialización de productos combustibles de alto potencial explosivo



Fig. 1.6 Incendios Industriales

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



c) Fugas y derrames de sustancias.

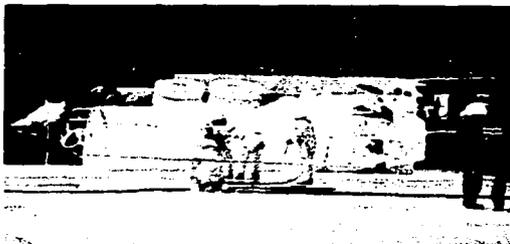


Fig.1.7 Derramamiento de material peligroso en la carretera México - Nuevo Laredo

d) Radioactividad

**Ecológico-Sanitarios**

Se vinculan estrechamente con el crecimiento de la población y la industria. Sus fuentes se ubican en las grandes concentraciones humanas y vehiculares. Destacan en este grupo, entre otros fenómenos:

- ❖ Lluvia ácida
- ❖ Epidemias
- ❖ Plagas
- ❖ Contaminación del aire, agua y suelo
- ❖ Desertificación

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Fig. 1.8 Lluvia ácida



Fig. 1.9 Contaminación del aire en la ciudad de México

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Fig. 1.10 Contaminación del agua

#### Socio - Organizativos

Tienen su origen en las actividades propias de las concentraciones humanas, y en el mal funcionamiento de algún sistema de subsistencia que proporciona servicios básicos. Entre las calamidades de este tipo destacan:

- ❖ Problemas provocados por concentraciones masivas de población
- ❖ Interrupción o desperfecto en el suministro o en la operación de servicios públicos y sistemas vitales
- ❖ Accidentes aéreos, terrestres, marítimos o fluviales
- ❖ Actos de sabotaje y terrorismo
- ❖ Disminución de la seguridad pública (asaltos, secuestros, etc.)

#### Por Su Magnitud

- ❖ El número de seres humanos y/o animales muertos o lesionados temporales o permanentes.
- ❖ Afectación de servicios públicos, como electricidad, gas y otros combustibles; comunicaciones, abastecimientos de agua, sistema de alcantarillado, suministro de alimentos y salud pública, entre otros.
- ❖ Daños en propiedades privadas y públicas o su destrucción total.
- ❖ Propagación de enfermedades.
- ❖ Desorganización de las actividades cotidianas.



### 1.3 FENÓMENOS DE MAYOR INCIDENCIA EN MÉXICO

A continuación se mencionan los fenómenos que más se presentan en la República Mexicana y que dependen de la ubicación geográfica y las circunstancias

1. Inundaciones.
2. Deslaves.
3. Perturbaciones tropicales.
4. Tormentas tropicales.
5. Huracanes.
6. Sismos.
7. Incendios (urbanos y forestales).
8. Lluvias torrenciales.
9. Sequías.
10. Problemas provocados por concentraciones masivas de población.
11. Tormentas eléctricas.
12. Fugas de gas.
13. Trombas.
14. Inseguridad pública.

Los fenómenos mencionados, cuando ocurren, pueden tener una corta duración como los terremotos o prolongarse por varios días como en el caso de los hidrometeorológicos; sin embargo, los efectos que generan, pueden ser igualmente graves, dejando a gran cantidad de personas sin hogar, privadas de alimentos adecuados, ropa y expuestas a condiciones climáticas adversas y a la propagación de enfermedades, por lo cual, es necesario ayudarlos a proteger su salud y volver a su vida normal.

Cada desastre tiene características propias y cada lugar recursos diferentes para afrontarlo, por lo que difícilmente podría recomendarse medidas concretas para aplicarse en todos los casos de emergencias; sin embargo, existen algunos que son comunes a la mayoría de ellos, por lo cual, el presente documento proporciona lineamientos que orientan al desarrollo de planes derivados.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## 1.4 CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN

El desarrollo hidráulico en México ha estado fuertemente vinculado al crecimiento económico y social del país, principalmente a la evolución de la población, su demanda de servicios y su desigual distribución, ya que solamente en 109 localidades de 800,000 habitantes o más, reside el 46.8% del total nacional y de estos más del 25% habita en las áreas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey, además de que existen más de 198,000 comunidades en el medio rural con menos de 2,500 habitantes en donde habita el 25.3% de la población.

De los flujos migratorios de población con mayor magnitud, destacan el Distrito Federal y el Estado de México, ya sea como entidades de origen o destino, sin embargo en las últimas décadas las ciudades de la frontera norte han incrementado su atracción poblacional. La concentración de la población se ha acelerado por la esperanza del campesino de encontrar mejores condiciones de vida en las grandes ciudades, lo que produce desequilibrios regionales y una fuerte demanda de empleo, educación, alimentación, salud, vivienda y agua potable, por otra parte, lo anterior también da origen a grandes problemas de contaminación del medio ambiente y de los recursos naturales; además, se provocan impactos sociales negativos, como lo son: el desarrollo de la delincuencia, inseguridad pública etc.

Durante el siglo pasado, el número de habitantes en el país tuvo un crecimiento de más de siete veces;<sup>8</sup> el cual se concentró en los últimos sesenta años; en la actualidad la población es de alrededor de 97.3 millones de habitantes<sup>9</sup>.

Uno de los rasgos distintivos del desarrollo de los asentamientos humanos en México ha sido el intenso proceso de urbanización. Al inicio del siglo pasado, 3 de cada 10 mexicanos residían en localidades urbanas de más de 2,500 habitantes; para 1960 la proporción alcanzó a la mitad; para 1990, se invirtió la distribución observada en 1900; y en la actualidad 3 de cada 4 habitantes viven en este tipo de localidades. El grado de urbanización difiere entre las entidades federativas en función de los factores socioeconómicos, las entidades más urbanizadas son el Distrito Federal, Nuevo León, y Baja California con más del 91% de su población en dichos asentamientos, por el contrario los estados de Chiapas, Oaxaca e Hidalgo presentan un predominio de asentamientos rurales.<sup>10</sup>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<sup>8</sup> En el periodo 1940-2000, la población se incrementa en más de 77.6 millones de habitantes

<sup>9</sup> Censo Nacional de Población 2000

<sup>10</sup> Instituto Nacional de Geografía e Informática

En el esquema siguiente se muestra que la población urbana pasó del 35% en 1940 al 75% en el 2000.

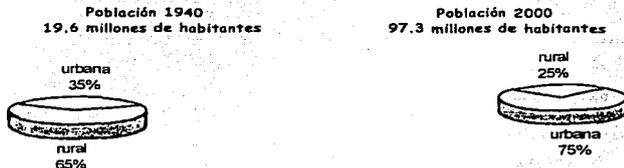


Fig. 1.11 Evolución de la población 1940-2000

Esta situación ha tenido un fuerte impacto en el incremento de los daños materiales y pérdidas de vidas humanas por la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos, debido a que en los centros de población, muchos de los flujos de migración, se asientan en zonas de alto riesgo de inundación de tal forma que cuando se presentan lluvias intensas, se generan avenidas rápidas y voluminosas que afectan a la población que habita la zona de influencia de los cauces de arroyos y ríos que atraviesan las localidades. Esta situación se agrava cuando en los centros de población se permite la urbanización en zonas de alto riesgo.

## VULNERABILIDAD DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS ANTE LAS INUNDACIONES

### ¿Qué es vulnerabilidad?

Este término tiene múltiples connotaciones, dependiendo si se trata de personas, de conjuntos sociales o de obras físicas. En su definición latina significa que puede ser herido o sufrir daño. Según esto, puede definirse como el grado de propensión a sufrir daño por las manifestaciones físicas de un fenómeno de origen natural o causado por el hombre. La vulnerabilidad de una comunidad o de un bien material depende de varios factores, entre los cuales pueden destacarse los siguientes:

Su grado de exposición a un tipo de amenaza localizado sobre un terreno inundable o no inundable, corrientes de viento que arrastran sustancias contaminantes, suelos blandos que pueden amplificar las ondas sísmicas, sobre o cerca a un terreno que puede deslizarse, etc.



El grado de incorporación en la cultura de la educación y de los conocimientos que permita a los pobladores reconocer las amenazas a las cuales están expuestos; es decir, el grado de entendimiento sobre los procesos naturales y tecnológicos que pueden afectarlos, como insumo básico para prevenir y mitigar (evitar o disminuir) los efectos de los fenómenos considerados como peligrosos. Es más vulnerable una comunidad que ignora o desafía los procesos del Medio Ambiente en el cual vive, que una consciente de ellos.

En este contexto, el concepto de vulnerabilidad significa la susceptibilidad de un agente o sistema afectable a ser alterado o a cambiar su estado normal ante el impacto de un agente ó fenómeno perturbador.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Fig. 1.12 Crecimiento desmesurado de la Población

## LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS

Durante los años recientes ha sido cada vez más recurrente el que en diferentes sitios del país se presenten pérdidas de vidas humanas y daños materiales cuantiosos a consecuencia de los efectos causados por eventos naturales.

El crecimiento acelerado en prácticamente todas las localidades urbanas y suburbanas del país continuará, y muy probablemente se incrementará aún más en muchas zonas urbanas de tamaño medio en las primeras décadas en el siglo XXI. El crecimiento continuará ejerciendo presión en la necesidad imperiosa de una ubicación adecuada de los nuevos asentamientos humanos y la satisfacción de su demanda en servicios básicos, vivienda, equipamiento e infraestructura urbana en general.

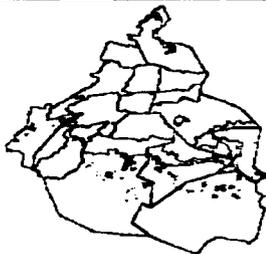


Fig. 1.13 Zonas verdes que han sido invadidas en el D.F.

Si bien el impacto de muchos desastres supera las medidas que la sociedad adopta para enfrentarlos, es cierto que gran parte de los daños son resultado de la vulnerabilidad de los asentamientos humanos. Ello explica que los niveles de riesgo incrementen en relación con el aumento de la densidad de las poblaciones: La concentración humana produce asentamientos irregulares en áreas anegadizas<sup>11</sup> que conviven con asentamientos industriales en suelos inestables, así como el transporte, almacenamiento, distribución y uso de materias combustibles que exponen a la población a las calamidades.

Los devastadores efectos de estos eventos, se magnifican por una elevada vulnerabilidad que afecta a la sociedad y a la economía y que se deriva de un conjunto de factores. Entre otros, la insuficiencia de medidas preventivas y de mitigación al nivel de regiones, la falta de medidas que induzcan a una localización más segura de los asentamientos humanos, el manejo insuficiente de las cuencas hidrográficas, y la operación de los sistemas de alerta temprana.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<sup>11</sup> Que frecuentemente se inunda



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Fig. 1.14 Zonas Vulnerables

Por otra parte, las consecuencias de los desastres sobre las principales variables macroeconómicas en el país han llegado a ser también significativas por el insipiente desarrollo de instrumentos financieros y la insuficiente penetración de seguros que protejan a la población y a la infraestructura social frente a riesgos de esta índole.

Los desastres naturales han causado un número importante de víctimas fatales y cuantiosas pérdidas materiales. Dada la magnitud de la economía mexicana no se ha llegado a detectar efectos significativos de estos fenómenos sobre los grandes agregados macroeconómicos. Sin embargo ha significado retrocesos importantes en las regiones o estados directamente afectados.

En las últimas décadas con un proceso de urbanización acelerado, se han vuelto más evidentes los daños potenciales que pudieran provocar los eventos naturales en áreas de grandes concentraciones humanas. Así mismo, pueden verse afectados los medios de comunicación.

México ha experimentado en el siglo XX una transformación radical, ya que a principios de este era una sociedad preeminente rural y al final un país mayoritariamente urbano. La desigualdad entre regiones del país y la mala distribución poblacional respecto a los riesgos naturales y la potencialidad de los recursos, afectan especialmente al sector social con mayor rezago y marginación rural o urbana.



Fig. 1.15 Marginación social

Por otra parte habrá para el año 2020 más de 23 millones de nuevos mexicanos, gran parte de los cuales serán pobladores potenciales en zonas de alto riesgo y baja habitabilidad.

La calidad en el diseño y la construcción de las viviendas y de otras edificaciones, además de la urbanización (por ejemplo la disposición de suficientes espacios libres y de vías amplias); la calidad de los servicios públicos; la calidad de los terrenos sobre los cuales se habita o se construye o la presencia o ausencia de medidas físicas adecuadas de protección.



Fig. 1.16 Mapa de vulnerabilidad de los asentamientos humanos por factores climáticos

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



## 1.5 CRONOLOGÍA DE DAÑOS OCASIONADOS POR INUNDACIONES

Fuente Atlas Nacional de Riesgos de la Republica Mexicana, Secretaria de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil y el Cenapred.

| Lugar                         | Evento y Causa  | Datos de Lluvia           | Daños  | Magnitud de la Inundación  |
|-------------------------------|---|---------------------------|--|--|
| Tampico y Cd. Madero (Tamps.) | 18-Septiembre-55 Intensas lluvias e inundaciones ocasionadas por las huracanes Hilda y Janet. | No se tienen datos.       | 12000 personas perecieron y 52530 fueron damnificados. Se perdieron 2000 cabezas de ganado; daños a las vías de comunicación, al servicio de agua potable y al servicio eléctrico.                                     | Los vientos producidos por Hilda alcanzaron los 270 Km., la inundación rebasó los 5.88 m sobre el nivel del mar. Se vieron afectados 6400 km. <sup>2</sup> |
| Cancún (Q.Roo)                | 14-Septiembre-88 Fuertes vientos y precipitaciones como consecuencia del huracán Gilbert.     | No se tienen datos.       | Caída de naves industriales, anuncios publicitarios, muros de mampostería, arrastre de embarcaciones pesqueras, suspensión del suministro eléctrico y telefónico, socavación del material de cimentación de edificios. | Se registraron olas de hasta 5 mts de altura.  |
| Puerto Juárez (Q. Roo)        | 14-Septiembre-88 Fuertes vientos y precipitaciones como consecuencia del huracán Gilbert.     | No se tienen datos.       | Arrastre de embarcaciones debido a la marea de tormenta, suspensión del suministro eléctrico y telefónico.   | Se registraron olas de hasta 5 mts de altura.  |
| Puerto Progreso (Yucatán)     | 14-Septiembre-88 Fuertes vientos y precipitaciones ocasionados por el huracán Gilbert.        | No se tienen datos.       | Suspensión del suministro eléctrico y telefónico, caída de anuncios publicitarios, arrastre de embarcaciones.  | El nivel del mar subió hasta 2.5 mts sobre su nivel habitual provocando graves inundaciones en zonas aledañas a la costa                                   |
| Monterrey (N.L.)              | 14-Septiembre-88 Fuertes vientos y precipitaciones ocasionados por el huracán Gilbert.        | 400 milímetros en 48 hrs. | 200 muertos, 20,000 damnificados, daños a las vías terrestres de comunicación, caída de varios puentes carreteros, suspensión del suministro de agua potable además del servicio eléctrico y telefónico.               | El cauce del río Santa Catarina se lleno a su máxima capacidad (El ancho del río es de 200m.)  |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



|                                       |  |   |  |  |
|---------------------------------------|--|---|--|--|
| Tijuana (B.C.)                        | 07-Enero-93<br>Fuertes lluvias a causa de tormentas tropicales y un frente frío.   | 101.7<br>milímetros en<br>menos de 4<br>hrs.  | 33 muertos y 92<br>desaparecidos, 6,500<br>damnificados, fugas de<br>gas e incendios, cierre<br>del aeropuerto, casas y<br>carros arrastrados,<br>perdidas por 330 millones<br>de pesos.   | Deslaves e inundaciones<br>en más de 50 colonias,<br>45% de la ciudad<br>incomunicada, en las<br>partes bajas de la<br>ciudad el agua alcanzó<br>los 2 mts. de altura, se<br>registraron olas de 4<br>mts. y la presa Abelardo<br>L. Rodríguez desfogó<br>361 m <sup>3</sup> /s. |
| Puerto<br>Escondido (Oax.)            | 8-October-97<br>Ráfagas de viento con<br>lluvia causados por el<br>huracán Pauline.  | No se tienen<br>datos.  | Caída del puente Río<br>Arenas, suspensión del<br>suministro de agua<br>potable además del<br>servicio eléctrico y<br>telefónico.  | Las olas alcanzaron una<br>altura de 9 mts.  |
| San Miguel<br>Panixtlahuaca<br>(Oax.) | 8-October-97<br>Ráfagas de viento con<br>lluvia causados por el<br>huracán Pauline.  | No se tienen<br>datos.  | 14 muertos, 66 viviendas<br>arrastradas por la<br>corriente del Río<br>Panixtlahuaca y cientos<br>de damnificados (no<br>cuantificados).   | Pauline alcanzó a entrar<br>con gran fuerza hasta<br>50 Km. al territorio<br>oaxaqueño.  |
| Acapulco de<br>Juárez (Gro.)          | 9-October-97<br>Fuertes remolinos,<br>lluvias intensas,<br>avalanchas de lodo y<br>agua ocasionados por<br>el huracán Pauline.                         | 411 mm en 4<br>hrs.   | 147 muertos, 141<br>desaparecidos, 50,000<br>damnificados obstrucción<br>de carreteras, suspensión<br>del suministro de agua<br>potable a causa de la<br>inundación de pozos de<br>almacenamiento y ruptura<br>de tuberías, cientos de<br>vehículos arrastrados,<br>interrupción servicio<br>eléctrico y telefónico. | El nivel del agua alcanzó<br>3 mts en la playa la<br>Condesa, hubo<br>obstrucción de las<br>carreteras Acapulco -<br>Zihuatanejo. Acapulco -<br>de Cuesta y<br>Acapulco-México<br>(libre).   |
| Tijuana (B.C.)                        | 8-Febrero-98<br>Intensas<br>precipitaciones<br>acompañadas de<br>fuerte vientos y<br>tormentas eléctricas<br>ocasionadas por el<br>fenómeno "El Niño." | 55 mm. en 6<br>hrs., y más de<br>250 mm que<br>habían caído en<br>los días<br>anteriores. | 15 muertos, 7<br>desaparecidos, más de<br>500 damnificados,<br>desbordamiento de<br>canales pluviales,<br>suspensión de los<br>servicios de agua potable,<br>además del servicio<br>eléctrico y telefónico,<br>daños materiales por más<br>de 55 millones de pesos.  | Más de 50 colonias<br>sufrieron deslaves e<br>inundaciones, el nivel<br>del agua subió hasta 1.5<br>mts. en algunas zonas de<br>la ciudad. Cierre de<br>carreteras Tijuana-<br>Mexicali, Tijuana-<br>Ensenada y Tijuana-<br>Tecate.  |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



|                     |  |                                     |   |  |
|---------------------|--|-------------------------------------|---|--|
| Cd. Hidalgo Mich.   | 23-Junio-98<br>Una tormenta, provoca fuertes lluvias provocando un alud de lodo y piedras.           | No hay datos.                       | Cuatro muertos y varias casas destruidas.   | No se registra.  |
| Cuajimalpa D.F.     | 25-Julio-98<br>Se desborda el Rio San Borja a causa de una tromba.                                   | 45 mm.                              | 4 muertos, 26 casas inundadas parcial o totalmente, tres vehículos arrojados por la corriente y 80 personas damnificadas.   | El nivel del agua alcanzó hasta un metro de altura.  |
| Milpa Alta D.F.     | 17-Agosto-98<br>Intensas precipitaciones a causa de un chubasco.                                     | 57 mm en 50 minutos.                | Dos muertos, 20 vehículos dañados, 10 bardas en mal estado, un puente, el total de daños se materiales se estimó en 80 millones de pesos                              | La inundación afectó 60 casas, 2 escuelas, un parque infantil y 22 hectareas de sembrados.   |
| Cd. Acuña Coah.     | 24-Agosto-98<br>Lluvias torrenciales a causa de la tormenta Charley.                                 | 350 mm en 5 hrs.                    | 11 muertos, 22 desaparecidos, 5,600 damnificados, suspensión del servicio de agua potable y telefónico.   | Se presentaron inundaciones en el 70% de la ciudad, con tirantes que alcanzaron los 2 metros.  |
| Nuevo Laredo Tamps. | 26-Agosto-98<br>Desbordamiento del Rio Brava a causa de la tormenta Charley.                         | 350 mm.                             | 350 familias evacuadas. Fallos en el suministro de agua potable. Interrupción del tráfico vehicular y peatonal por los puentes internacionales.                       | Las autoridades informaron que la cresta del rio alcanza 11.6 m de alto.   |
| Gustave Sin.        | 02-Septiembre-98<br>Intensas precipitaciones a causa del huracán Isis.                               | 266 mm.                             | Dos muertos, 1400 damnificados, suspensión de los servicios de luz y teléfono. Las pérdidas materiales ascendieron a mas de 50 millones de pesos.                     | Aproximadamente el 80% del municipio sufrió inundaciones.  |
| Los Cabos B.C.S.    | 02-Septiembre-98<br>Fuertes vientos e intensas precipitaciones a causa del huracan Isis              | 406 mm (no se especifica el tiempo) | Dos muertos, cientos de damnificados, suspensión del servicio de agua potable, electricidad y telefono.   | El agua arrasó con casas y vehículos, con tirantes de agua que superaron el metro de altura.   |
| Pijijapan Chis.     | 09-Septiembre-98<br>Desborde del rio Pijijapan y avalanchas de lodo a causa de las intensas lluvias. | 350 mm en 48 hrs.                   | 43 personas muertas, 79 desaparecidos, 15 mil damnificados, caída del puente carretero "los patos", suspensión del servicio de agua potable, electricidad y teléfono. | El rio Pijijapan desapareció cinco comunidades, arrasó con cientos de cabezas de ganado, así como de cultivos de café, cacao y plátanos. |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



|                       |  |                     |   |   |
|-----------------------|--|---------------------|---|---|
| Huixtla Chis.         | 09-Sept-98<br>Desborde del río Huixtla y avalanchas de lodo a causa de las intensas lluvias. | 350 mm en 48 hrs.   | 25 muertos, 26 desaparecidos, 4000 damnificados, caída de un puente ferroviario y de un puente carretero, desabasto de alimentos, medicina y gasolina.          | El río Huixtla arrasó tres comunidades.   |
| Motazintla Chis.      | 09 Septiembre 98<br>Desborde de ríos y avalanchas de lodo a causa de las fuertes lluvias.    | 350 mm en 48 hrs.   | El municipio quedó incomunicado vía terrestre, 200 personas muertas, 35 desaparecidos, 8000 damnificados, escasez de alimentos, medicinas y combustible.        | Más de 600 viviendas y dos escuelas fueron arrasadas por los desbordamientos de los ríos La mina, Xelajú y Allende.                                     |
| Tapachula Chis.       | 09-Septiembre-98<br>Desborde del río Coatan a causa de las fuertes lluvias.                  | 350 mm en 48 hrs.   | Dos muertos, cientos de damnificados, suspensión del servicio de agua potable, electricidad y teléfono, escasez de combustible.                                 | Ocho colonias resultaron inundadas por el desbordamiento del río Coatan, dos comunidades fueron arrasadas por las lluvias.                              |
| Tonalá Chis.          | 09-Septiembre-98<br>Desborde de ríos y avalanchas de lodo a causa de las fuertes lluvias.    | 350 mm en 48 hrs.   | 29 muertos, 42 desaparecidos y cientos de damnificados, suspensión del servicio de agua potable, electricidad y teléfono.                                       | El área de inundación en el estado abarcaba 230 km a lo largo de la costa y comprendía desde Tonalá a Tapachula.  |
| Villa Comitalán Chis. | 09-Septiembre-98<br>Desborde de ríos y avalanchas de lodo a causa de las fuertes lluvias.    | 350 mm en 48 hrs.   | 30 personas muertas, 27 desaparecidos y una comunidad arrasada por el desbordamiento del río, suspensión del servicio de agua potable, electricidad y teléfono. | La altura que las avalanchas de lodo alcanzaron fue de 2 mts. aproximadamente; este fenómeno se repitió en varias comunidades del estado.               |
| Escuintla Chis.       | 09-Septiembre-98<br>Desborde del río Escuintla a causa de las fuertes lluvias.               | 350 mm en 48 hrs.   | 44 muertos y 53 desaparecidos, cientos de casas sepultadas e inundadas, tres torres de luz se caeron dejando sin luz a miles de personas en la región.          | La mayor parte del valle de Escuintla permaneció inundado, por lo que se dificultó el aterrizaje de los helicópteros que llevaban ayuda a la población. |
| Salvatierra Gto.      | 09-Septiembre-98<br>Desbordamiento de la presa Viharillas por las fuertes lluvias.           | No se tienen datos. | 8 muertos, 1 desaparecido y 60 familias damnificadas.   | La inundación afectó 100 ha de diversos sembradíos.   |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



|                            |   |                     |  |  |
|----------------------------|---|---------------------|--|--|
| Mérida Yuc.                | 14-Septiembre-98<br>Fuertes vientos y precipitaciones como consecuencia del Gilbert.          | No se tienen datos. | Suspensión del servicio de agua potable, electricidad, caída de anuncios publicitarios, de muros de mampostería y de construcciones ligeras. | No se tienen datos.  |
| Magdalena Contreras D.F.   | 28-Septiembre-98<br>Desgajamiento de un cerro debido a las intensas precipitaciones pluviales | 33.2 mm.            | Seis muertos, 100 familias afectadas y daños materiales incuantificables   | El nivel de agua subió más de un metro.  |
| San Miguel de Allende Gto. | 4-October-98<br>Desbordamiento del arroyo Cachincha como consecuencia de las fuertes lluvias  | No se tienen datos. | Un muerto, 20 desaparecidos, 800 damnificados, 1 mercado destruido.  | La inundación afectó 4 colonias de la periferia, donde el agua alcanzó varios centímetros. |

### 1.6 POLÍTICAS DE PREVENCIÓN DE RIESGO

La Organización de las Naciones Unidas tiene a su cargo el Consejo Internacional de Alto Nivel para la Reducción de Desastres Naturales, cuya función es el incrementar programas de prevención y educación desde temprana edad para evitar y eventualmente erradicar los daños y desastres naturales y sociales.<sup>12</sup> También la Organización de Estados Americanos trabaja con asistencia técnica en prevención y mitigación de desastres naturales. Existe un amplio apoyo por parte de diversos organismos en trabajos de mitigación y prevención y restablecimiento ante una situación de peligro por un fenómeno natural.

#### Protección Civil en México

La Protección Civil es un conjunto de principios y normas de conducta a observar por las autoridades en la prevención de las situaciones de alto riesgo, siniestro o desastre y a la salvaguarda de auxilio de personas y bienes en que aquellos ocurran. En México a nivel estatal existen planes de protección civil referentes a diversos fenómenos para hacer frente a futuros desastres. Así, por decreto presidencial fueron creadas las bases del Sistema Nacional de Protección Civil<sup>13</sup> "El SINAPROC", bajo la coordinación de la Secretaría de Gobernación.

El SINAPROC es una Organización jurídicamente establecida, como un conjunto orgánico y articulado de estructuras, relaciones funcionales, métodos y procedimientos que establecen las dependencias y entidades del sector público entre sí, con las organizaciones de los

<sup>12</sup> Diario La Jornada "Solidaridad internacional contra los desastres naturales" 1 octubre-1991

<sup>13</sup> 06 de mayo de 1986



diversos grupos sociales y privados y con las autoridades de los estados y municipios, a fin de efectuar acciones de común acuerdo destinadas a la protección de los ciudadanos contra los peligros y riesgos que se presentan en la eventualidad de un desastre.

El marco institucional del Sistema está integrado por las dependencias y entidades de la Administración Pública, por los organismos de coordinación entre la Federación y los Estados y municipios y por la representación de los grupos sociales y privados que participan en las actividades de protección civil, los cuales conforman tres estructuras estrechamente relacionadas: la primera, de las instituciones de la Administración Pública con funciones ejecutivas, la segunda, de los consejos con funciones consultivas y de coordinación y la tercera de participación de los grupos voluntarios.

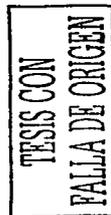
El Sistema de Protección Civil, mantiene la decisión política de vigorizar el compromiso federal, es válido simultáneamente para los tres niveles de gobierno: Federal, Estatal y Municipal.

El Sistema Nacional de Protección Civil involucra, en primer lugar, a todas las entidades y dependencias del Gobierno y después, especialmente a las áreas de las secretarías y entidades públicas que llevan a cabo actividades de protección civil tanto de carácter normativo como operativo, y también, a través, de los mecanismos de coordinación, concertación e inducción, a las unidades de los gobiernos estatales y municipales y de las organizaciones sociales y privadas en el ámbito de la Protección Civil.

La estructura institucional del Sistema está integrada por las dependencias y entidades de la Administración Pública, por los organismos de coordinación entre la federación y los estados y municipios y por la representación de los grupos sociales que participan en las actividades de protección civil vinculados por medio de:

- La Dirección y Coordinación del C. Presidente de la República.
- El Gobierno tanto en sus unidades centrales como en las paraestatales.
- El Gabinete especializado.
- Unidades o áreas de cada dependencia o entidad paraestatal responsable de la protección civil.
- Los responsables de las actividades de la protección civil estatal o municipal dentro de los órganos de coordinación existentes y a través de convenios entre federación y estados.
- Los consejos que se establezcan para coordinar y sugerir acciones.
- Los mecanismos de participación social.

La infraestructura de apoyo está constituida en consecuencia por los recursos humanos, materiales y financieros de las dependencias y entidades de la Administración Pública





Federal, estatal y municipal, así como por los correspondientes a las organizaciones sociales y privadas.

El Estado tiene la obligación de proteger la vida, la libertad, las posesiones y derechos de todos los ciudadanos.

De ahí se deriva la protección a los ciudadanos frente a los peligros y riesgos de desórdenes o trastornos provenientes de elementos, agentes o fenómenos, naturales o antropogénicos, que puedan dar lugar a desastres, con la trágica e irreparable pérdida de vidas humanas, la destrucción de bienes materiales, el daño a la naturaleza y la interrupción de la vida cotidiana.<sup>14</sup>

La estructura jurídica que corresponde a los sistemas estatal y municipal de protección civil, para el debido ejercicio de sus acciones y reconocimiento de sus facultades, está reglamentada por el conjunto de dispositivos legales.

Las bases que utiliza el SINAPROC, en caso de presentarse un desastre son: la prevención, el auxilio y el restablecimiento.<sup>15</sup>

#### Prevención

En el plan de prevención para desastres hidrometeorológicos destaca: la identificación de las áreas susceptibles al riesgo, coordinar acciones de los sectores público, privado, y social, coordinar acciones de prevención de grupos voluntarios nacionales e internacionales, preparar manuales e instructivos, preparar la realización permanente de simulacros y concertar la participación de los medios de comunicación, promover la investigación, establecer un sistema de detección y monitoreo como también una estrategia informativa que permita la oportuna divulgación de los mensajes.

#### Auxilio

Dentro de las actividades están: alertar a tiempo a la población, la persona responsable de declarar estado de emergencia, según sea la magnitud del caso, es el poder ejecutivo. En el caso del Distrito Federal es el jefe de gobierno. En esta etapa se deben evaluar los daños materiales y humanos, las necesidades prioritarias y los riesgos secundarios; mecanismos que coordinen la emergencia; establecer un sistema de seguridad que proteja a la población; búsqueda, salvamento y asistencia; restablecer los servicios estratégicos a la brevedad, hospitales, escuelas, comunicación, transporte: suministro de provisiones.

<sup>14</sup> Ley General de Protección Civil \*Capítulo II Del Sistema Nacional

<sup>15</sup> Diario Oficial 27 de Junio de 1991 pag. 77 y 78

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### Restablecimiento.

Mejora de las condiciones de vida de la población mediante la vigilancia de la recuperación de los servicios urbanos, administrar y distribuir los apoyos nacionales e internacionales.

En el caso de las Inundaciones, uno de los mecanismos de difusión de protección civil ha sido sensibilizar a los habitantes de zonas de alto riesgo o que son vulnerables al peligro para que conozcan las reglas de seguridad que mitiguen un posible daño.

Estas reglas de seguridad indican cómo debe comportarse el hombre ante una posible calamidad. Incluye la seguridad en casa y fuera de ella, cooperar con las autoridades responsables.<sup>16</sup>

A su vez la UNAM, trabaja el área de protección civil con personal técnico y académico en el Centro Nacional de Prevención de Desastres "CENAPRED", organismo desconcentrado jerárquicamente subordinado a la Secretaría de Gobernación realizando actividades de capacitación manejo de tecnologías, investigación y difusión en materia de protección civil, el CENAPRED apoya al SINAPROC en los requerimientos técnicos que su operación demanda.

En México existen disposiciones, reglamentos y leyes que otorgan atribuciones y facultades a distintas dependencias y organismos para prevenir, auxiliar y apoyar a la población en situaciones de desastre.

Entre los cuales se encuentra "La Ley General de Protección Civil" que fuera redactada en el año 2000 en donde se delimitan las acciones a cubrir por parte de Protección Civil

La política ambiental dirigida a contener el deterioro de los recursos naturales se expresa en diversas acciones relacionadas con la conservación de los ecosistemas y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales renovables; la reestructuración de ecosistemas dañados y la regularización del uso del suelo, siendo que cada una de estas líneas de acción dispone de uno o varios instrumentos de gestión, con apoyos normativos y administrativos de diversa índole.

La regulación del uso de suelo constituye el objeto principal del ordenamiento ecológico, el cual forma parte del conjunto de acciones instrumentales de la política ambiental y constituye la herramienta fundamental para la planificación y la gestión ambiental nacional, regional y local.

<sup>16</sup> CENAPRED, Folleto de divulgación, México 2001.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Su objetivo principal consiste en garantizar la renovabilidad del capital natural, prevenir el deterioro de los ecosistemas de mayor valor por sus servicios ecológicos indispensables para el desarrollo, proteger la biodiversidad y la diversidad cultural.

El ordenamiento ecológico se constituye en un conjunto de acciones estructuradas alrededor de las funciones ambientales específicas que cumple cada unidad del territorio, con el propósito de lograr que tales funciones estén en concordancia con la potencialidad natural de cada unidad, dentro de contextos locales, regionales y nacionales.

El ordenamiento ecológico territorial se centra en procurar un equilibrio entre transformación, conservación y restauración de los ecosistemas cuando hayan sido perturbados más allá de su capacidad de resistencia.

Su eficacia como herramienta de planificación y gestión ambiental descansa en su capacidad para convertirse en vínculo efectivo entre el conocimiento y la acción, de acuerdo con las condiciones de la sociedad y de la institucionalidad presentes en el territorio.

Actualmente, el país cuenta con significativos avances que fundamentan las labores del ordenamiento del territorio nacional, ya que cuenta con las bases jurídicas y normativas para realizar el ordenamiento urbano y ecológico, y por tanto, para planear y regular adecuadamente los usos y destinos del suelo; sin embargo, es todavía necesario avanzar en su integración y en su fortalecimiento como mecanismos efectivos que permitan a los estados y municipios del país, promover su ordenamiento territorial, el uso racional del uso urbano y rural, la reservación de su patrimonio ecológico y con ello fortalecer también la prevención de desastres de origen natural y tecnológico.

La conservación es el objetivo fundamental de las declaratorias de áreas naturales protegidas en sus diversas modalidades. A la conservación contribuyen también las acciones para prevenir, detectar y combatir los incendios forestales. En relación con el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales renovables, destacan las acciones dirigidas a la recuperación de especies prioritarias, el manejo y aprovechamiento de la flora y fauna silvestre, así como las acciones en apoyo de la gestión ordenada de las actividades forestales en los bosques nativos, en su mayoría propiedades del sector social.

A las labores de restauración ecológica contribuye un conjunto de acciones entre las que destacan las relativas a la reforestación, las campañas para evitar el cambio del uso del suelo por incendios forestales, y las dirigidas a la ampliación y defensa de la cobertura forestal.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## Normas para planeación urbana

Las normas de mitigación de los riesgos naturales implican la planeación de usos de suelo como medidas para evitar y/o reducir el impacto de los fenómenos naturales peligrosos. Todos están orientados para influir el desarrollo del suelo para reducir las exposiciones de la población y equipamiento al riesgo. Las medidas varían desde requerimientos para simplificar el registro e información de riesgo a la prohibición de desarrollos en áreas peligrosas específicas.

Todas las medidas requieren algunas evaluaciones geotécnicas de los riesgos naturales como punto de partida. Las medidas para la planeación de usos del suelo forman las políticas del marco de referencia para aplicar medidas de mitigación geotécnica y estructural.

### Planes de uso del suelo

Un plan de uso del suelo es importante para mitigar los peligros naturales porque ellos fijan el marco de referencia para determinar el tipo de intensidad de los usos del suelo en las áreas en que se determinen factores mayores de peligrosidad. Un plan de usos del suelo proporcionará una excelente oportunidad para evitar efectos peligrosos en su desarrollo físico.

La planeación de usos del suelo pueden ser usadas mas efectivamente como una medida de mitigación de la peligrosidad en áreas que todavía no estén desarrolladas, guiando nuevos desarrollos a áreas relativamente libres de condiciones peligrosas. La planeación de usos del suelo es más efectiva para la mitigación de los riesgos de fallas subterráneas, inducidas por los sismos, tales como fallas por ruptura, deslizamientos de tierra y licuefacción.

Evitando o restringiendo desarrollos en áreas propensas a las fallas es más fácil y más económico tratar de diseñar estructuras que resistan fallas potenciales. La aplicación requiere de la identificación de áreas con fallas potenciales en el terreno, los riesgos entonces pueden ser considerado junto con otras características naturales relevantes del área (topografía, tipo de suelo, vegetación), así como los factores económicos, sociales, políticos y estéticos para determinar futuros usos del suelo.

### Reglamentos de zonificación

Los reglamentos de zonificación son las normas adoptadas por gobiernos locales para el uso del suelo, las cuales definen los usos permitidos del suelo en una comunidad. Un reglamento de zonificación incluye un mapa que muestra los distritos zonificados y un texto que define las normas relativas a la urbanización del suelo para cada uno de los distritos zonificados.



Usualmente las comunidades establecen la zonificación de distritos para usos residenciales de distintas densidades, usos comerciales e industriales, parques y espacios abiertos. Las normas incluyen usualmente alturas de edificios, área de protección, requerimientos de estacionamiento, y otros factores relacionados con la densidad e intensidad del desarrollo urbano.

#### **Normas para fraccionamientos.**

Las normas para fraccionamientos establecen procedimientos para la división para la división de terrenos para la urbanización. Las condiciones incluyen normas para lotes, calles, banquetas, drenajes, estacionamientos, espacios abiertos, nivelación, y lineamientos complementarios.

Los lineamientos para llevar a cabo los procedimientos y proponer una revisión de los reportes geotécnicos están frecuentemente incluidos en las normas. Debido a que es difícil corregir una lotificación ya establecida es muy importante que cualquier división del suelo refleje las condiciones naturales incluyendo la presencia de riesgos naturales. Los fraccionamientos diseñados cuidadosamente pueden conducir a los desarrollos significativamente más seguros. Los requerimientos de información geotécnica sísmica como criterios de aplicación para la subdivisión es muy efectiva particularmente si la jurisdicción tiene disponible para esto la pericia técnica para revisar y valorar la información proporcionada. Usualmente los fraccionamientos implican regularmente terrenos externos. Si las proporciones de un terreno sin dividir son potencialmente peligrosas, el fraccionamiento puede diseñarse para evitar construir en áreas peligrosas, arriba o debajo de pendientes inestables o a través de una falla.

#### **Normas especiales de urbanización.**

La urbanización, densidad y diseño de la urbanización pueden ser reguladas de diferentes formas la mayoría de las cuales son modificaciones de la zonificación tradicional y los controles de funcionamientos. La regulación de la mitigación de peligros naturales incluyen: unidades de desarrollo urbano, desarrollos habitacionales, transferencia de créditos y fórmulas de pendiente/densidad. La unidad de desarrollo urbano permite más flexibilidad en usos combinados y tipos de construcción en el diseño de un sitio particular que en las normas generales de zonificación. Las regulaciones de desarrollos habitacionales permiten densidades más altas que otra manera pudieran permitirse a fin de guardar espacios abiertos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## 1.7 LA INGENIERÍA CIVIL Y LA PREVENCIÓN DE DESASTRES

Las grandes inundaciones y fenómenos naturales que se manifiestan en el territorio nacional, ha recordado a los Ingenieros Civiles la alta vulnerabilidad que como país de recursos económicos limitados, nos aqueja.

A los Ingenieros Civiles les ha correspondido, particularmente por conducto de los organismos gubernamentales, reconstruir una buena parte de las condiciones del país, analizar lo sucedido y generar las condiciones que eviten repetir daños de gran magnitud.

Los Ingenieros Civiles como ciudadanos y como técnicos interesados, corresponden a que se reactive y actualice el desarrollo de un nuevo plan nacional hidráulico, que se respeten los planes de desarrollo urbano, evitando corruptelas y negocios turbios; que los asentamientos humanos no se permitan en viejos cauces o en zonas inundables y que la infraestructura prevea el cambio climatológico y permita el desahogo de las cuencas.

La Ingeniería Civil mexicana ha dado muestras suficientes en la prevención de desastres, a los desafíos del progreso de nuestro país. Muchos años de evolución, de esfuerzo académico, y constante adaptación a los retos de la peculiar orografía nacional, acreditan una ingeniería dotado de un profundo sentido social, una ingeniería que participa activamente en los afanes del desarrollo.

La Ingeniería Civil forma parte, sin lugar a dudas, del patrimonio cultural y humano de México, por lo que es un imperativo que siga participando en los mejores propósitos institucionales. En muchos de los eventos adversos generados por la lluvia pudieran ser más perjudiciales de no haber contado con la participación de técnicos e Ingenieros, que desde distintas instancias públicas concurren a la prevención de desastres e intervinieron en las labores de rehabilitación de los poblados afectados.

La prevención de desastres es una actividad sin beneficios visibles inmediatos, sin embargo, es necesario avanzar el reconocimiento de que los efectos locales acumulados de la degradación de los recursos naturales, por lo que se requiere revalorar la importancia de la ciudad y su conservación, así como de los servicios ambientales que ofrecen, como base de una adecuada protección de las vidas humanas y de sus bienes materiales.

En general, se tiene una idea de que a largo plazo es más eficiente utilizar recursos en la prevención de Inundaciones y así disminuir la necesidad de emplearlos en el remedio. No obstante, no se cuenta con estudios y datos, suficientes para evaluar la idea y definir cuanto debe invertirse y en donde; incluso en los sistemas preventivos, que tienden a evaluar el esfuerzo relativo que debe hacerse con, medidas estructurales o con medidas institucionales, la mayor parte de los daños son consecuencia de una planeación incorrecta de uso del suelo y de los sistemas de alerta. La respuesta racional a estos planteamientos



debe basarse cada vez mas en mediciones precisas de los costos económicos y sociales de los sucesos históricos. Es necesario profundizar y relacionar las características del fenómeno con los daños económicos y sociales; de esta manera, será factible efectuar estimaciones relativas a los daños que podrían evitarse al invertir en medidas preventivas.

El enfoque integral para el manejo de desastres naturales habrá de incorporar la prevención y la mitigación, dejando atrás el enfoque de atención, dejando solo las emergencias. Debemos darle una importancia prioritaria hacia las medidas de prevención y mitigación; Ese tipo de experiencias obliga a desarrollar nuevos esfuerzos, con el objeto de prever hacia el futuro nuevos fenómenos climáticos de esa magnitud. Al respecto debe considerarse que el clima en el mundo ha comenzado a presentar la repetición de fenómenos que en otros tiempos se consideraron excepcionales. Eso implica que sea un reto para las instituciones del país especialmente para las que atienden este tipo de fenómenos atmosféricos. En este reto deben participar los Ingenieros Civiles, considerando su formación profesional y su capacidad para formular soluciones ante los problemas.

El ejercicio de la reflexión profesional, combinado con la reflexión de los acontecimientos recientes debe conducir a una renovada capacidad de previsión, que permita hacer frente a los retos climáticos moderando en todo lo posible sus efectos perjudiciales para la vida y la propiedad de los mexicanos. Se trata de una oportunidad histórica que pone a prueba a los Ingenieros Civiles mexicanos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



# CAPITULO 2

# INUNDACIONES

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

33-A



## INUNDACIONES

### 2.1 GENERALIDADES.

Se denomina inundación al exceso de precipitación que no se retiene en las partes altas ni se infiltra en el suelo, y que después de escurrir se agrega al flujo superficial de una corriente, cuya propagación sobrepasa las condiciones normales alcanzando niveles de creciente extraordinarios, desbordándose en su recorrido por los terraplenes, ya sean naturales o artificiales. Ocasionando, ordinariamente daños a zonas urbanas, a tierras productivas, a valles y en general a sitios bajos.

Puede decirse entonces, que una inundación se produce cuando el gasto de las avenidas generadas en una cuenca<sup>17</sup> supera la capacidad de drenaje. Cuando esto sucede, el exceso de agua escurre sin control, hacia las partes bajas.

Las inundaciones ocurren prácticamente en todo el territorio nacional, y en las zonas urbanas se ven favorecidas por las construcciones de casas, edificios, comercios y calles pavimentadas que incrementan la cubierta impermeable de la cuenca y reducen la infiltración, cambiando el patrón espacial del flujo en la misma y alterando la eficiencia hidráulica; pero para poder entender su magnitud debemos tomar en cuenta los beneficios y/o daños provocados, ya que en ocasiones las inundaciones son inducidas con fines técnicos y de beneficio económico-social; como ejemplo podemos señalar aquellas en áreas no productivas para evitar o disminuir los daños en centros de alto desarrollo urbano, industrial o agropecuario.

Generalmente las inundaciones son consecuencia directa de los fenómenos hidrometeorológicos que producen la precipitación, podemos citar como algunas causas generadoras de inundaciones, las lluvias intensas, los ciclones tropicales, las trombas, granizo y nieve, que son los que más daños causan al originar inundaciones de diversas magnitudes y duración, aún en áreas donde no pareciera factible, a ello se suman efectos orográficos y fenómenos meteorológicos convectivos<sup>18</sup>, esta diversidad de fenómenos produce la precipitación, con una secuela de avenidas que pueden generar la inundación de terrenos.

En razón de que las inundaciones no solamente dañan propiedades y ponen en peligro vidas humanas y de animales, sino que pueden producir escurrimientos rápidos que originen otros fenómenos como la erosión del suelo y el depósito de sedimentos, es indispensable emprender acciones coordinadas de protección, atendiendo a la intensidad con la que se presente y el riesgo que ésta represente, por lo que deberá considerarse de *baja*

<sup>17</sup> Ya sea urbana o natural.

<sup>18</sup> Ascenso de humedad debido a diferencia de temperatura.



*intensidad*, cuando el flujo de la corriente sobrepasa los niveles ordinarios, ocasionando daños moderados a algunos bienes, sin que exista un riesgo latente hacia la población, de *media*, cuando los daños son considerables, existen damnificados, y se genera una situación de riesgo inminente, y de *alta*, cuando se presentan numerosos daños humanos y materiales, damnificados y muertos, subsistiendo un alto grado de riesgo para la población y su entorno.

Los daños ocasionados se clasifican en *directos, indirectos, e intangibles*, los primeros causan un deterioro físico de las propiedades y de la producción; las actividades y bienes que en mayor medida pueden ser afectados por este tipo de daños son la agricultura, la ganadería, la silvicultura, la industria, el comercio, las obras públicas y las construcciones; los segundos indican las pérdidas económicas de los productos y servicios de una región derivadas de la irrupción temporal de las actividades agropecuarias, forestales, industriales y de comercio, así como el gasto que se destina a ayudar a los damnificados; y por último los terceros corresponden a los damnificados, heridos y las pérdidas de vidas humanas.

## 2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES

Las inundaciones pueden clasificarse de acuerdo con parámetros que toman en cuenta sus características, su origen, así como también por la duración y la magnitud de las áreas afectadas.

Por su origen, las inundaciones pueden ser: *costeras, fluviales y lacustres, pluviales*, según se registren en las costas marítimas, en las zonas aledañas a los márgenes de los ríos y lagos, en los terrenos de topografía plana, a causa de la lluvia excesiva y a la inexistencia o deficiencia del sistema de drenaje.

### Inundaciones Costeras

Las zonas costeras también pueden ser afectadas por las mareas de tormenta, particularmente en el Golfo de México, donde la sobre elevación del nivel medio del mar hace que esté ingrese tierra adentro afectando en ocasiones zonas muy amplias. A este fenómeno se suma el del oleaje y juntos causan daños muy importantes, como la socavación de los mimientos en los edificios costeros, el naufragio de embarcaciones, la demolición y destrucción de instalaciones portuarias, la ruptura de las obras de defensa costera y la erosión de las playas y riscos. El efecto del agua no solo es destructivo al avanzar tierra adentro sino también en su retirada hacia el mar.

### Inundaciones Fluviales.

Se originan cuando los escurrimientos superficiales son mayores a la capacidad de conducción de los cauces, lo que provoca el desbordamiento del río.

Las inundaciones fluviales se dividen en:

- ❖ **Inundaciones en zonas urbanas:** son cada vez más importantes debido a que principalmente la cuenca sufre modificaciones lo que se ha manifestado en avenidas varias veces mayores en volumen y pico, que las de la cuenca natural. Por lo que respecta al desarrollo urbano en zonas semidesérticas las inundaciones son menos frecuentes, pero por la misma razón, se suelen olvidar de tal forma que cuando ocurren, causan problemas mayores.

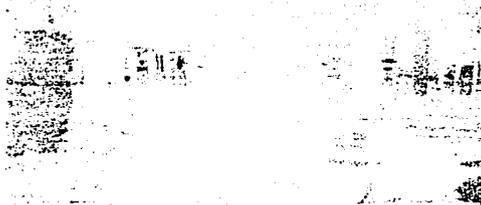


Fig. 2.1 Inundación en la zona conurbada del D.F.

- ❖ **Inundaciones derivadas:** Las inundaciones derivadas son producto de la insuficiencia y, por tanto, de la falla de obras de almacenamiento y control, y que han sido afortunadamente poco frecuentes. Este tipo de fallas representa sin embargo un potencial de daños enorme. Es particularmente importante evitar la falla por desbordamiento de las presas, ya que, en caso de ocurrir, el desbordamiento provocaría la destrucción de la misma en un tiempo corto (del orden de horas) y el volumen de agua almacenada sería descargado súbitamente hacia aguas abajo con gastos mucho mayores que la capacidad del cauce y con sus consecuentes daños.

#### Inundaciones Lacustres

Se originan en los lagos y lagunas por el incremento de sus niveles y son peligrosos por el riesgo que representa para los asentamientos humanos cercano a las áreas de embalse.  
Inundaciones pluviales

Como su nombre lo indica se deben a la acumulación de la precipitación<sup>19</sup> como consecuencia de la humedad contenida en los mares oceánicos y otros grandes cuerpos de agua,

<sup>19</sup> Lluvia, granizo y nieve principalmente.

estrechamente relacionada con el ciclo hidrológico. También este proceso puede originarse por la presencia de huracanes.

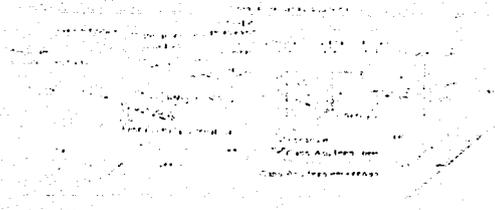


Fig. 2.2 Ciclo hidrológico

Las inundaciones pluviales a su vez se pueden subdividir en:

- ❖ **Las inundaciones repentinas:** Son ocasionadas por lluvias intensas en cuencas de respuesta rápida<sup>20</sup> que provocan los denominados flash floods<sup>21</sup>, los cuales casi siempre se acompañan de una gran cantidad de lodo. Ocurren con gran frecuencia en la periferia de las grandes concentraciones urbanas, donde el mismo desarrollo favorece a los asentamientos humanos, en barrancas deforestadas e incluso en la zona federal de los cauces.
- ❖ **Encharcamientos:** Se presentan casi siempre en sectores urbanos, con periodicidad anual y duración intermedia, y cuya principal consecuencia es el retraso en el desarrollo de las actividades productivas de la población.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<sup>20</sup> Es aquella donde se manifiesta un rápido escurrimiento de agua.

<sup>21</sup> Es el arrastre de agua y tierra originando lodos.



Fig. 2.3 Encharcamiento en la zona metropolitana de la ciudad de México

- ❖ **Inundaciones de larga duración:** Se presentan en muchas partes del territorio nacional, generalmente en zonas bajas, en áreas muy extensas y, son originadas por el volumen acumulado de precipitación pluvial durante varios días o semanas. Por la lentitud que se producen no suelen causar pérdida de vidas humanas (excepto por negligencia), aunque ocasionan importantes pérdidas económicas, tanto en las zonas urbanas (casas, comercios e industrias), como en zonas rurales (agricultura y ganadería).

### 2.3 ESTIMACIÓN DEL RIESGO

Las inundaciones afectan bienes de alto valor económico. La Ciudad de México es un caso dramático que muestra que, a pesar de las grandes inversiones en infraestructura para el drenaje y control de las avenidas cada año se producen enormes pérdidas debidas a las inundaciones de las cuencas que han sido urbanizadas y los daños que éstas producen son función de las modificaciones o que sufre el terreno.

Dada la diversidad de características de las avenidas se pueden producir inundaciones de distintos tipos, y entonces el problema de la estimación del riesgo se vuelve complejo: ya que se hace necesario caracterizar las avenidas no solo por el gasto máximo o de pico<sup>22</sup> sino también, por la relación de gasto medio máximo, duración y en algunas ocasiones, por la forma de la avenida. Por otro lado, diseñar una política de mitigación de los daños, mediante medidas preventivas requiere realizar análisis en regiones extensas.

Sin embargo, tomando en cuenta que las fallas pueden ocurrir no solamente por la insuficiencia de la obra desde el punto de vista hidrológico, sino también por deficiencias en

<sup>22</sup> Lo que es útil en las flash floods pero insuficiente en otros casos



el diseño hidráulico de la misma, se dan a continuación algunas ideas importantes para plantear las necesidades y formas de estudio de las inundaciones, y de esta manera crear conciencia y establecer parámetros para evaluar el riesgo:

- ❖ Cualquier obra hidráulica de control que se diseñe, su objetivo principal es el de disminuir los daños causados por las inundaciones, aunque no se anule totalmente el riesgo.
- ❖ Establecer un monitoreo permanente en desarrollos urbanos ubicados en zonas semidesérticas.
- ❖ Establecer un programa permanente de mantenimiento a las obras hidráulicas de control previniendo un mal funcionamiento de las mismas.
- ❖ Limitar las tendencias actuales del desarrollo urbano para evitar el rápido crecimiento de los asentamientos en los cauces.
- ❖ Establecer políticas ecológicas permanentes y energías para evitar la deforestación.
- ❖ Tomar medidas en las zonas urbanizadas para permitir que las modificaciones al suelo no afecten lo menos posible la infiltración del agua al subsuelo.

## **2.4 CONSECUENCIA DE LAS INUNDACIONES**

Las inundaciones pueden ocasionar beneficios o daños, por ello a continuación se describen ambos conceptos.

### **Beneficios producidos**

1. Humedecen y fertilizan los terrenos. Esto último porque los ríos también transportan una gran cantidad de materia orgánica, además de los limos y arcillas.
2. Recargan los acuíferos sobre todo si los suelos son permeables y con poca pendiente.
3. El agua almacenada en las partes bajas forma pequeñas lagunas que contribuyen a la supervivencia de la fauna: sobre todo en zonas semiáridas.
4. Pueden evitar o reducir los desbordamientos en zonas de aguas abajo, las que podrían estar más pobladas o tener mayor riqueza agrícola, ganadera, e industrial o de servicios. Cada vez que se produce un desbordamiento, un cierto volumen de agua es restado al hidrograma de la avenida que transita a lo largo del río.

### **Daños producidos.**

Tanto por la elevación que alcanza el agua como por las fuertes velocidades que ésta llega a tener, se encuentran los siguientes:

1. Pérdidas de vidas humanas.
2. Pérdidas de ganados y animales en general.



3. Destrucción de cultivos.
4. Deterioro y destrucción de casas, muebles, viveres, etc.; hasta obras de arte, tesoros arqueológicos, archivos, etc.
5. Interrupción y destrucción de vías de comunicación.
6. Interrupción de servicios eléctricos, telefónicos, de agua potable y drenaje.
7. Propagación de enfermedades.

Referente a la economía y a la magnitud de los daños señalados conviene distinguir tres situaciones:

1. Cuando el río se desborda anualmente o con mucha frecuencia.

En las regiones en que los ríos producen avenidas anuales, prácticamente no hay pérdidas de vidas humanas y son escasas las pérdidas de animales, ya que los habitantes de la región están acostumbrados a las inundaciones y toman las precauciones necesarias. Referente a los cultivos, solo se pierden si las avenidas se adelantan y ocurren antes de levantar las cosechas, por ello en estas zonas se ve la imposibilidad de un segundo o tercer ciclo de cultivo. La interrupción de las comunicaciones terrestres y la ocurrencia de enfermedades hídricas son daños que casi siempre ocurren.

2. Cuando el río se desborda con escasa frecuencia pero conduce agua casi todo el año.

En esos ríos, los períodos de retorno de las avenidas que ocasionan las inundaciones son muy variables, sobre todo si ellas son provocadas por lluvias de tipo ciclónico.

3. Igual que la anterior pero en los ríos que casi nunca llevan agua excepto cuando hay avenidas, y esta, puede tener períodos de retorno mayores a unos 7 años.

Cuando el período de retorno de la avenida es grande o se trata de ríos que rara vez se desbordan o en los que casi nunca escurre agua, todos los daños pueden ocurrir, ya que los habitantes del lugar no están preparados para sufrir inundaciones de gran magnitud, y aún más, muchos de ellos nunca han visto una inundación y por tanto, no saben qué hacer cuando ocurre ese fenómeno.

En regiones semiáridas, en que los ríos casi nunca tienen agua, se llegan a construir obras (casas y edificios) dentro del cauce del río, por lo que en la primera avenida es destruido todo.

A medida que se desarrolle y habite una región, los daños causados por las inundaciones llegan a ser mayores que los beneficios, y por tanto, se tienden a evitar o reducir. Al evitar las inundaciones desaparecen las ventajas que traen consigo; sin embargo, con obras adecuadas se pueden lograr tres de los beneficios mencionados, el mas difícil de conseguir y



que en muchas ocasiones se pierde, es la recarga de los acuíferos la que queda supeditada únicamente a la precipitación local y a la infiltración a lo largo de los cauces.

## 2.5 MEDIDAS DE PROTECCIÓN

Para mitigar los daños causados por las inundaciones se han desarrollado una serie de medidas de protección, que pueden clasificarse en: **ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES.**

### Estructurales.

Están constituidas por obras de infraestructura hidráulica destinadas al control de inundaciones y a saber son:

- ❖ **Obras de Regulación.** Son fundamentalmente las presas que permiten almacenar temporalmente las avenidas para después descargarlas en forma controlada.
- ❖ **Obras de Rectificación.** Su función es facilitar el transporte rápido del agua, disminuyendo el tirante en los ríos y canales para evitar que se desborden. Algunas de ellas son la rectificación de cauces, el corte de meandros y en general los conductos de drenaje construidos artificialmente.
- ❖ **Obras de Protección.** Su función es confinar el agua dentro del cauce del río o bien evitar que la inundación alcance poblaciones o zonas de gran importancia. Dentro de estas obras de protección se pueden mencionar a los bordos longitudinales y los bordos perimetrales.

### No Estructurales.

Se conoce así a las medidas enfocadas a la protección civil y pueden ser de carácter permanente o aplicable solo con relación a la presencia de la inundación. Su objetivo es disminuir los daños, se clasifican en:

#### Medidas de Protección y Operación.

Se instrumentan de acuerdo con los pronósticos y por ello su efectividad depende de la precisión de los mismos en usos de diferentes fases, como los de ocurrencia de la lluvia, de su transformación en escurrimiento superficial, de su tránsito por los cauces, las obras de infraestructura, etc.



Las principales medidas de este tipo son: Operación de la Infraestructura Hidráulica, Los planes de protección civil, Difusión de alerta, Evacuación de personas y bienes afectables.

#### Medidas Permanentes.

Están constituidas básicamente por la reglamentación del uso del suelo, apoyada en una zonificación de las llanuras inundables, con el propósito de evitar urbanizar zonas sujetas al riesgo de inundación.

Las medidas mencionadas anteriormente pueden funcionar integradas o ya sea el caso independiente, para poder atender el problema presente y futuro de las inundaciones. En la tabla 2.1 se propone un esquema en donde estas medidas se estructuran de acuerdo a los objetivos y al tipo de medida: con ello se establecen los tipos de proyectos, el costo y los limitantes de cada uno de estas, y así poder determinar cual debe adecuarse al problema específico y con ello, exista una mayor exactitud de los resultados del estudio realizado y el proyecto que se deba ejecutar podrá dimensionarse con mayor confiabilidad.

Las propuestas deben considerarse desde antes de que ocurra una eventualidad, previniendo todo riesgo que pudiera ocurrir en el período de estudio, planeación y ejecución hablando de las medidas estructurales, por otra parte las medidas que no son estructurales deben de tener un seguimiento constante, ya que como se menciona en la tabla 2.1 son las que por su costo tenderían a ser más factibles en cuanto a ejecución pero no las más seguras, ya que existe un alto porcentaje "falla humana": es decir, todo depende de la intervención del hombre que da la alerta de emergencia.



| Acciones para prevención de inundaciones   |                           |   |   |   |  |   |  |
|--|---------------------------|---|---|---|--|---|--|
| Objetivo   | Medidas Estratégicas      | Tipos de proyectos  | Proyectos   | Nivel de Costo  | Limitantes   |   |  |
| MEJORAR LAS CONDICIONES DE VIDA<br><br>EVITAR PERDIDAS HUMANAS Y MATERIALES POR INUNDACIÓN | Acciones Estructurales    | Proyectos de infraestructura para el control de inundaciones      | Construcción de presas  | Alto  | Buen control de avenidas con costo alto              |   |  |
|  |                           |   | Construcción de muros y bordos                                    | Medio   | Puede ocasionar problemas aguas arriba o aguas abajo |   |  |
|  |                           |   | Mejoramiento de canales   | Medio   | Solución a corto plazo pero limitada                 |   |  |
|  |                           |   | Conservación de cuencas   | Medio y Sistemática   | Buen resultado en el mediano y largo plazo           |   |  |
|  |                           |   | Construcción de espigones   | Bajo  | Solución temporal a un problema específico           |   |  |
|  | Acciones No Estructurales | Proyectos Institucionales   | Proyectos Institucionales   | Planes de auxilio   | Bajo   | Buenos resultados en emergencias              |  |
|  |                           |   |   | Pronóstico de avenidas  | Bajo   | Presenta el problema de credibilidad          |  |
|  |                           |   |   | Sistemas de alerta  | Medio  | Buenos resultados en el corto plazo           |  |
|  |                           |   |   | Reglamentación del desarrollo urbano                              | Bajo   | Buenos resultados en el mediano y largo plazo |  |
|  |                           | Proyectos Institucionales para regulación de planicies inundables | Proyectos Institucionales para regulación de planicies inundables | Proyectos Institucionales para regulación de planicies inundables | Ordenamiento de zonas                                | Bajo  | Presenta dificultades de control de usuarios                 |
|  |                           |   |   |   | Control de uso de la tierra                          | Bajo  | Presenta problemas de tenencia de la tierra                  |
|  |                           |   |   |   | Reglamento de construcción                           | Bajo  | Su eficiencia depende de la administración pública           |
|  |                           |   |   |   | Aspectos técnicos legales                            | Bajo  | Los aspectos legales no siempre son aplicables               |
|  |                           |   |   |   | Seguros  | Bajo  | Buen resultado   |
|  |                           | Otros proyectos institucionales                                   | Otros proyectos institucionales                                   | Otros proyectos institucionales                                   | Supervisión técnica                                  | Bajo y sistemático                            | Requiere constancia que se olvida cuando no hay inundaciones |
|  |                           |   |   |   | Señalamiento   | Bajo y sistemático                            | Requiere atención constante                                  |
|  |                           |   |   |   | Vigilancia policial                                  | Medio y sistemático                           | Se olvida la función cuando no hay avenidas                  |
|  |                           |   |   |   | Espacios abiertos                                    | Medio   | Es difícil controlar su uso                                  |
| Agricultura y pastoreo   | Bajo                      | Es difícil hacer participar al agricultor                         |   |   |  |   |  |

Tabla 2.1 Como prevenir inundaciones mediante una buena planeación

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## 2.6 ¿QUE HACER EN CASO DE INUNDACIÓN?

Recomendaciones de seguridad en caso de una inundación.

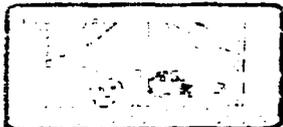
¿Vive usted en una zona que frecuentemente se inunda?

Si es así: siga los siguientes pasos.

Fuente Cenapred.



Localice rutas hacia los lugares más altos de la región y téngalas bien memorizadas.



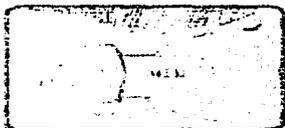
Si tiene niños pequeños, no los deje solos durante la época de lluvias; si lo hace, informe a algún vecino de esta situación.



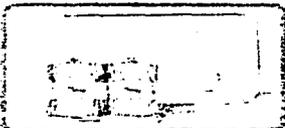
Durante la temporada de lluvias mantenga almacenada una reserva de agua potable, alimentos y ropa, en lugares bien resguardados.



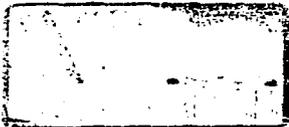
Guarde sus documentos personales (Cartilla del Servicio Militar Nacional, Certificados de Estudios, Actas de Nacimiento, etc.); en bolsas de plástico para evitar su pérdida o destrucción.



Tenga disponible una lámpara de mano, radio portátil y pilas suficientes.



Manténgase informado a través del radio portátil de los avisos sobre una posible inundación.



Cuando sea avisado que una inundación amenaza y puede afectar la zona donde usted vive, desconecte los servicios de gas y energía eléctrica.

#### DURANTE LA INUNDACIÓN

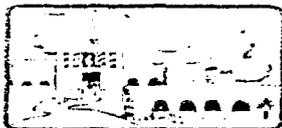


Ante todo conserve la calma y esté pendiente de los avisos oficiales.



Manténgase alerta escuchando los avisos sobre la inundación, en su radio portátil. Respete las indicaciones de las autoridades.

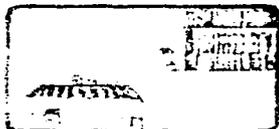
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Prepárese para trasladarse a un lugar seguro, si llegara a ser necesario.



No se acerque a postes o cables de electricidad averiados, recuerde que el agua es conductora de electricidad.



Si su casa es de palapa, carrizo, adobe o lámina de cartón, busque refugio en lugares más seguros.



Como Escuelas, Iglesias o el Palacio Municipal, siempre y cuando estos lugares se encuentren fuera de peligro. Lleve consigo sólo lo indispensable.



Evite caminar por zonas inundadas; aunque el nivel de agua sea bajo puede subir rápidamente, aumentando el peligro.

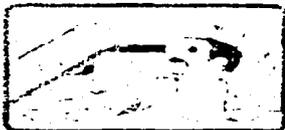
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



No utilice su automóvil, sólo que sea indispensable. Es muy difícil conocer las condiciones del camino inundado y puede ocurrirle un accidente grave.

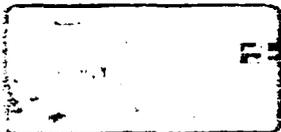


Si su vehículo llegara a quedar atrapado, salga de él y busque un refugio seguro. Suba al lugar más alto posible y espere a ser rescatado.



Tome en cuenta que en una inundación usted puede ser golpeado por el arrastre de árboles, piedras, o animales muertos. Evite cruzar cauces de ríos.

#### DESPUÉS DE LA INUNDACIÓN

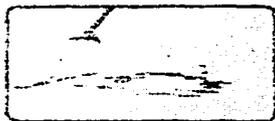


Revise su vivienda teniendo en cuenta la posibilidad de un derrumbe. Si tiene duda sobre el estado de su casa, solicite apoyo a las autoridades.



No se acerque a casas y edificios en peligro de derrumbarse.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



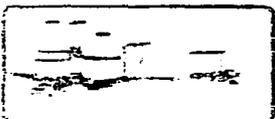
Limpie inmediatamente las sustancias inflamables, tóxicas, medicamentos u otros materiales que se hayan derramado.



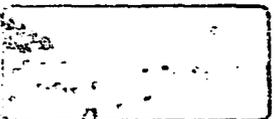
No pise, ni toque cables eléctricos caídos.



No regrese a la zona afectada hasta que las autoridades indiquen que no hay peligro, ni ocupe su casa hasta estar completamente seguro de que se encuentra en buenas condiciones para ser habitada.



No tome agua ni alimentos que hayan estado en contacto directo con el agua de la inundación. Utilice sus reservas de agua potable y alimentos previamente almacenados.



Manténgase alejado de la zona de desastre. Su presencia podría entorpecer el auxilio y asistencia de las personas afectadas.



No mueva heridos, reporte a las autoridades las emergencias que lo ameriten.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



# CAPITULO 3

## HIDROLOGÍA DE LAS INUNDACIONES

---

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

48-A



## HIDROLOGÍA DE LAS INUNDACIONES.<sup>23</sup>

### 3.1 LA CUENCA.

Para llegar a la realización de una obra de control<sup>24</sup> o uso<sup>25</sup> del agua en un sitio determinado, se requiere verificar el gasto máximo de diseño proveniente de la cuenca de drenaje en cuestión. Para tal efecto, es necesario efectuar una serie de estudios de carácter social, económicos y técnicos con los cuales se llega a conocer todo tipo de información para su mejor planeación y seguridad del proyecto, garantizando así, una máxima seguridad, la manera más conveniente de recuperar la inversión y a futuro la forma de solucionar problemas de operación y conservación.

Lo anterior hace importante el estudio de la cuenca, definiendo así sus principales parámetros. Se denomina cuenca de un río, en un punto dado de su curso, a la zona interior de la superficie terrestre, dentro de la cual las gotas de lluvia que caen sobre ella fluyen (son drenadas por el sistema de corrientes) hacia ese punto del río (punto de salida).

Si el suelo es impermeable, los límites de la cuenca quedan definidos topográficamente por la línea de cresta (divisoria), que la separa de la cuenca adyacente. Es decir, está limitada por un parteaguas, que es una línea imaginaria que encierra a todos los tributarios<sup>26</sup> la cual corta a la curva de nivel, en los puntos altos, donde esta es convexa (sentido del escurrimiento) y separa la cuenca de las cuencas vecinas.

Asociada a cada cuenca superficial, en suelos permeables, existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial y puede no coincidir con esta.

En la práctica, y en especial para grandes cuencas, se admite que la cuenca de aguas subterráneas coincida con la superficial (topográfica). Esta simplificación, cuyo origen se encuentra en la dificultad de la determinación de la divisoria de las aguas subterráneas, puede conducir a grandes errores en cuencas de pequeño tamaño.

La disposición de un sistema de drenaje natural, está por regla general, fija en parte por la estructura geológica y fisiográfica de la cuenca en estudio. Tales características gobiernan comúnmente la posición del parteaguas en los orígenes de las cuencas, mientras

<sup>23</sup> Tomando en cuenta que la Hidrología nos sirve como una herramienta para el estudio de las Inundaciones ya que es una ciencia que estudia los cambios del agua.

<sup>24</sup> Tal como el drenaje, el control de crecientes y la prevención de inundaciones.

<sup>25</sup> Tal como el suministro de agua doméstica e industrial, la generación hidroeléctrica, la recreación, el mejoramiento de la vida silvestre, el aumento de los caudales bajos para el manejo de la calidad del agua y el manejo integral de la cuenca.

<sup>26</sup> Permite la contribución de todas las corrientes superficiales de agua al cauce principal.

que los linderos naturales pueden quedar limitados bien sea por la estructura geológica o por la erosión; que en las cuencas chicas constituye el factor dominante.

Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente tres tipos de cuenca:

1. **Endorreicas.** No tiene salida al mar por lo que el punto de salida esta dentro de los límites de la cuenca, generalmente desembocan en un lago, laguna o el agua se infiltra.
2. **Exorreicas.** El punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y esta descarga a otras corrientes o al mar.
3. **Triptorreicas.** El drenaje es subterráneo.



Fig. 3.1 Cuenca Endorreica

Este diagrama muestra una cuenca exorreica. Una línea irregular representa el límite de la cuenca. Una línea con flechas indica el flujo de agua desde el interior de la cuenca hacia un punto etiquetado como 'Corriente o mar' que se encuentra fuera de los límites de la cuenca.

Corriente o mar

Fig. 3.2 Cuenca Exorreica

### Características Fisiográficas de la Cuenca y de los Cauces.

Las características físicas de una cuenca constituyen elementos que tienen una estrecha correspondencia con el régimen hidrológico, de ahí que el conocimiento de éstas sea de gran utilidad práctica, pues ayudan a establecer relaciones y comparaciones de ellas con datos hidrológicos conocidos, para determinar indirectamente los valores hidrológicos en secciones o sitios de interés práctico en los que faltan datos, o bien, en donde por causas

de índole fisiográfica o económica, no sea factible la instalación de estaciones hidrométricas. Se puede decir que estos elementos físicos constituyen la posibilidad más conveniente de conocer la variación en el espacio de los elementos de régimen hidrológico.

Para la determinación de estos parámetros físicos se precisa especialmente de cartas topográficas e hidrológicas; aunque también son de gran utilidad las climatológicas, geológicas o de uso de suelo.

Los cauces quedan caracterizados por el tipo de corriente, sus pendientes, su longitud, su grado de bifurcación, densidad de corrientes y densidad de drenajes.

Las características de la cuenca y de los cauces son:

Tabla 3.1

| CUENCA                  | CAUCE                         |
|-------------------------|-------------------------------|
| Localización Geográfica | Longitud del Cauce Principal  |
| Ubicación               | Pendiente del Cauce Principal |
| Orientación             | Red de Drenaje                |
| Tipo De Suelo           | Orden de la Corriente         |
| Uso De Suelo            | Relación de Bifurcación       |
| Perímetro               | Longitud de Tributarios       |
| Área                    | Densidad de Corrientes        |
| Tamaño                  | Densidad de Drenajes          |
| Forma                   |                               |
| Pendiente Media         |                               |
| Elevación Media         |                               |
| Curva Hipsométrica      |                               |

#### Características Fisiográficas de la Cuenca.

**Parteaguas** Es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas.

**Localización Geográfica** de la cuenca en el punto de interés se da por las coordenadas geográficas (latitud y longitud) y por el número de la carga topográfica.

**Ubicación de la Cuenca** debe ser con respecto a las regiones hidrológicas de la República

Orientación afecta las pérdidas por transpiración y evaporación debido a la influencia que tiene en la cantidad de calor solar que recibe una cuenca. Por ejemplo, en las cuencas ubicadas en las regiones frías, la dirección de la pendiente resultante de la cuenca hacia el sur o norte tiene influencia en el tiempo de deshielo de las nieves acumuladas en dicha cuenca y por lo tanto, en el volumen con que la nieve contribuye al escurrimiento superficial.

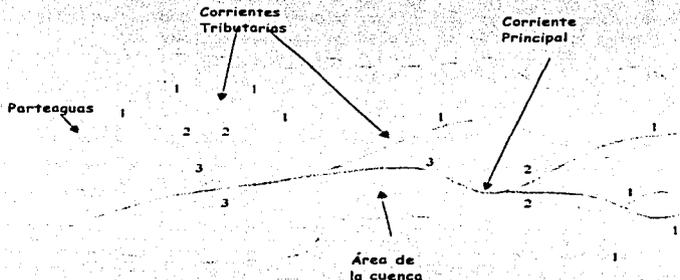


Fig. 3.3 Características fisiográficas de la Cuenca

La **Corriente Principal** de una cuenca es la corriente que pasa por la salida de la misma (cuencas exorreicas solamente). Las demás corrientes de una cuenca de este tipo se denominan corrientes tributarias. Todo punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación, y toda cuenca tiene una y solo una corriente principal. Las cuencas correspondientes a las cuencas tributarias o a los puntos de salida se llaman cuencas tributarias o subcuencas.

Entre mayor sea el número de corrientes tributarias que tenga una cuenca, es decir entre mayor sea el grado de bifurcación de su sistema de drenaje, más rápida será su respuesta a la precipitación, para ello, existen ciertos números de indicadores de dicho grado de bifurcación y son:

**Orden de Corrientes** Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 tiene solo tributarios de primer orden. Dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, y una de orden 2 con una de



orden 3 forman, una de orden 3. El orden de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida.

**Tipo Predominante de Suelo**, influye debido a las diferentes capacidades de infiltración que a su vez son el resultado de las propiedades mecánicas del mismo, con el tamaño de los granos del suelo, el modo en que están agrupados y de las formas y arreglo de sus partículas. Los suelos con material coloidal se expanden o contraen con los cambios de los contenidos de agua, afectando así su capacidad de infiltración. La porosidad afecta la infiltración y la capacidad de almacenamiento de los suelos y varía mucho con los diferentes tipos. La porosidad no depende del tamaño de las partículas, sino más bien de su arreglo, forma y grado de compactación.

**Uso de Suelo**, es uno de los más importantes, ya que de las características físicas (textura, profundidad, densidad, etc.) y químicas (riqueza en elementos nutritivos, ph, salinidad, etc.), depende el desarrollo de la vegetación espontánea, o cultivada, y de ahí su gran influencia en su balance hídrico, dado que los volúmenes de agua consumidos en la transpiración y en el desarrollo de las plantas (evapo-transpiración), pueden ser muy importantes. Y por otra parte, su influencia en el escurrimiento es grande, ya que la vegetación densa, especialmente la del tipo herbáceo, ofrece una gran resistencia al escurrimiento del agua por la superficie del terreno. Este factor está íntimamente ligado al de la infiltración y la capacidad de retención del suelo.

**Perímetro de la Cuenca** es la longitud obtenida siguiendo con un curvímeter y tomando en cuenta la escala en la carta topográfica, en el contorno del parteaguas.

**Área de la Cuenca de drenaje** de una corriente, esta definida por la superficie de la proyección horizontal en la planta determinada y delimitada por el parteaguas y es importante desde varios puntos de vista, aun cuando la cuenca de drenaje superficial no coincide con la cuenca de drenaje subterránea, ya que esta última depende de la formación geológica del subsuelo.

Estos puntos de vista son:

1. Constituye un valor que sirve de base para calcular otros elementos.
2. Generalmente los caudales crecen a medida que aumenta el área.
3. El crecimiento del área de una cuenca actúa como un factor de compensación de manera que es más fácil que se presenten avenidas pronunciadas en cuencas pequeñas que en grandes. El área se determina con ayuda de un planímetro.

**Tamaño de la Cuenca** afecta la magnitud de las avenidas y de los escurrimientos mínimos y medios en formas muy diversas, por lo tanto, sus efectos deben considerarse debidamente. Las cuencas de captación de la red de drenaje se subdividen dos grupos: grandes y chicas



según su extensión y sus características más relevantes.

En una cuenca chica, la variación y la cantidad de escurrimiento están muy influenciados por las condiciones físicas del suelo y la cubierta vegetal, por lo que el escurrimiento superficial es más dominante que el efecto de almacenamiento, y este tendrá mayor sensibilidad a lluvias de alta intensidad y corta duración.

En las cuencas grandes el efecto de almacenamiento es pronunciado y esa sensibilidad de las cuencas chicas disminuye.

Tabla 3.2

| TAMAÑO DE LA CUENCA         | ÁREA EN Km <sup>2</sup> |
|-----------------------------|-------------------------|
| Cuenca Muv Pequeña          | Menor Que 25            |
| Cuenca Pequeña              | 25 A 250                |
| Cuenca Intermedia - Pequeña | 250 A 500               |
| Cuenca Intermedia - Grande  | 500 A 2500              |
| Cuenca Grande               | 2500 A 5000             |
| Cuenca Muy Grande           | Mayor A 5000            |

La Forma de la Cuenca, este factor con el de la pendiente transversal gobierna la rapidez con que el agua es aportada a la corriente o cauce a medida que sigue su curso desde el nacimiento de ésta hasta su descarga.

La forma de la cuenca está dada por la que tiene el parteguas de la misma (ésta puede ser alargada, circular o achatada) y aunque la mayoría de las cuencas tienden a una forma de pera, las condiciones geológicas afectan de distinta manera, es esta la razón por lo que la forma que tiene la cuenca afecta a los hidrogramas de escurrimiento y las tasas de flujo máximo.

Se han encaminado numerosos esfuerzos para tratar de determinar el efecto de la forma por medio de un solo valor numérico, lo que ha llevado a las siguientes relaciones (que toman como referencia el área de una cuenca circular, debe ser igual al área de la cuenca en estudio). Para las relaciones siguientes se tiene que:

- A es el área de la cuenca en Km<sup>2</sup>.
- P es el perímetro de la cuenca en Km.
- L es la longitud del cauce principal en Km.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Índice de la forma If

$$If = \frac{A}{L^2} \quad (3.1)$$

Si  $I_f < 0.7853$  la forma es alargada

Si  $I_f = 0.7853$  la forma es circular

Si  $I_f > 0.7853$  la forma es achatada

Relación de enlogación ( $Re$ )

$$Re = 1.1284 \left( \frac{A}{L} \right) \quad (3.2)$$

Si  $Re < 1$  la forma es alargada

Si  $Re = 1$  la forma es circular

Si  $Re > 1$  la forma es achatada

Coefficiente de Capacidad ( $Cc$ )

$$Cc = 0.282 \left( \frac{P}{A} \right) \quad (3.3)$$

Si  $Cc > 1$  la forma es alargada

Si  $Cc = 1$  la forma es circular

Si  $Cc < 1$  la forma es achatada

Relación de circularidad ( $Rc$ )

$$Rc = 2.5663 \left( \frac{A}{P^2} \right) \quad (3.4)$$

Si  $Rc < 1$  la forma es alargada

Si  $Rc = 1$  la forma es circular

Si  $Rc > 1$  la forma es achatada

Pendiente media de la cuenca ( $Sc$ ), constituye un elemento importante, en el efecto del agua al caer a la superficie; por la velocidad que adquiere y la erosión que produce.

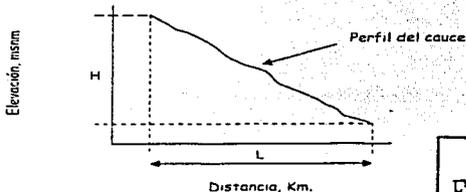


Fig. 3.4 Pendiente de la Cuenca

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Elevación Media de la Cuenca, son factores relacionados con la temperatura y la precipitación, especialmente la fracción de la cantidad total de esta última que cae en forma de nieve.

Curva Hipsométrica, se puede construir midiendo con un planímetro el área entre contornos de un mapa topográfico y representando en una gráfica el área acumulada por encima o debajo de una cierta elevación

Dentro de los métodos para evaluar la cuenca se encuentran:

#### Método de Alvord.

Es uno de los más sencillos para conocer la pendiente media de la cuenca y su expresión es la siguiente:

$$s_c = \frac{D \cdot L}{A} \quad (3.5)$$

donde:

D es el valor del desnivel constante, entre las curvas de nivel en Km.

L es la suma de las longitudes de las curvas de nivel que se encuentran dentro de la cuenca en km.

$$L = \sum_{j=1}^n L_j$$

A es el área de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

#### Método de Horton.

Para calcular la pendiente media de la cuenca por este medio, se traza, sobre el plano topográfico de la cuenca, una malla fina de cuadros, que tenga un promedio de 100 intersecciones dentro de la cuenca (de acuerdo con la escala del plano) y orientada en el sentido de la corriente principal.

Una vez hecho lo anterior, se mide la longitud de cada línea de la malla comprendida dentro de la cuenca y se cuentan las intersecciones y tangencias de esa línea con las curvas de nivel, entonces la pendiente de la cuenca en cada dirección de la malla se calcula como:

$$s_x = \frac{N_x \cdot D}{L_x} \quad \text{y} \quad s_y = \frac{N_y \cdot D}{L_y} \quad (3.6)$$



donde:

- D Es el valor de desnivel constante, entre las curvas de nivel en km.
- $L_x$  y  $L_y$  Son la longitud total de las líneas de la malla en la dirección x, y respectivamente comprendidas dentro de la cuenca y en km.
- $N_x$  y  $N_y$  Es el número total de intersecciones y tangencias de las líneas de la malla de intersección x, y respectivamente con las curvas de nivel.
- $S_x$  y  $S_y$  Es el valor de la pendiente en dirección x, y respectivamente.

Finalmente Horton considera que la pendiente media de la cuenca se puede determinar con la expresión:

$$S_c = \frac{D \cdot L}{A} \quad (3.7)$$

donde:

$$L = \sum L_x + \sum L_y \quad \text{y} \quad N = \sum N_x + \sum N_y + \sum N_x$$

Se sugiere reportar los cálculos en una tabla como la siguiente:

Tabla 3.3

| No. de línea de la malla | Intersecciones | Longitudes en Km. |            |            |
|--------------------------|----------------|-------------------|------------|------------|
|                          | $N_x$          | $N_y$             | $L_x$      | $L_y$      |
|                          | $\sum N_x$     | $\sum N_y$        | $\sum L_x$ | $\sum L_y$ |
|                          | N              | L                 |            |            |

#### Método de Nash.

Análogo al criterio de Horton, se requiere trazar una malla de cuadros sobre el plano topográfico de la cuenca de manera que se obtenga aproximadamente 100 intersecciones.

En cada intersección se mide la distancia mínima entre curvas de nivel y la pendiente en ese punto, se considera como la relación entre el desnivel (de las curvas de nivel) y la mínima distancia medida. Así se calcula la pendiente de cada intersección y su medida se considera la pendiente media de la cuenca.



Cuando una intersección ocurre en un punto entre dos curvas de nivel del mismo valor la pendiente se considera nula y ese punto no se toma en cuenta para el cálculo de la media.

La expresión de cálculo es la siguiente:

$$S_c = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\sum \text{No. de intersecciones (n)}} \quad (3.8)$$

Corriente principal de una cuenca es la corriente que pasa por la salida de la misma y las demás corrientes se denominan corrientes tributarias.

Considérese que todo punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación y toda cuenca tiene una y solo una corriente principal. Las cuencas correspondientes a las corrientes tributarias o a puntos de la salida de la cuenca, se llaman cuencas tributarias o subsecuentes.

El valor de la longitud del cauce principal se determina por medio de un curvómetro y es necesario conocerlo por que nos ayuda a determinar otros parámetros tales como la forma de la cuenca y el perfil del cauce.

La pendiente del cauce principal es uno de los indicadores mas importantes del grado de respuesta de una cuenca, a una tormenta, ya que tiene influencia significativa sobre la duración del escurrimiento por la superficie del suelo ligada con la magnitud de las avenidas que en este pueden escurrir. Dado que esta pendiente varia a lo largo del cauce principal es necesario definir una pendiente media, para lo cual existen diversos métodos entre los que tenemos:

#### Método Analítico.

Se toma el desnivel topográfico (AH) en metros, obtenido de las curvas de nivel (de la carta topográfica) entre el inicio y el final del cauce y se divide entre su longitud (L) en metros.

$$s = \frac{AH}{L} \quad (3.9)$$

La pendiente (s) adimensional, así obtenida, es muy burda.

#### Método de Compensación de Áreas. (Método Gráfico).

Para la aplicación de este método, se necesita conocer el perfil longitudinal del cauce, es decir, la grafica de la longitud del cauce contra su elevación. Una vez hecho lo anterior se

trata de trazar una línea recta inclinada sobre el perfil del cauce, de tal manera que quede aproximadamente compensada el área bajo y sobre la recta.

#### Criterio de Taylor y Schwarz.

Este método es más preciso que los anteriores y para el cálculo de la pendiente media, se necesita conocer el perfil longitudinal del cauce, ya que considera que el río está formado por una serie de canales con pendiente uniforme, los cuales tendrán la misma longitud y el tiempo de recorrido totales de la corriente en estudio. La ecuación que permite lo anterior es la siguiente:

$$S = \left[ \frac{m}{s_1 + s_2 + \dots + s_n} \right]^2 \quad (3.10)$$

donde:

$m$  = Número de segmentos iguales, en los cuales se divide el río.

$s$  = Pendiente media del río.

$s_m$  = Pendiente de cada segmento que se obtiene de acuerdo con el método analítico

$$s_m = \frac{\Delta H}{L}$$

$$R_b = \frac{\text{No. de corrientes de orden } i}{\text{No. de corrientes de orden } i + 1}$$

Se puede utilizar una tabla como la siguiente:

Tabla 3.4

| Tramo | Elevaciones ( m ) | $s_m = \frac{\Delta H}{L}$ | $s$        | $i$<br>$s$ |
|-------|-------------------|----------------------------|------------|------------|
|       | Inicio            | Final                      | $\Delta H$ |            |

En la red de drenaje el arreglo o disposición de las corrientes naturales dentro de la cuenca tienen mucha importancia ya que si la cuenca está bien drenada, la longitud del escurrimiento superficial es corta y el caudal se concentra rápidamente. Las avenidas son grandes en relación con la superficie total de la cuenca y la intensidad de la lluvia que las origina. En otras palabras, entre más eficiente es la red de drenaje natural, más rápido será el escurrimiento en los cauces o corrientes y viceversa (eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante).



Por otra parte la forma de drenaje proporciona indicios de las condiciones del suelo y superficie de la cuenca. Las características de una red de drenaje se describen de acuerdo con la extensión de la red hidrográfica que implica conocer el orden de las corrientes, la relación de bifurcación, la longitud de tributarios, la densidad de corriente y la densidad de drenaje.

Toda corriente o cauce natural tiene sus tributarios los que a su vez tienen otros, como regla general entre más grande es una corriente mayor es el número de ramales o bifurcaciones a que ella concurre.

El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca, el procedimiento más común para esta clasificación es considerar como corriente de orden 1, aquella que no tiene ningún tributario; de orden 2, a las que tienen tributarios de orden 1; de orden 3, aquellas corrientes con 2 o más tributarios de orden 2. Así el orden de la corriente principal indica la extensión de la red de corrientes dentro de la cuenca.

El orden de la cuenca es el mismo que de una corriente. Un orden de corriente alto refleja una cuenca altamente disectada, que corresponde rápidamente a una tormenta. Un orden de corriente pequeño se observa en donde los suelos son muy resistentes a la erosión o muy permeables y donde este indicador es elevado los suelos se erosionan fácilmente o son relativamente impermeables, las pendientes son altas y la cobertura vegetal es escasa.

Las corrientes se pueden clasificar como efímera, intermitente y perenne (lleva agua todo el año).

Horton introdujo el concepto de relación de bifurcación, para definir la relación entre el número de ríos de cualquier orden y el número de cauces en el siguiente orden inferior. Las relaciones de bifurcación dentro de una cuenca tienden a ser de la misma magnitud; generalmente, valores entre dos y cuatro con un valor promedio de 3.5.

La expresión que permite el cálculo de la relación de bifurcación ( $R_b$ ) es la siguiente:

$$R_b = \frac{\text{No. de corrientes de orden } i}{\text{No. de corrientes de orden } i + 1} \quad (3.11)$$

La longitud es un índice de la pendiente de la cuenca, así como el grado de importancia y extensión del drenaje superficial, ya que las cuencas escarpadas con buena pendiente y bien drenadas superficialmente, generalmente tienen numerosos tributarios, mientras que en aquellas con topografía plana donde los suelos sean profundos y permeables los cauces largos tienen pocos ramales y son los únicos que conducen los caudales superficiales en forma permanente. Solo se consideran las corrientes perennes intermitentes.



La corriente principal se cuenta como una sola desde su nacimiento hasta su desembocadura, después se obtendrán todos los tributarios de orden inferior desde su nacimiento hasta la unión con el cauce.

Se puede uno auxiliar con la siguiente tabla:

Tabla 3.5

| Orden de la Corriente | No. de Corrientes | Longitud en Km. |
|-----------------------|-------------------|-----------------|
|                       |                   |                 |
|                       |                   |                 |
|                       | $\Sigma N_s$      | $\Sigma L_s$    |

La densidad de corriente ( $D_s$ ) varía inversamente con la longitud de recorrido que siga el escurrimiento superficial por lo que permite tener una idea de la eficiencia del drenaje. En las zonas permeables y topografía plana una gran parte de la precipitación se infiltra y posteriormente se almacena en el suelo hasta encontrar salida hacia las corrientes de otras cuencas adyacentes, o a lagos o al mar en vez de escurrir por el suelo, para llegar a los cauces existentes en la cuenca.

La expresión de cálculo es:

$$D_s = \frac{N_s}{A} \quad (3.12)$$

donde:

$N_s$  es la sumatoria del número de corriente de la cuenca  
 $A$  es el área de la cuenca en  $Km^2$ .

La densidad de drenaje ( $D_d$ ) se define como la longitud de corrientes por unidad de área

$$D_d = \frac{L_s}{A} \quad (3.13)$$

donde:

$L_s$  es la longitud de corriente  
 $A$  es el área de la cuenca en  $Km^2$ .

Una densidad alta refleja una cuenca bien drenada que debería responder relativamente rápida al flujo de la precipitación. Una cuenca con baja densidad es pobremente drenada con respuesta hidrológica lenta. Ocurren densidades de drenaje bajas, en los sitios donde los materiales del suelo son permeables y el relieve es bajo. Los valores altos de densidad reflejan generalmente áreas con suelos fácilmente erosionables o impermeables con

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



pendientes fuertes y escasa cobertura vegetal.

### 3.2 PRECIPITACIÓN.

Es el agua que recibe la superficie terrestre en cualquier estado físico, proveniente de la atmósfera.

Para que se origine la precipitación debe producirse previamente la condensación del vapor atmosférico y esto generalmente sucede por enfriamiento de una parte de la atmósfera.

#### Tipos de Precipitación.

De acuerdo con los fenómenos hidrometeorológicos que les dan nacimiento o acompañan, se pueden dividir las precipitaciones en diferentes clases:

#### Precipitaciones por Convección.

Estas precipitaciones son características de las regiones ecuatoriales donde, a consecuencia de la debilidad habitual de los vientos, los movimientos del aire son esencialmente verticales; en estas regiones las nubes se forman en el curso de la mañana bajo la acción de la insolación intensa, y dan por la tarde o anochecer violentos aguaceros acompañados de relámpagos y truenos; más tarde, en la noche las nubes se disuelven en la atmósfera y al salir el sol, el cielo esta generalmente claro; este proceso generalmente produce la mayor parte de los 2500 mm de lluvia que caen anualmente en promedio en la vecindad del ecuador. Precipitaciones por convección tienen lugar igualmente en la zona templada, en los periodos calientes, casi únicamente bajo la forma de tempestades de verano locales y violentas.

#### Precipitación Orográfica.

Cuando los vientos cargados de humedad ( soplando ordinariamente del océano a tierra) encuentran una barrera montañosa o pasan de la zona de influencia de un mar relativamente caliente a la de vastas extensiones de suelo más frío las masas de aire húmedo tienen tendencia a elevarse y el estado de calma relativa que de ello resulta produce un enfriamiento que puede alimentar la formación de una cobertura nubosa y desatar precipitaciones, estas precipitaciones llamadas orográficas se presentan bajo la forma de lluvia o nieve en las vertientes de la barrera montañosa que están del lado de donde sopla el viento, son muy irregulares en importancia y localización y en ocasiones dependen de las grandes perturbaciones ciclónicas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### **Precipitación Ciclónica.**

La precipitación ciclónica está asociada al paso de los ciclones y esta ligada con los planos de contacto (superficies frontales) entre masas de aire de diferentes temperaturas y contenidos de humedad. Esta precipitación puede no ser frontal y puede ocurrir donde exista una presión barométrica. El levantamiento del aire se origina por convergencia horizontal del mismo hacia una zona de baja presión.

### **Precipitación Frontal.**

La precipitación Frontal es originada por el levantamiento del aire caliente sobre el frío, o cuando el aire se mueve bajo el caliente; si ocurre lo primero se dice que se tiene un frente caliente y si ocurre lo segundo, un frente frío. La precipitación producida por un frente caliente se distribuye sobre una zona bastante grande y es ligera y continua. La precipitación originada por un frente frío es intensa y de corta duración; generalmente se distribuye cerca de la superficie frontal.

### **Formas y Aparatos de Medición.**

La precipitación se mide en términos de la altura de lámina y se expresa comúnmente en milímetros. Los aparatos de medición se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cual se recoge el agua producto de la lluvia u otro tipo de precipitación, registrando su altura. Los aparatos de medición se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones en pluviómetros y pluviógrafos.

Utilizando el pluviógrafo se conoce la intensidad de precipitación  $i$ , que se define como la altura de precipitación entre el tiempo en que se produjo. Los registros de pluviógrafos se pueden transformar y obtener el hietograma de las diversas tormentas medidas. El hietograma es una grafica de barras que indica el incremento de la altura de lluvia o de su intensidad con respecto a un intervalo de tiempo.

### **Análisis de la Precipitación.**

#### **A) Análisis de los Registros de Lluvia en un Punto.**

Debido a la gran escasez de pluviógrafos, generalmente se desconocen las características de las lluvias en una zona determinada, aunque se disponga de pluviómetros. En realidad, el problema que se tiene es que como las lecturas del pluviómetro se hacen cada 24 hrs. no se puede conocer al notar una altura de lluvia registrada en ese periodo, si corresponde a una sola tormenta o a una sucesión de ellas y cual es la duración real de cada una de las mismas.

En el caso de disponer de un pluviógrafo dentro de la zona por analizar, los registros de los

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



pluviómetros se pueden ajustar e inferir la curva masa de la tormenta correspondiente a cada pluviómetro con base en una relación lineal con el registro de pluviógrafo. Se llama curva-masa de lluvia a la representación gráfica de la variación de la altura de lluvia respecto al tiempo. La precisión de esta relación depende de la exactitud de la correlación entre cada estación pluviométrica con la estación pluviográfica. Además, es necesario considerar la distancia entre las estaciones y si estas se encuentran en una zona meteorológicamente homogénea.

Una zona es meteorológicamente homogénea, si la posibilidad de ocurrencia de una tormenta de cualquier intensidad es la misma en todos los puntos de la zona. Lo anterior implica que si la zona es meteorológicamente homogénea, la curva-masa de la lluvia registrada por un pluviógrafo es representativa de la distribución de la tormenta de dicha zona.

**B) Precipitación Media Sobre una Zona.**

En muchos problemas hidrológicos se requiere conocer la altura de precipitación media en una zona, ya sea durante una tormenta, una época del año o un periodo determinado de tiempo.

**C) Relación Entre la Precipitación Máxima Puntual y su Valor Medio en un Área Circundante.**

Al ocurrir una tormenta se presenta un punto en el que la precipitación es máxima y, alrededor de él, dicha precipitación va disminuyendo. La rapidez con la que la disminución se produce es una característica del tipo de tormenta y de la zona en la que ocurre; por ejemplo, para las lluvias de origen ciclónico la disminución es más lenta que en las de tipo convectivo. Por otra parte, para tomar en cuenta la duración de la tormenta, podemos suponer un área fija; resulta fácil comprender que mientras más corta sea la duración y por consiguiente, más intensa la precipitación, será menos probable que ésta cubra toda el área con la misma intensidad máxima observada en un punto dentro de ella.

**D) Precipitación Máxima Probable (PMP).**

Se designa con este término a la máxima altura de lluvia que puede presentarse en una región determinada. Debido a las posibilidades de error en el cálculo de este máximo, ya sea por deficiencias en las mediciones o en los modelos físicos, fue incluida la palabra probable.

**E) Distribución Geográfica de la Precipitación.**

En el país las tormentas más desfavorables que han ocurrido son de origen ciclónico, a

TESS CON  
FALLA DE ORIGEN



excepción del noroeste, donde generalmente ocurren en invierno debido al choque de masas de aire frío continental con masas de aire húmedo.

Además, debido a la variación tan fuerte que existe en la orografía no se puede hablar de una distribución uniforme de la lluvia. En general, se puede decir que las máximas precipitaciones se tienen en la parte sur del país, así como en las vertientes del golfo y del Pacífico, estando limitadas éstas por las cordilleras montañosas.

Para hacerlo se tienen los siguientes criterios:

#### Promedio Aritmético.

Para calcular la altura de precipitación media en una zona empleando el promedio aritmético, se suma la altura de lluvia registrada en un cierto tiempo en cada una de las estaciones localizadas dentro de la zona y se divide entre el número total de estaciones. La precisión de este criterio depende de la cantidad de estaciones disponibles, de la forma como están localizadas y de la distribución de la lluvia estudiada. Es el criterio más impreciso, pero es el único que no requiere del conocimiento de la localización de las estaciones en la zona en estudio.

#### Método de Thiessen.

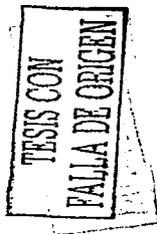
En este criterio, es necesario conocer la localización de las estaciones en la zona bajo estudio, ya que para su aplicación se requiere delimitar la zona de influencia de cada estación dentro del conjunto. Para determinarla, primero se trazan triángulos que ligan las estaciones más próximas entre sí. A continuación se trazan mediatrices a los lados de los triángulos, las cuales forman, junto con los límites de la zona, una serie de polígonos; cada uno de ellos contiene una estación. Cada polígono es el área tributaria de cada estación.

Entonces, la altura de precipitación media es:

$$hp_m = \frac{\sum_{i=1}^n hp_i A_i}{A} \quad (3.14)$$

donde:

- A = área de la zona tributaria, en Km<sup>2</sup>.
- A<sub>i</sub> = área tributaria de la estación i, en Km<sup>2</sup>.
- hp<sub>i</sub> = altura de precipitación registrada en la estación i, en mm.
- hp<sub>m</sub> = altura de precipitación media en la zona de estudio, en mm.
- n = número de estaciones localizadas dentro de la zona.





### Método de Isoyetas.

Para emplear este criterio se necesita un plano de isoyetas de la precipitación registrada en las diversas estaciones de la zona en estudio. Las isoyetas son curvas que unen puntos de igual precipitación. Este método es el más exacto pero requiere de un cierto criterio para trazar el plano de isoyetas. Se puede decir que si la precipitación es de tipo orográfico, las isoyetas tenderán a seguir una configuración parecida a las curvas de nivel. Por supuesto, entre mayor sea el número de estaciones dentro de la zona en estudio, mayor será la aproximación con la cual se trace el plano de isoyetas.

Para calcular la altura de precipitación media en una determinada zona, se usa la ecuación anterior pero en este caso  $A_i$  corresponde al área entre isoyetas,  $h_{p_i}$  es la altura de precipitación media entre dos isoyetas y  $n$  el número de tramos entre isoyetas.

### Curvas Intensidad-Duración-Período de Retorno.

Las características de precipitación en una cuenca pequeña están dadas por las curvas Intensidad-Duración-Período de Retorno, que se relacionan la intensidad de la precipitación con el intervalo de tiempo que dura, con el período promedio que transcurre entre dos precipitaciones de intensidad igual o mayor que la considerada.

Para definir las curvas es necesario contar con el registro del pluviógrafo instalado de preferencia dentro de la cuenca en estudio, y que tenga un período suficientemente grande de registro, de acuerdo con la vida útil de la obra y el período de retorno de diseño que se considere. Generalmente se acepta que se pueden obtener resultados confiables usando métodos probabilísticos para períodos de retorno de hasta el doble de intervalo de tiempo cubierto por los registros, aunque en la práctica se amplía mucho más la aplicación de estos métodos. Del análisis de los registros mencionados se obtienen las intensidades máximas anuales correspondientes a cada duración, las cuales se ordenan de mayor a menor y se calculan sus correspondientes períodos de retorno empíricos mediante la fórmula de Weibull:

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (3.15)$$

donde:

- T = Período de retorno, en años.
- n = Número de años de registro.
- m = Número de orden de la precipitación.

Existen diferentes métodos estadísticos aplicables al análisis de frecuencias de lluvias, pero más ampliamente usado en la actualidad es:

**Método de Gumbel.**

Secuela de cálculo:

1. La información básica se obtiene del boletín hidrológico y de un mínimo de 20 años de registro, entonces

$$n = \text{Número de años de registro.}$$

Se recomienda formar una tabla con tres columnas que contenga:

En la primera columna, el año en que fue observado (en la estación en estudio) el gasto máximo anual; en la segunda columna, el valor del gasto máximo anual  $Q_i$  en  $m^3/s$  y por último en la tercera columna, el valor de  $Q_i^2$ .

Tabla 3.6

| 1                  | 2                                      | 3       |
|--------------------|--|---------|
| Año de Observación | Gasto máximo anual<br>$Q_i$ en $m^3/s$ | $Q_i^2$ |
|                    |  |         |

2. Calcule el gasto medio anual registrado en  $m^3/s$  de la siguiente manera: sumando la columna 2 de la tabla y luego dividiendo el resultado entre el número de años registro ( $n$ ), es decir:

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \quad (3.16)$$

3. El cálculo de la desviación estándar de los gastos  $\sigma_Q$ , en  $m^3/s$  se realiza tomando en cuenta el valor de  $\bar{Q}$  y la suma de la columna 3 (de la tabla paso 1), para substituirlos en la ecuación siguiente:

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2 - n \bar{Q}^2}{n - 1}} \quad (3.17)$$

4. De tablas, se obtiene el valor de los parámetros  $Y_n$  y  $\sigma_n$  que son función exclusivamente del tamaño de la muestra, es decir, del número de años de registro.

 TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



5. Con los valores calculados en los pasos anteriores y definido un período de retorno  $T$  en años, se procede al cálculo del gasto máximo para ese período de retorno, en  $m^3/s$ , sustituyéndolos en la ecuación siguiente:

$$Q_{\max} = \bar{Q} - \frac{\sigma_Q}{\sigma_n} \left[ y_n + \ln\left(\frac{1}{T}\right) \right] \quad (3.18)$$

6. Ahora procedemos a calcular el intervalo de confianza  $(\Delta Q)$ , es decir, aquel dentro del cual puede variar  $Q_{\max}$  de acuerdo con lo siguiente:

Si  $\phi = 1 - \frac{1}{T}$  varía entre 0.20 y 0.80, el intervalo de confianza se calcula con la expresión

$$\Delta Q = \pm n \alpha_m \frac{\sigma_Q}{\sigma_n} \cdot n \quad \text{y si } \phi \text{ es mayor de 0.90 entonces se utiliza } \Delta Q = \pm \frac{1.14 \sigma_Q}{\sigma_n} \text{ la}$$

zona comprendida entre 0.80 y 0.90 se considera de transición, donde  $(\Delta Q)$  es proporcional al calculado con cualquiera de las dos expresiones anteriores, dependiendo del valor de  $\phi$ . En estas expresiones  $n \alpha_m$  es un parámetro función de  $\phi$  y su valor se obtiene de tablas.

7. El gasto máximo de diseño, quedará comprendido entre  $Q_{\max} - \Delta Q$  y  $Q_{\max} + \Delta Q$

#### Método de Nash.

La curva de distribución de probabilidades utilizada por Nash es la misma del método de Gumbel que se acaba de exponer, pero ajustada por mínimos cuadrados en vez de por momentos.

Secuela de cálculo.

1. La información básica se obtiene del boletín hidrológico y de un mínimo de 20 años de registro, entonces

$$N = \text{número de años de registro.}$$

2. Para la aplicación de este método se recomienda construir una tabla de ocho columnas.

3. En la primera columna se ordena en forma decreciente el valor de los gastos máximos anuales en  $m^3/s$ .

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



4. La columna dos es el número de orden progresivo de los datos (rango:  $m_i$ ), resultado de ordenar los gastos en forma decreciente y asignando el número 1 al más grande de los registrados.

5. En la columna tres se calcula el valor  $T_i$ , que se obtiene después de aplicar a cada uno de los gastos  $Q_i$  del registro de la fórmula de Weibull:  $T_i = \frac{N+1}{m_i}$  en donde:  $m_i$  es el rango correspondiente al gasto máximo anual  $Q_i$ .

6. En la columna cuatro se obtiene la relación:

$$\frac{T_i}{T_i - 1} \quad (3.19)$$

7. La columna cinco presenta el cálculo de la constante  $x_i$  para cada gasto  $Q_i$  registrado, en función de su período de retorno correspondiente. Las  $x_i$  se obtienen sustituyendo los valores de la columna cuatro en la siguiente expresión:

$$x_i = \ln \ln \left( \frac{T_i}{T_i - 1} \right) \quad (3.20)$$

8. El cálculo del gasto medio anual registrado, en  $m^3/s$  se realiza de la siguiente manera: Sumando la columna uno de la tabla y luego dividiendo el resultado entre el número de años de registro (N), es decir:

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i \quad (3.21)$$

9. Se procede de igual manera con la columna cinco de la tabla para obtener el valor medio de las constantes de gasto  $\bar{x}$  de acuerdo con la expresión:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (3.22)$$

10. Ahora se evalúan los parámetros  $a_0$  y  $c_0$ , con base es el registro de gastos máximos anuales, en la forma siguiente:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$c_0 = \frac{\sum_{i=1}^N x_i Q_i - N \bar{x} \bar{Q}}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - N \bar{x}^2} \quad \text{y} \quad a_0 = \bar{Q} - c_0 \bar{x} \quad (3.23)$$

Para tal efecto en la columna seis se puede colocar el cálculo  $Q_i^2$ , en la columna siete el de  $Q_i x_i$  y en la última columna, en la ocho el valor de  $x_i^2$ , para luego substituirlos en las ecuaciones anteriores.

11. Con los valores calculados en los pasos anteriores y definido un período de retorno T en años, se procede al cálculo del gasto máximo para ese período de retorno, en  $m^3/s$ , substituyéndolos en la ecuación siguiente:

$$Q_{\text{máx}} = a_0 + c_0 \ln \left( \frac{T}{T_i - 1} \right) \quad (3.24)$$

12. Ahora procedemos a calcular el intervalo de confianza ( $\Delta Q$ ) en  $m^3/s$ , es decir, aquel dentro del cual puede variar  $Q_{\text{máx}}$  de acuerdo con lo siguiente:

$$\Delta Q = 2 \frac{S_{qq}}{N^2(N-1)} + (x - \bar{x})^2 \frac{1}{N-2} \frac{1}{S_{xx}} \left( S_{qq} - \frac{S_{xq}^2}{S_{xx}} \right) \quad (3.25)$$

donde:

$$S_{xx} = N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2$$

$$S_{qq} = N \sum Q_i^2 - (\sum Q_i)^2$$

$$S_{xq} = N \sum Q_i x_i - (\sum Q_i)(\sum x_i)$$

13. El gasto máximo de diseño, quedará comprendido entre

$$Q_{\text{máx}} - \Delta Q \quad \text{y} \quad Q_{\text{máx}} + \Delta Q$$

Por Mínimos Cuadrados.

De la ecuación  $hp = a + b \log T$  de mejor ajuste en tramos para encontrar los valores de los parámetros a y b mediante la solución del sistema de ecuaciones normales para la recta de mínimos cuadrados

$$x = a + by$$

$$x = Na + b\sum y$$

$$y = a\sum y + b\sum y^2$$

$$a = \frac{(\sum x)(\sum y^2) - (\sum y)(\sum xy)}{N(\sum y^2) - (\sum y)^2} \quad (3.26)$$

$$b = \frac{N(\sum xy) - (\sum y)(\sum x)}{N(\sum y^2) - (\sum y)^2}$$

#### Método de Burkli-Ziegler.

En 1880 el Ingeniero hidráulico A. Burkli-Ziegler publicó, en Zurcú, Suiza, su conocida fórmula para el cálculo de atarjeas y colectores en los sistemas de drenaje. Las observaciones que sirvieron de base en la deducción de la fórmula se efectuaron en áreas relativamente pequeñas, de menos de 20 hectáreas.

No obstante las limitaciones inherentes a su deducción, se ha usado esta fórmula y aun se sigue usando aplicada al drenaje y vías férreas, para cuencas mucho mayores de 20 hectáreas debe evitarse.

La fórmula se expresa como sigue:

$$Q = 0.0278 \frac{ARC^4 S}{A} \quad (3.27)$$

donde:

- Q = gasto de proyecto, en m<sup>3</sup>/s.
- A = área de la cuenca en hectáreas.
- R = intensidad de la lluvia en cm./hr.
- C = coeficiente de permeabilidad del terreno.
- S = pendiente medio del cauce en m/km.
- 0.278 = factor de conversión y de homogeneidad de unidades.

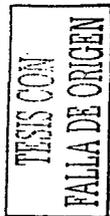




Tabla 3.7

| Clase de Terreno                             | Coefficiente C |
|--|----------------|
| Calles Pavimentadas y distritos comerciales  | 0.75           |
| Calles Ordinarias de la Ciudad               | 0.65           |
| Poblaciones con parques y calles con macadán | 0.30           |
| Terrenos de cultivo                          | 0.25           |

Valores del Coeficiente C de la Formula de Burkli-Ziegler.

Método de Gregory y Arnold.

$$Q = 0.2066(CAR_H F.B.)^{1.429} H^{0.5714} S^{0.2143} \quad (3.28)$$

donde:

- $Q$  = Gasto en  $m^3$  /seg.  
 $C$  = Coeficiente de escurrimiento.  
 $A$  = Área de la cuenca en ha.  
 $R_H = I \times$  = Intensidad media de la lluvia en cm. /hr, para un periodo en horas.  
 $F$  = Factor que depende del coeficiente de rugosidad de los taludes del cauce principal y la relación entre el tirante y ancho del fondo del río.

$$B = \frac{P}{L}$$

donde:

- $P$  = Factor que depende en forma de la cuenca y modo de concentración del agua en ella  
 $L$  = A la longitud del cauce principal en metros.  
 $S$  = Pendiente del cauce principal en millar.

Método de Levediev.

Levediev considero una distribución del tipo III de Pearson, ajustada con base en experiencias obtenidas en ríos soviéticos.

Secuela de cálculo.

1. La información básica se obtiene del boletín hidrológico y de un mínimo de 20 años de



registro, entonces:

$N$  = número de años de registro.

Se recomienda formar una tabla con tres columnas que contenga: en la primera columna, el año en que fue observado (en la estación en estudio) el gasto máximo; segunda columna, el valor del gasto máximo anual  $Q_i$  en  $m^3/s$  y por último en la tercera columna, el valor de:

Tabla 3.8

| 1                  | 2                                      | 3       |
|--------------------|--|---------|
| Año de observación | Gasto Máximo anual<br>$Q_i$ en $m^3/s$ | $Q_i^2$ |

2. Calcula el gasto medio anual registrado, en  $m^3/s$  de la siguiente manera: sumando la columna dos de la tabla y luego dividiendo el resultado entre el número de años de registro ( $N$ ), es decir:

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i \quad (3.29)$$

3. Se obtiene el coeficiente de variación  $C_v$ , adimensionalmente con la siguiente ecuación:

$$C_v = \frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{Q_i}{\bar{Q}} - 1 \right)^2}{N} \quad (3.30)$$

4. Si se quiere se puede agregar cuatro columnas a la tabla arriba mencionada, quedando la columna cuatro para los valores de  $\frac{Q_i}{\bar{Q}}$ , la columna cinco para los de  $\frac{Q_i}{\bar{Q}} - 1$ , la columna seis para los de  $\left[ \frac{Q_i}{\bar{Q}} - 1 \right]^2$  y la columna siete para los de  $\left[ \frac{Q_i}{\bar{Q}} - 1 \right]^3$ . Así el cálculo del paso tres se reduce a sumar la columna de dicha tabla, dividirla entre el número de años del registro y sacar la raíz cuadrada.

5. Ahora se calcula el coeficiente de asimetría  $C_s$ , adimensional; cuando el número de años de registro es mayor que 40, se determina con la ecuación:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{Q_i}{\bar{Q}} - 1 \right)^3}{N C_v^3} \quad (3.31)$$

En caso de que el número de años de observación sea menor que 40, se recomienda además

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



calcular los siguientes valores:

- $C_s = 2C_v$  para avenidas producidas por deshielo,  
 $C_s = 3C_v$  para avenidas producidas por tormentas y  
 $C_s = 5C_v$  para avenidas producidas por tormentas ciclónicas.

El valor de  $C_s$  así calculado se compara con el obtenido de la ecuación anterior y se escoge el mayor.

6. Definido un período de retorno  $T$ , se procede al del coeficiente adimensional  $K$ , el cual depende de la probabilidad  $P$ , expresada en porcentaje de que se presente el gasto correspondiente al período de retorno de que se trate en un año en particular y del coeficiente de asimetría  $C_s$ . Se obtiene de tablas.

$$\left( P = \frac{1}{T} \times 100 \right) \quad (3.32)$$

donde:

$T$  es el período de retorno en años.

7. Con los valores calculados en los pasos anteriores, se procede al cálculo del gasto máximo probable para ese período de retorno, en  $m^3/s$ , sustituyéndolos en la ecuación siguiente:

$$Q_{m\acute{a}x} = \bar{Q}(KC_v + 1) \quad (3.33)$$

8. Ahora procedemos a calcular el intervalo de confianza  $(\Delta Q)$ , en  $m^3/s$ , es decir, aquel dentro del cual puede variar  $Q_{m\acute{a}x}$  de acuerdo con lo siguiente:

$$\Delta Q = \pm \frac{AE_r Q_{m\acute{a}x}}{N} \quad (3.34)$$

donde:

- $A$  = Coeficiente adimensional que varía de 0.7 a 1.5, dependiendo del número de años de registro.  
 $E_r$  = Coeficiente adimensional que depende de los valores de  $C_v$  y de la probabilidad de  $P$ . Se encuentra en forma de gráfica.

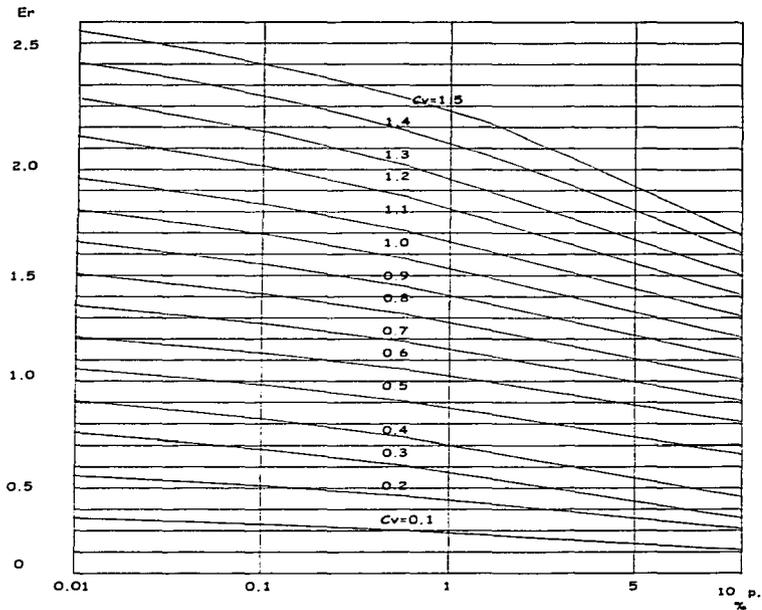
Cuanto más años de registro haya, menor será el valor del coeficiente; si  $N$  es mayor de 40 años, se toma el valor de 0.7.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

9. El gasto de diseño, quedará comprendido entre  $Q_{\text{máx}} - \Delta Q$  y  $Q_{\text{máx}} + \Delta Q$

Tabla 3.9

## METODO DE LEVEDIEV



Valores de  $E_r$ .  
En función de  $C_v$  y  $p$  en porcentaje.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



### 3.3 ESCURRIMIENTO.

Es la parte de la precipitación, así como de cualquier otro flujo contribuyente, drenada por las corrientes superficiales de las cuencas hasta su salida. El agua que fluye por las corrientes proviene de diversas fuentes y con base en ellas, se considera el escurrimiento como:

#### **Escorrimento Superficial.**

El superficial es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo y la red de drenaje hasta salir de la cuenca. Se puede decir que su efecto sobre el escurrimiento total es directo y solo existirá durante una tormenta e inmediatamente después de que esta cese. La parte de la precipitación que contribuye al escurrimiento superficial se determina precipitación en exceso.

#### **Escorrimento Subsuperficial.**

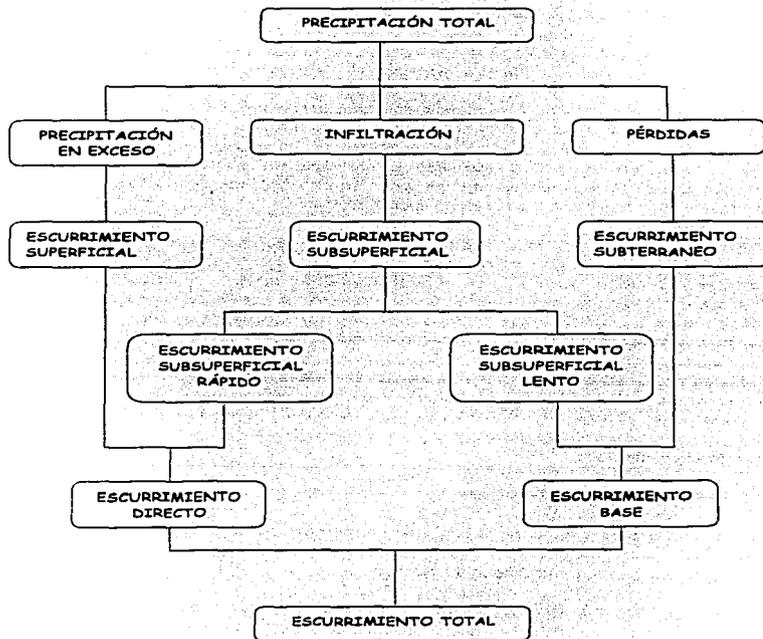
El escurrimiento subsuperficial se debe a la precipitación infiltrada en la superficie del suelo, pero que se mueve sobre el horizonte superior del mismo. Esto puede ocurrir cuando exista un estrato impermeable paralelo a la superficie del suelo; su efecto puede ser inmediato o retardado, dependiendo de las características del suelo. En general, si es inmediato se le da el mismo tratamiento que al escurrimiento superficial, en caso contrario, se le considera como escurrimiento subterráneo.

#### **Escorrimento Subterráneo.**

Es aquel que proviene del agua subterránea, la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra a través del suelo, una vez que este se ha saturado, la contribución del escurrimiento subterráneo al total del escurrimiento varía lentamente con respecto al superficial.

Para analizar el escurrimiento total, puede considerarse compuesto por los escurrimientos directo y base. Este último proviene del agua subterránea y el directo es originado por el escurrimiento superficial.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Cuadro 1 Relación entre la Precipitación y el Escorrimento Totales

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### Descripción del Proceso de Escurrimiento.

El proceso depende de las condiciones existentes y de cantidad de agua producida por la tormenta. De esta forma cuando llueve sobre una zona determinada, parte del agua es interceptada por la vegetación existente en la zona, como son arbustos, árboles o pastos y otra parte se infiltra en el suelo o llena las diferentes depresiones de la superficie.

La primera de estas cantidades se denomina lluvia interceptada y aunque no es muy importante, puede disponer de la mayor parte de una lluvia ligera. La segunda cantidad se llama infiltración, se denomina capacidad de infiltración al máximo volumen de agua que absorbe el suelo en determinadas condiciones; la última cantidad se designa almacenaje por depresión, posteriormente el almacenaje se evapora, es empleado por la vegetación, o se infiltra en el suelo, pero no origina escurrimiento superficial.

En general, debajo de la superficie del suelo hay un manto de agua, cuyo límite superior se denomina nivel freático, a la que se encuentra por debajo de este nivel se le denomina agua subterránea, y a la que se encuentra sobre la humedad del suelo. A la cantidad de agua que cualquier suelo puede retener indefinidamente contra la acción de la gravedad se llama capacidad de campo. La diferencia entre la capacidad de campo de un suelo y la humedad que contenga en un cierto instante, se conoce como diferencia de humedad del suelo.

De acuerdo con esto, cuando ocurre una tormenta, el agua que se infiltra primero satisface la diferencia de humedad del suelo y posteriormente recarga el agua subterránea; por lo tanto, puede ocurrir que muchas veces no exista recarga aunque haya infiltración.

### Análisis de Escurrimientos.

#### A) Características de los Hidrogramas.

El Hidrograma de una corriente es la representación gráfica de sus variaciones de flujo, arregladas en orden cronológico. En general, para expresar el flujo se usa el gasto, que indica el volumen escurrido en la unidad de tiempo.

El Hidrograma puede considerarse como una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que gobiernan las relaciones entre la precipitación y el escurrimiento en una cuenca particular, definiendo las complejidades de dichas características por una sola curva empírica.

#### B) Análisis de Hidrogramas.

El análisis de un hidrograma consiste en separar de él los escurrimientos con base en las diversas fuentes que los originan. Para fines se consideran los escurrimientos base y

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



directo como los componentes principales de un hidrograma.

#### Hidrograma Unitario.

El método del hidrograma unitario, es un procedimiento conveniente y de amplia aceptación para determinar el gasto de diseño en estructuras hidráulicas mayores, pues permite calcular el hidrograma de escurrimiento completo de cualquier lluvia, después de establecer el hidrograma unitario para el área particular en estudio, y se resume con la siguiente expresión:

$$\text{Lluvia efectiva} \times \text{hidrograma unitario} = \text{escurrimiento.}$$

El hidrograma unitario se define como hidrograma de escurrimiento resultante de un  $\text{cm}^{27}$  de lluvia<sup>28</sup> en exceso generada uniformemente sobre toda la cuenca y con intensidad también uniforme durante un período específico de tiempo (duración efectiva).

Una tormenta unitaria tiene una intensidad de precipitación prácticamente constante para su duración,<sup>29</sup> denominada duración unitaria y un volumen de escurrimiento de un centímetro (agua de tirante de un centímetro sobre un área unitaria). La parte importante de la definición no es el volumen sino la constancia de la intensidad.

La concepción del hidrograma unitario, es similar a la determinación de un grupo de factores<sup>30</sup> para un área o cuenca específica, ya que éste, integra aunque no de manera explícita, los muchos y complejos factores que afectan el escurrimiento. Se puede obtener de los datos de lluvia y caudales para una tormenta particular o sólo de los datos de caudales o gastos.

Las suposiciones en que esta basado el desarrollo de la teoría del hidrograma unitario son:

- El exceso de lluvia tiene una intensidad constante de la duración efectiva, lo que supone seleccionar para el análisis, tormentas de corta duración que arrojan un hidrograma bien definido, con pico único y de tiempo base corto.
- El exceso de lluvia está uniformemente distribuido a través de toda el área de drenaje de la cuenca. Esto implica que el área de drenaje debe ser lo bastante pequeña como para que la lluvia sea casi constante en toda el área. Si la cuenca hidrológica es muy grande, el área de drenaje lo es también, en tales casos se

<sup>27</sup> En unidades del SI.

<sup>28</sup> Tormenta unitaria.

<sup>29</sup> Una tormenta unitaria puede tener una intensidad efectiva de 5 cm. por hora y dura 1/2 hora o una intensidad efectiva de 1 cm. por hora y durar cinco horas.

<sup>30</sup> El grupo consiste en un factor por cada variable que afecta el escurrimiento, como por ejemplo, tipo y uso de suelo, condición de la superficie, tamaño y forma de la cuenca, pendiente del terreno, entre otros.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



requiere subdividir el área y después aplicar la teoría del hidrograma unitario a cada subárea.

- El tiempo base del hidrograma de escurrimiento directo es constante para cualquier exceso de lluvia de duración unitaria. Aquí hay que aclarar, que el tiempo de escurrimiento de la tormenta es generalmente incierto, pero depende del método de separación del flujo base. Usualmente el tiempo base es corto.
- Las ordenadas de los hidrogramas para escurrimiento directo de un tiempo base común son directamente proporcionales a la cantidad total de escurrimiento directo representada por cada hidrograma. Esta hipótesis de linealidad o proporcionalidad que permite calcular el escurrimiento para una tormenta de cualquier intensidad o duración, a partir de una tormenta unitaria, la cual tiene intensidad y duración fijas. Una tormenta dada puede resolverse en cierto número de tormentas unitarias. Entonces el escurrimiento puede calcularse con la superposición de ese número de hidrogramas unitarios.

El hidrograma de escurrimiento directo resultante de un exceso de lluvia dado refleja todas las características físicas combinadas de la cuenca. Esta suposición implica que el hidrograma unitario es único para una cuenca dada e invariable con respecto al tiempo (principio de la invarianza temporal). Las variaciones diarias y semanarias en la humedad inicial del suelo y las alteraciones hechas por la mano del hombre (embalses) son, quizá, la fuente más grande de error de este método pues en su mayoría son incógnitas.

El concepto del hidrograma unitario se ha usado de manera muy extensa en prácticamente todo el mundo desde su publicación original. Esta idea se ha ampliado y mejorado de manera considerable desde entonces, haciendo ajustes para situaciones en las cuales el volumen de escurrimiento es diferente de 1 cm. pero no se pueden hacerse correcciones para lluvia con muchas variaciones. A continuación se verán las principales formas de aplicación del concepto.

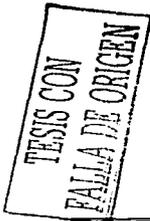
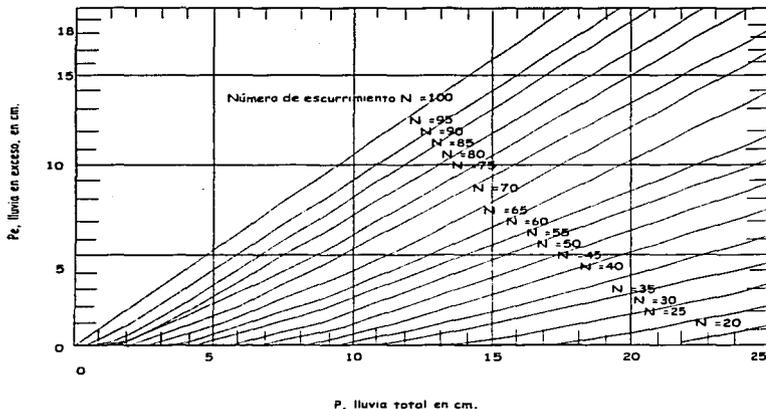


Tabla 3.10



Relación entre la lluvia total y la lluvia en exceso para diferentes números de escurrimiento.

### Hidrograma Unitario Tradicional.

Si una cuenca se conoce como un hidrograma de escurrimiento total y el hidrograma de la tormenta que lo produjo, es posible, separar el escurrimiento base del directo para obtener un hidrograma resultante denominado hidrograma de calibración.

Con el Hidrograma de Calibración, se puede conocer:

El volumen de escurrimiento directo  $V_e$ , en  $m^3$ .

1. El tiempo base  $t_b$ , en horas.

2. La altura de lluvia efectiva  $h_{pe} = \frac{V_e}{A_c}$ , en m. y se expresa en mm.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



3. La duración en exceso  $d_e$  (dada por el hidrograma), en horas.
4. Ahora para determinar el hidrograma unitario: se dividen las ordenadas del hidrograma de escurrimiento directo (hidrograma de calibración) en el valor de  $h_{pe}$ . Este hidrograma unitario es un hidrograma de escurrimiento directo producido por una tormenta unitaria y de forma, tiempo base  $t_b$  y duración  $d_e$  igual al que lo genero (hidrograma de calibración). Lo anterior es posible gracias a las hipótesis de tiempo base constante y linealidad o proporcionalidad.
5. Con el hidrograma unitario es posible determinar hidrogramas de escurrimiento directo de cualquier tormenta cuya duración de lluvia en exceso sea  $d_e$  y cualquier  $h_{pe}$ .
6. Por ejemplo, para una tormenta de duración en exceso  $d_e$  y una altura de precipitación  $h_{pe}$ , se puede obtener el hidrograma de escurrimiento directo que se produciría con esa tormenta si se multiplican las ordenadas del hidrograma unitario del paso cinco por ese valor de  $h_{pe}$ .
7. Aceptando el principio de superposición de causas y efectos, el hidrograma unitario del paso cinco puede usarse para tormentas con la misma duración. Estas ultimas se consideran compuestas por  $n$  tormentas consecutivas, cada una duración en exceso  $d_e$ .

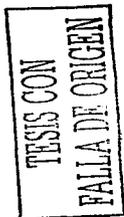
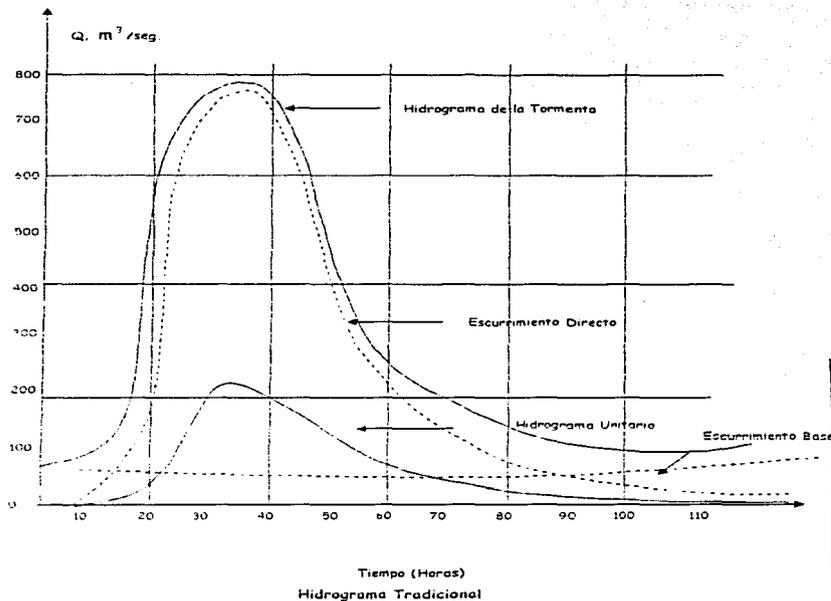


Tabla 3.11



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

### Método de la Curva S.

El método de la curva S es una técnica con la que es posible modificar un hidrograma unitario, construido para una duración en exceso  $d_e$ , para poder usarlo cuando la duración en exceso de la tormenta en cuestión  $d_e$ , no sea múltiplo de  $d_e$ .

Para facilidad de manejo, el hidrograma unitario se expresa con frecuencia en forma de



histograma como una gráfica de distribución. La gráfica de distribución ilustra los porcentajes del escurrimiento total que ocurren durante períodos unitarios sucesivos. La ordenada de cada período unitario es el valor de la media del escurrimiento para ese período.

Dado que el hidrograma unitario se deriva para una tormenta unitaria de duración específica, sólo puede usarse para tormentas divididas en períodos unitarios de esa longitud. Por lo general, debido a las variaciones de esas tormentas, el período unitario puede ser diferente del período para el cual se derivó el hidrograma unitario. Lo anterior se logra al desplazar dos hidrogramas  $S$  por un tiempo igual a la duración del período unitario deseado.

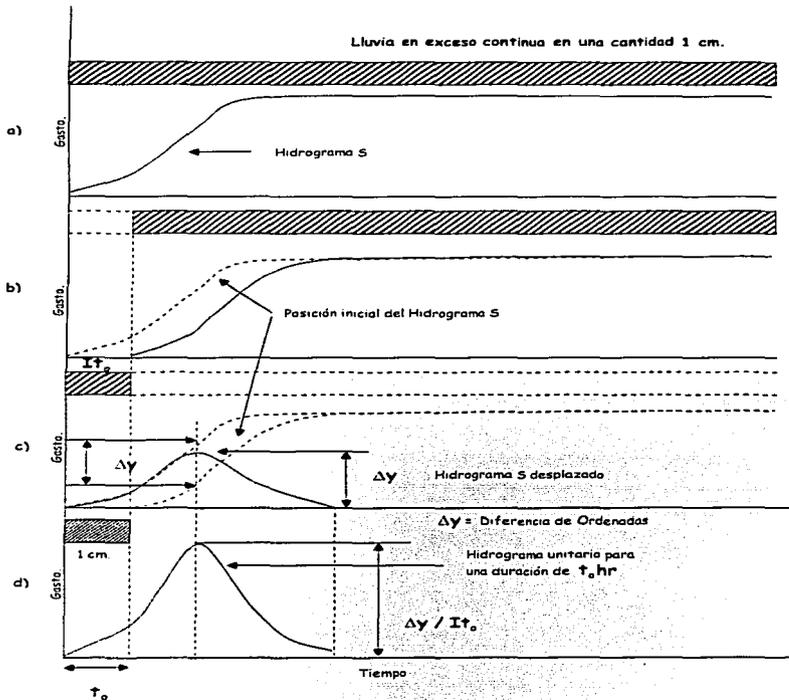
Una curva  $S^{21}$  es una representación de los porcentajes acumulados de escurrimiento que ocurren durante una tormenta que tiene una lluvia constante continua. Se calcula con el trazo acumulativo de los porcentajes de distribución que constituyen la gráfica de distribución. Los porcentajes de distribución para el nuevo hidrograma unitario se determinan al tomar la diferencia entre las ordenadas de la media de las dos curvas  $S$  desplazadas y dividir las entre el nuevo período unitario.

La transposición de un hidrograma de una cuenca a otra similar puede hacerse correlacionando sus correspondientes factores de forma y pendiente. Además como las curvas  $S$  son una característica de una cuenca de drenaje, pueden compararse los de diversas cuencas para obtener una idea de las variaciones que podrán existir cuando se trasponen los datos de una cuenca a otra.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<sup>21</sup> Es un hidrograma formado por la superposición de un número de hidrogramas unitarios suficientes para llegar al gasto de equilibrio  $Q_e = (1cm/d_e)A_c$  Fórmula racional.

Tabla 3.12



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Deducción de un Hidrograma Unitario por medio del Método del Hidrograma S

**Hidrograma Unitario Instantáneo.**

El método del hidrograma unitario instantáneo toma en cuenta la distribución temporal de la lluvia. Normalmente se calcula el escurrimiento directo dado un exceso de lluvia y el hidrograma unitario: el proceso inverso es necesario, para deducir un hidrograma unitario dada una información de lluvia en exceso y el gasto de escurrimiento directo, mediante la solución al sistema de ecuaciones:

$$P[U]=[Q]. \quad (3.35)$$

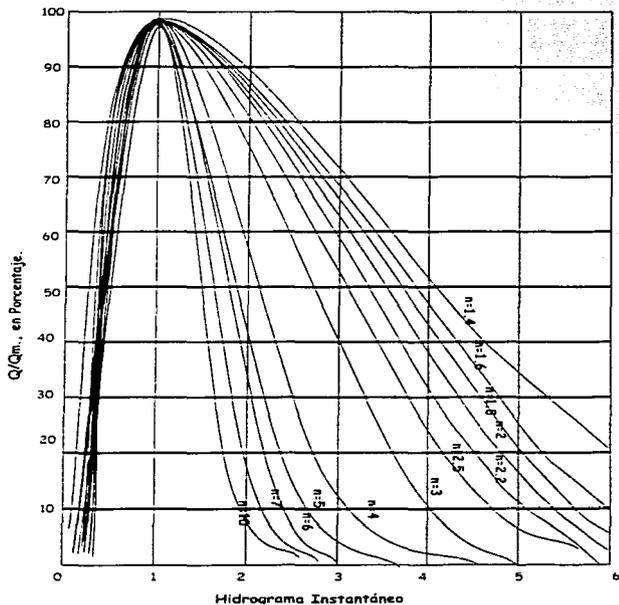
donde:

- P es la lluvia del hidrograma, en mm.
- [U] son las ordenadas del hidrograma unitario, en  $m^3/s/mm$
- [Q] las ordenadas del hidrograma de la tormenta, en  $m^3/s$ .

Siempre debe especificarse la duración en exceso, que es la duración de las barras del hidrograma. Este método permite una mayor flexibilidad en el manejo de la duración en exceso, pudiéndose reducir tanto como se desee.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.13



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

#### Hidrograma Unitario Sintético.

Es un método para obtener hidrogramas unitarios basado únicamente en datos de características generales de la cuenca y los hidrogramas unitarios así obtenidos se llaman sintéticos; a continuación se explicarán dos de ellos:

**Método de Chow.**

Chow desarrolló un método para el cálculo del gasto de pico de hidrogramas de diseño de alcantarillas y otras estructuras de drenaje pequeñas. Este método solo proporciona el gasto pico y es aplicable a cuencas no urbanas con un área menor de 25 Km<sup>2</sup>.

Enseguida se presenta el método para obtener el gasto máximo con un determinado período de retorno:

**Secuela de cálculo.**

1. Para aplicar el método de Chow se requieren los datos siguientes:

**Datos Fisiográficos:** área de la cuenca, longitud del cauce principal, pendiente media del cauce principal, tipos y usos de suelo en la cuenca.

**Datos Climatológicos:** Isoyetas de intensidad-duración-período de retorno.

2. Con los datos de tipo, uso y características de suelo, se obtiene de tablas el valor  $n$ , éste valor toma en cuenta el efecto de uno de los grupos de factores que afectan directamente a la cantidad de lluvia en exceso (o escurrimiento directo) y está compuesto principalmente por el uso de la tierra, la condición de la superficie, el tipo de suelo y la cantidad y duración de la lluvia.

3. Se escoge una cierta duración de lluvia  $d$ , en horas.

4. De las Isoyetas de Intensidad-duración-período de retorno, con el valor de  $d$  y el período de retorno es años; se obtiene la intensidad de lluvia para esa tormenta en cm./hr. Multiplicando la intensidad de lluvia por la duración  $d$ , se obtiene la precipitación total  $P$ , en cm.

5. Con el valor de  $n$  y  $P$  se calcula la lluvia en exceso  $P_e$ , empleando la ecuación:

6. Con  $P_e$  y  $d$ , se calcula el factor de escurrimiento con la ecuación:

$$X = \frac{P_e}{d} \text{ en cm/h} \quad (3.36)$$

7. El tiempo de retraso  $t_r$ , en horas, depende principalmente de la forma del hidrograma, de las características fisiográficas de la cuenca y es independiente de la duración de la lluvia, se calcula con la longitud ( $L$ ) del cauce principal, en m. y la pendiente media del cauce ( $S$ ), en porcentaje.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Aplicando la ecuación:

$$t_r = 0.00505 \left[ \frac{L}{s} \right]^{0.64} \quad (3.37)$$

8. Enseguida se calcula el factor de reducción de pico  $Z$ , adimensional, como una función entre la duración de la tormenta  $d$ , en horas y el tiempo de retraso  $t_r$ , en horas. Entonces  $Z = d/t_r$ . El valor máximo de la relación  $d/t_r$ , es dos y le corresponde un valor de  $Z=1$ . Si la duración es mayor de  $2 t_r$  significa que el gasto de pico ocurrirá antes de que termine la lluvia en exceso y el Hidrograma unitario alcanzará y mantendrá el valor del gasto máximo, es decir,  $Z=1$  para  $d/t_r \geq 2$ .

9. A continuación se calcula el gasto máximo en  $m^3/s$  con la ecuación:

$$Q_m = 2.78 * A * Z \quad (3.38)$$

donde:

$A$  es el área de la cuenca en  $Km^2$

10. Se repite el procedimiento del paso (4) hasta el (9) para otras duraciones de tormenta.

11. Se presentan mediante, una gráfica, los gastos obtenidos contra las duraciones de tormenta correspondientes. El mayor gasto es el de diseño.

12. Si la corriente es perenne se le agrega el gasto máximo determinado en el paso (11) el flujo base  $Q_b$  en  $m^3/s$ ; entonces

$$Q_d = Q_b + Q_m \quad (3.39)$$

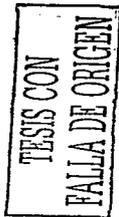
Como puede observarse, este método permite considerar los factores fisiográficos y climatológicos que más influyen en el escurrimiento generado por una cuenca. Su aplicación es relativamente sencilla y sus resultados no dependen tanto del juicio o la experiencia personal, como sucede con los métodos netamente empíricos.

Hidrograma Unitario Triangular.

Las características del hidrograma unitario sintético de forma triangular se calcula con las siguientes expresiones:

1.- Gasto de pico:

$$q_p = \frac{0.208A}{t_p} \text{ en } m^3/s/mm \quad (3.40)$$





2.- Tiempo de pico:

$$t_p = t_c + 0.6t_c \text{ en h} \quad (3.41)$$

3.- Tiempo de concentración según Kirpich:

$$t_c = 0.0662 \frac{L}{s} 0.385^{0.77} \text{ en h} \quad (3.42)$$

donde:

L = Longitud del cauce principal en Km.

S = Pendiente media del cauce, adimensional en decimales.

SEGÚN CHOW:

$$t_c = 0.00505 \left[ \frac{L}{s} \right]^{0.64} \text{ en h} \quad (3.43)$$

donde:

L = Longitud del cauce principal, en m.

S = Pendiente media del cauce, en porcentaje.

4.- Tiempo base:

$$t_b = 2.67t_p \text{ en h} \quad (3.44)$$

### 3.4 RELACIÓN AGUA - ESCURRIMIENTO.

En términos generales se puede decir que los métodos hidrológicos para predicción de escurrimientos basados en mediciones directas de estos, es decir, en registros de aforos son preferibles a aquellos basados en las relaciones entre la lluvia y el escurrimiento ya que en estos casi siempre intervienen parámetros cuya valuación es imprecisa y en algunas ocasiones subjetiva. Sin embargo existen muchos casos en los que la información relativa de gastos máximos aforados es deficiente o nula, por lo cual no se pueden usar algunos métodos; por lo que hay que empezar estableciendo las precipitaciones de diseño para después hacer una función ligando a las tormentas y las avenidas producidas por estas desarrollándose diferentes métodos basados en la relación lluvia y el escurrimiento. De acuerdo con la mayoría de las relaciones utilizadas como parámetros solamente algunos de los factores que afectan al escurrimiento, los cuales son numerosos y con frecuencia interdependientes, estos factores se pueden clasificar en dos grupos:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### Factores Climáticos.

Incluyen principalmente los efectos de precipitación, la evaporación y la transpiración, los cuales presentan variaciones estacionales.

- ❖ **Precipitación:** Forma (lluvia, nieve, granizo, etc.) intensidad, duración, distribución en el tiempo, distribución en la superficie, frecuencia de ocurrencia, dirección del movimiento de la tormenta, precipitación antecedente, humedad del suelo.
- ❖ **Intercepción:** Especies vegetales, composición, edad y densidad de los bosques; estación del año, magnitud de la tormenta.
- ❖ **Evaporación:** Temperatura, viento, presión atmosférica, naturaleza y forma de la superficie sujeta a evaporación.
- ❖ **Transpiración:** Temperatura, radiación solar, viento, humedad del aire, humedad del suelo, clase de la vegetación.

### Factores Fisiográficos.

Se pueden a su vez clasificar en dos:

**Los Característicos de la Cuenca.** Dentro de estos se pueden incluir factores como el tamaño, forma y pendiente de la cuenca, permeabilidad y uso del suelo presencia de lagos etc.

1. **Factores Geométricos:** Tamaño, forma, pendiente, orientación, elevación, densidad de drenaje.
2. **Factores Físicos:** Usos del suelo, infiltración superficial, tipo de suelo, permeabilidad y capacidad de almacenamiento de las capas del subsuelo, presencia de lagos, drenaje artificial.

**Los Característicos del Cauce.** Las características del cauce están relacionadas principalmente con las propiedades hidráulicas del mismo, las cuales gobiernan el movimiento de las corrientes y determinan su capacidad de almacenamiento.

Tamaño y forma de la sección hidráulica, pendiente, rugosidad, longitud, efecto del remanso.

Para conocer el gasto de diseño de operación de las obras hidráulicas se requiere de datos de escurrimiento en el lugar donde ellas estén localizadas.

En ocasiones no se cuenta con esta información o bien por cambios en las condiciones de drenaje de la cuenca como es, por ejemplo, la deforestación, la urbanización, etc., pueden hacer que los datos de gastos recabados antes de estos cambios no sean útiles. Por otra parte debido a que es más complicado obtener en campo los datos para los gastos de las corrientes que los de precipitación, se cuenta con mayor cantidad de información de esta

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



última. Por estas razones se han propuesto procedimientos para determinar escurrimientos a partir de la precipitación que los origina. A estos procedimientos se les conoce como modelo de precipitación escurrimiento.

Para su estudio se les puede clasificar de acuerdo con la información que requieren para su aplicación de la manera siguiente:

#### **Empíricos.**

Son de dos tipos, en uno se necesita para su aplicación únicamente se las características fisiográficas de la cuenca donde esta la corriente de interés y en el otro además de las características se usan datos de precipitación.

#### **Hidrograma Unitario.**

Se debe contar por lo menos con un registro simultaneo de la precipitación y del escurrimiento que esta produjo.

#### **Simulación del Escurrimiento de la Cuenca.**

Se necesita conocer las características detalladas de la cuenca y de datos hidrológicos simultáneos en toda ella. Para usarlos se requiere de gran cantidad de información y de modelos matemáticos complicados para la simulación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.14  
Valor del número de escurrimiento n, de acuerdo al tipo y uso del suelo

| USO DE LA TIERRA<br>O COBERTURA     | CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE   | PENDIENTE<br>DEL<br>TERRENO EN<br>% | TIPO DE SUELO |     |     |     |
|-------------------------------------|--|-------------------------------------|---------------|-----|-----|-----|
|                                     |  |                                     | A             | B   | C   | D   |
| Bosques (sembrados y<br>cultivados) | Ralo, bajo transpiración   |                                     | 45            | 66  | 77  | 83  |
|                                     | Normal, transpiración media  |                                     | 36            | 60  | 73  | 79  |
|                                     | Espeso o alta transpiración  |                                     | 25            | 55  | 70  | 77  |
|                                     | De tierra  |                                     | 72            | 82  | 87  | 89  |
| Caminos                             | Superficie dura  |                                     | 74            | 84  | 90  | 92  |
| Bosque Naturales                    | Muy ralo o bajo transpiración  |                                     | 56            | 75  | 86  | 91  |
|                                     | Ralo, baja transpiración   |                                     | 46            | 68  | 78  | 84  |
|                                     | Normal, transpiración media  |                                     | 36            | 60  | 70  | 76  |
|                                     | Espeso, alta transpiración   |                                     | 26            | 52  | 62  | 69  |
|                                     | Muy espeso, alta transpiración   |                                     | 15            | 44  | 54  | 61  |
| Descanso (sin cultivo)              | Surcos rectos  |                                     | 77            | 86  | 91  | 94  |
| Cultivos en surco                   | Surcos rectos  | >1                                  | 72            | 81  | 88  | 91  |
|                                     | Surcos rectos  | <1                                  | 67            | 78  | 85  | 89  |
|                                     | Surcos en curvas de nivel<br>(contorneo)   | >1                                  | 69            | 79  | 84  | 88  |
|                                     | Surcos en curvas de nivel<br>(contorneo)   | <1                                  | 65            | 75  | 82  | 86  |
|                                     | Terrazas   | >1                                  | 66            | 74  | 80  | 82  |
|                                     | Terrazas   | <1                                  | 62            | 71  | 78  | 81  |
|                                     | Leguminosas (sembradas<br>con maquinaria o al<br>voleo o praderas con<br>rotación) | Surcos rectos                       | >1            | 66  | 77  | 85  |
| Surcos rectos                       | <1   | 58                                  | 72            | 81  | 85  |     |
| Surcos en curvas de nivel           | >1   | 64                                  | 75            | 83  | 85  |     |
| Surcos en curvas de nivel           | <1   | 55                                  | 69            | 78  | 83  |     |
| Terrazas                            | >1   | 63                                  | 73            | 80  | 83  |     |
| Terrazas                            | <1   | 51                                  | 67            | 76  | 80  |     |
| Pastizal                            |  | >1                                  | 68            | 79  | 86  | 89  |
|                                     |  | <1                                  | 39            | 61  | 74  | 80  |
|                                     | Contorneo  | >1                                  | 47            | 67  | 81  | 88  |
|                                     | Contorneo  | <1                                  | 6             | 65  | 70  | 79  |
| Parrero permanente                  |  |                                     | 30            | 58  | 71  | 78  |
| Cereales                            | Surcos rectos  | >1                                  | 65            | 76  | 84  | 88  |
|                                     | Surcos rectos  | <1                                  | 63            | 75  | 83  | 87  |
|                                     | Contorneo  | >1                                  | 63            | 74  | 82  | 85  |
|                                     | Contorneo  | <1                                  | 61            | 73  | 81  | 84  |
|                                     | Terrazas   | >1                                  | 61            | 72  | 79  | 82  |
|                                     | Terrazas   | <1                                  | 59            | 70  | 78  | 81  |
| Superficie<br>Impermeable           |  |                                     | 100           | 100 | 100 | 100 |

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



### 3.5 INTEGRACIÓN DE EVENTOS HIDROLÓGICOS.

El cambio que sufre un hidrograma desde una desde una sección transversal hasta otra ubicada después de un tramo de río o una presa se entiende como tránsito de la avenida. Este cambio puede ser tanto en forma como en desplazamiento en el tiempo.

Para predecir las variaciones temporal y espacial de una onda de avenida a través de un tramo de río o en un vaso de almacenamiento o para determinar el hidrograma de salida de una cuenca sobre la que se presentó una cierta lluvia se emplean los procedimientos de tránsito de avenidas. Estos se dividen en las siguientes categorías, a saber:

1. **Tránsito Hidrológico.** Se utilizan la ecuación de continuidad y una relación entre el almacenamiento y el gasto de salida. Este tipo de tránsito se utiliza, por ejemplo, para calcular la capacidad de la obra de excedencias de una presa o para conocer el cambio de la forma y avance de la onda avenida en un tramo de río.
2. **Tránsito Hidráulico.** Se utilizan las ecuaciones diferenciales de la continuidad y de conservación de la cantidad de movimiento, para flujo no permanente o transitorio. La solución numérica de estas ecuaciones permite conocer la variación detallada de las características hidráulicas con respecto al tiempo. De este modo se conoce la evolución de los tirantes de agua en el cauce de un río o en la planicie.
3. **Tránsito de Avenidas en Llanuras de Inundación.** Las ciudades y las zonas agrícolas y ganaderas generalmente, están localizadas cerca de los ríos para disponer del agua. Sin embargo, en regiones con alta precipitación, es frecuente que se presenten inundaciones; para protegerse contra el efecto nocivo de éstas se construyen obras de protección de tipo local lo cual no ayuda a resolver los problemas si no más bien los cambia de lugar. Para resolver esto se recomienda que la solución que se considere más factible sea del tipo integral, es decir, para toda la zona.

Para llevar acabo lo anterior se pueden usar modelos físicos o matemáticos que permitan conocer el movimiento del agua cuando se presenta una avenida tanto en el cauce de los ríos como en la planicie.

En estos modelos se incluye a las posibles obra que pretenden disminuir o evitar totalmente la inundación, entre ellas, destacan los bordos, cauces de alivio, etc., Para que sean confiables los resultados se requiere calibrar los modelos con mediciones de campo o laboratorio.

El fenómeno de la inundación consiste en lo siguiente: una onda de avenida se forma en la parte alta de la cuenca y se propaga hacia abajo, en la zona en donde el río disminuye su capacidad de conducción del agua (por ejemplo porque la pendiente es baja) la sección del

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



río se hace insuficiente, ello ocasiona que el agua en exceso se desborde por las orillas formándose de esta manera la llanura o planicie de inundación.

El tránsito de avenidas en llanuras de inundación es del tipo hidráulico, por lo que se requiere de métodos numéricos para resolver las ecuaciones diferenciales que gobiernan el fenómeno.

4. **Tránsito de Avenidas en Vasos de Almacenamiento.** Un vaso de almacenamiento se forma al interponer al paso de una corriente un obstáculo, llamado cortina, que provoca un remanso que limita el escurrimiento del agua. Se emplea la ecuación de continuidad, la cual esta dada por:

$$I - O = \frac{dV}{dt} \quad (3.45)$$

donde:

- I = Gasto de entrada en m<sup>3</sup>/seg.
- O = Gasto de salida en m<sup>3</sup>/seg.
- V = Volumen de almacenamiento en m<sup>3</sup>.
- T = Tiempo en segundos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La ecuación se puede expresar en diferencias finitas como:

$$\frac{I_i + I_{i+1}}{2} - \frac{O_i + O_{i+1}}{2} = \frac{V_{i+1} - V_i}{\Delta t} \quad (3.46)$$

donde:

- $\Delta t$  = intervalo de tiempo, en s
- i, i+1 = subíndices que representan los valores de las variables en el tiempo  
 $t = i \Delta t$  y  $t = (i+1)\Delta t$

Como las variables O y V son conocidas en  $t = i\Delta t$ , I en todo el tiempo, ya que es el hidrograma de entrada, es conveniente escribirla como sigue:

$$I_i + I_{i+1} + \left( \frac{2V_i}{\Delta t} - O_i \right) = \frac{2V_{i+1}}{\Delta t} + O_{i+1} \quad (3.47)$$

En el tránsito de una avenida no se consideran variables como la evaporación y la infiltración, ya que su magnitud es varias veces inferior al volumen de las entradas o salidas por escurrimiento, tomando en consideración que el intervalo de tiempo que dura la avenida es del orden de horas a 2 ó 3 días.



El tamaño del vaso de almacenamiento depende de la topografía. Cuando esta es escarpada la capacidad de almacenamiento es pequeña y cuando es extendida la capacidad es grande. Para relacionar la elevación del agua en el almacenamiento con el volumen de agua almacenado se maneja una curva conocida como elevaciones-capacidades (volúmenes).

En esta clase de tránsito se acostumbra utilizar únicamente el gasto de salida por la obra de excedencias ya que el que se extrae por la obra de toma es pequeño comparado con el anterior. Es útil establecer una función entre la elevación del agua y el gasto de salida, lo cual se logra por medio de la curva elevaciones-gastos de salida. Esta curva se calcula con la ecuación de un vertedor rectangular, la cual es del tipo siguiente:

$$Q = CLH^{3/2} \quad (3.48)$$

donde:

- C es el coeficiente de descarga del vertedor, en  $m^{1/2}/s m$
- L es la longitud de la cresta del vertedor, en m.
- H es la carga sobre la cresta del vertedor, en m.

El valor de C es variable ya que es función de la relación entre la carga de agua y la de diseño: sin embrago, para fines del tránsito de avenidas, se suele considerar igual a 2. Tanto C como el exponente pueden ser afinados a partir de los datos de gastos de salida y cargas de agua en el vertedor medido en modelos físicos reducidos.

La variable H se considera igual a la carga de agua más la carga de velocidad sobre la cresta, generalmente ésta última es despreciable, por lo que el valor de H es igual a la carga de agua sobre la cresta.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.15

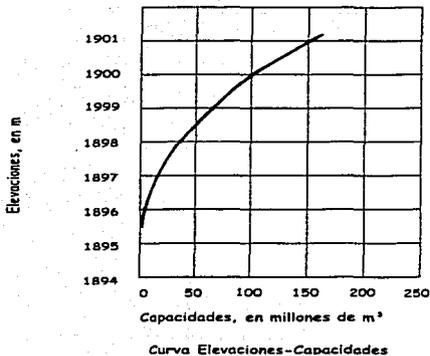
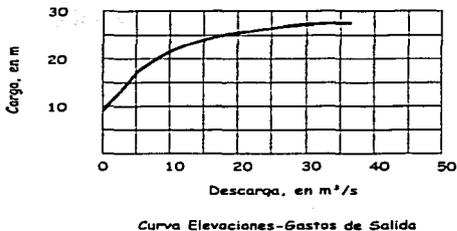


Tabla 3.16



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Cuando el vertedor es de cresta controlada, la relación elevación-gasto estará dado por las reglas de operación fijadas por las compuertas.

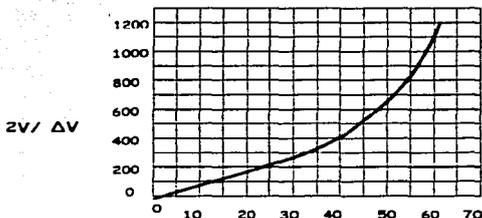


Mediante las dos curvas descritas se puede conocer para cada volumen almacenado en la presa, la elevación del agua y con esta el gasto de salida, y de ahí la relación volumen de almacenamiento-gasto de salida.

El hidrograma de entradas el que llega al almacenamiento y que se desea transitar por el mismo, en los problemas de diseño se le llama avenida de diseño.

Para realizar el tránsito se requiere especificar en que situación se encuentra el vaso en el momento en que se presenta la avenida. Para ello se debe conocer la elevación del agua y su correspondiente volumen de agua almacenado en la presa, el gasto de entrada y el gasto de salida.

Tabla 3.17

Curva  $2V/\Delta V + 0$  CONTRA  $0$ 

5. **Transito de Avenidas en Cauces.** El procedimiento hidrológico más usado para transitar avenidas en tramos es el desarrollado por McCarthy (1938) conocido como método de Muskingum. El método usa una relación algebraica lineal entre el almacenamiento, las entradas y las salidas junto con dos parámetros  $K$  y  $X$ .

Se considera que el almacenamiento total en el tramo del río directamente proporcional al promedio pesado de los gastos de entrada y salida del tramo, es decir:

$$V = K [XI + (1-X) O] \quad (3.49)$$

donde:

- $K$  es la constante de proporcionalidad, llamada de tiempo de almacenamiento, expresada en unidades de tiempo
- $X$  es el factor de peso.



Al aplicar la ecuación anterior para los tiempos tenemos que:

$$t_1 = i \Delta t = t_1 \quad \text{y} \quad t_{1+1} = (i+1)\Delta t = t_2 \quad (3.50)$$

se tiene:

$$\Delta V = V_2 - V_1 = K[X(I_2 - I_1) + (1-X)(O_2 - O_1)] \quad (3.51)$$

Usando lo mismo para la ecuación de continuidad, se llega a:

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2)\Delta t - \frac{1}{2}(O_1 + O_2)\Delta t = V_2 - V_1 = \Delta V \quad (3.52)$$

Si se sustituye en esta última ecuación el valor de  $\Delta V$ , se encuentra que:

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1 \quad C_0 = \frac{-KX + 0.5\Delta t}{K - KX + 0.5\Delta t} \quad (3.53)$$

$$C_1 = \frac{KX + 0.5\Delta t}{K - KX + 0.5\Delta t} \quad C_2 = \frac{K - KX + 0.5\Delta t}{K - KX + 0.5\Delta t}$$

$$C_0 + C_1 + C_2 = 1.0$$

El factor de peso  $X$  es el que toma en cuenta la influencia de la entrada y la salida en el tramo en estudio.

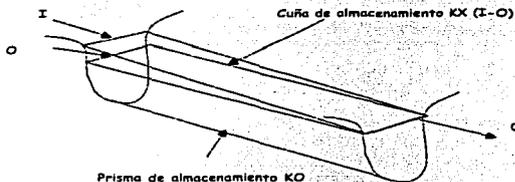


Fig. 3.5 Relación entre el volumen y los gastos de entrada y salida.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### Obtención de los Parámetros K y X

Para obtener el valor de K y X existen diferentes métodos, a continuación se describen varios de ellos.

#### Para Información Escasa.

Cuando no se tienen datos suficientes X se toma entre 0 y 0.3 y K se hace igual al tiempo entre los gastos de pico de los hidrogramas de entrada y salida del tramo del río o bien se estima, según Linsley et al (1975), a partir de:

$$K \cong 0.014 \frac{L^{1.6}}{H^{0.6}} \quad (3.54)$$

donde:

- H Desnivel entre las dos secciones de los dos extremos del tramo del río, en Km.  
L Longitud del tramo del río, en Km.

#### Método de Calibración Tradicional.

Es aplicable cuando se dispone de una avenida que haya sido medida (aforada) en los extremos del tramo de interés del río. El procedimiento de calibración es el siguiente:

1. Se divide el hidrograma de entrada y salida en intervalos de tiempo  $\Delta t$ , a partir de un tiempo inicial común.
2. Se calcula el almacenamiento promedio con la ecuación:

$$V_2 = \left( \frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} \right) \Delta t + V_1 = (\bar{I} - \bar{O}) \Delta t + V_1 \quad (3.55)$$

3. Se supone un valor de X.

4. Se calcula Y como:

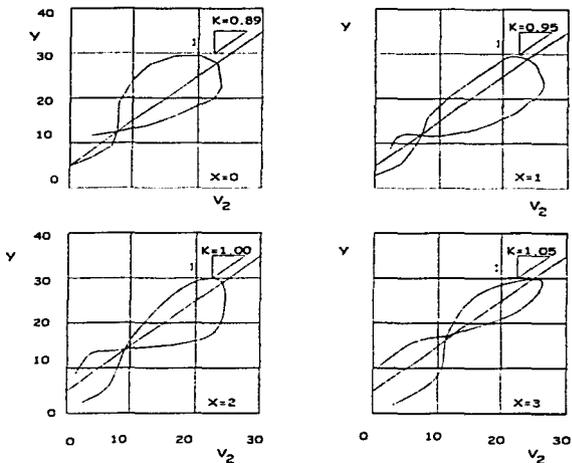
$$Y = XI + (I - K)O \quad (3.56)$$

5. Se dibujan los valores de  $V_2$ , del paso dos y los de Y del paso cuatro para la X supuesta.

6. Se observa si los puntos se ajustan a una recta, en caso afirmativo se continúa en el paso siete, si no es así, se supone otra X y se regresa al paso tres.

7. Una vez seleccionado el valor adecuado de X, la constante K resulta ser igual a la pendiente de la recta de ajuste.

Tabla 3.18



Calibración de X, Método Tradicional

#### Método de Calibración de Overton

Se usa cuando se conoce el gasto pico y el tiempo en que se presenta éste para los hidrogramas de entrada y de salida en el tramo del río.

Para encontrar los parámetros  $K$  y  $X$  Overton deduce dos expresiones suponiendo que el hidrograma de entrada tiene la forma de un triángulo isósceles y que  $K$  es menor al tiempo pico de este hidrograma (Viessman, 1977).

Tales expresiones son:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



$$K = 1.41(T_p - t_p)$$
$$x = 0.71 \frac{t_p}{K} \left( \frac{I_p - O_p}{I_p} \right) \quad (3.57)$$

donde:

- $t_p$  Tiempo de pico del hidrograma de entrada al tramo del río.  
 $T_p$  Tiempo de pico del hidrograma de salida del tramo del río.  
 $I_p$  Gasto pico del hidrograma de entrada al tramo del río.  
 $O_p$  Gasto pico del hidrograma de salida del tramo del río.

#### Aplicación del Método de Muskingum.

Conocidos  $K$  y  $X$  para transitar un hidrograma se hace lo siguiente:

1. Se calculan las constantes

$$C_0, C_1, C_2$$
$$C_0 = \frac{-KX + 0.5\Delta}{K - KX + 0.5\Delta}$$
$$C_1 = \frac{KX + 0.50\Delta}{K - KX + 0.5\Delta}$$
$$C_2 = \frac{K - KX + 0.5\Delta}{K - KX + 0.5\Delta} \quad (3.58)$$

2. Se conoce  $I_1$  y  $O_1$
3. Se considera el gasto de entrada  $I_2$  en el tiempo siguiente
4. El gasto de salida se obtiene con la ecuación siguiente:

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 I_1 \quad (3.59)$$

5. Los valores de  $I_2$  y de  $O_2$  se toman como  $I_1$  y  $O_1$  y se repite el procedimiento desde el paso tres.

Según Chow (1964) el intervalo de tiempo  $\Delta t$  que se debe usar para realizar el tránsito debe estar comprendido entre  $2Kx$  y  $K$  ya que si no se respetan estos límites se pueden tener errores de aproximación importantes en los resultados.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# CAPITULO 4

## MITIGACIÓN DE LAS INUNDACIONES

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

102-A

## MITIGACIÓN DE LAS INUNDACIONES.

### 4.1 IMPORTANCIA.

Son muy pocos los casos en los cuales es posible solucionar los problemas de inundaciones de forma permanente. Algunas de las razones más importantes que no permiten la solución son el costo de las obras, los conflictos socioeconómicos de las regiones que conllevan intereses en el uso de la tierra, y la escasa factibilidad económica de este tipo de proyectos. Por esta razón se utilizan los términos Control de Inundaciones o Mitigación de los efectos de las Inundaciones para indicar que estos proyectos tratan de prevenir daños mayores y ofrecen protección hasta un cierto nivel de riesgo.

Las zonas donde se presentan inundaciones ocasionales se encuentran diseminadas a lo largo de casi todo el país, por lo general, en la parte centro y el sureste, ya que constituyen zonas altamente desarrolladas tanto rurales como urbanas, debido a que los prolongados períodos de retorno involucrados en dichos fenómenos hacen que las personas afectadas subestimen la magnitud del riesgo. Para la protección de áreas sujetas a este tipo de inundaciones se deben considerar no solo aspectos hidrológicos sino también económicos.

El problema de inundaciones en el país puede dividirse en dos grupos, cada uno con características diferentes. El primero de ellos se refiere a la inundación de extensas zonas dedicadas al cultivo agrícola. Estas zonas permanecen bajo el agua durante una gran parte del año, como consecuencia de la imposibilidad de drenaje durante la estación invernal. Por otro lado, están las características avenidas de los ríos, con período de retorno de varios años, las cuales ocasionan cuantiosas pérdidas.

La frecuencia que marca el evento de las inundaciones ha provocado un alto costo en las obras de protección, como por ejemplo en los campos agrícolas; la frecuencia de diseño contra las inundaciones puede estar entre 5 a 25 años porque son eventos mayores que pueden requerir de obras que valen más que los cultivos que se van a proteger.

En otros casos, las inundaciones pueden ocasionar pérdidas de vidas humanas y puede ser preferible instalar sistemas de alerta o reubicar la población que se encuentra en peligro, antes de proyectar obras para frecuencias de 10,000 años o más.

Dependiendo de las características particulares de los casos que requieren de estudios de control de inundaciones, el procedimiento general que se sigue es el siguiente:

**Delimitar las Zonas Inundables.** Puede hacerse utilizando cartografía, fotografías aéreas, topografía de campo, encuestas e inventario de eventos históricos.



**Determinar las Causas de las Inundaciones.** Pueden ser desbordamientos, encharcamientos, deficiencias de drenaje, avalanchas, obstrucciones o sedimentación.

**Realizar Estudios Técnicos.** Geológico, Geotécnico, Socioeconómico, Ambiental e Hidrológico para delimitar cuencas vertientes, analizar el uso de la tierra y las corrientes naturales que afectan la zona que se va a proteger, cuantificar clima, lluvias y caudales líquidos y sólidos. Definir magnitudes de los eventos extremos que pueden generar inundaciones.

**Realizar Estudios Económicos,** para cuantificar los perjuicios que han causado inundaciones anteriores y para estimar los perjuicios futuros, con niveles de riesgo determinados, sobre las actividades agropecuarias, industriales y habitacionales de la zona.

**Realizar Estudios Geomorfológicos y de Hidráulica Fluvial,** para conocer la dinámica fluvial y estimar capacidades de los cauces, estabilidad, trayectorias y tendencias futuras, delimitación de zonas inundables para eventos extraordinarios e incidencia de obras civiles existentes y proyectadas.

**Diseñar las Obras de mitigación de los efectos de las inundaciones y estimar sus costos.**

De una manera general los proyectos de control de inundaciones estudian las siguientes opciones:

- ❖ Dejar las cosas como están y convivir con el problema.
- ❖ Establecer sistemas de alerta para que la población pueda ponerse a salvo.
- ❖ Proyectar la construcción de obras civiles:

1. Terrapienes protegidos por obras marginales.
2. Muros en concreto o en gaviones.
3. Diques longitudinales, denominados también Jarillones.
4. Embalses de regulación.
5. Canales de desviación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## 4.2 ESTRUCTURAS HIDRAULICAS.

### Medidas Estructurales para Evitar o Reducir Inundaciones.

Estas acciones consisten en la construcción de obras que interfieren directamente con el agua de lluvia o que escurre por los ríos, para almacenarla, a un área preseleccionada.

Las obras que pueden ser construidas para reducir inundaciones causadas por el desbordamiento de los ríos son:

#### A) Bordos Perimetrales a Poblaciones o Construcciones de Importancia.

Un bordo es un terraplén de arcilla. Aunque los hay de arena, construido con el objeto de proteger casas, tierras agrícolas y vidas humanas contra la acción de una creciente o un remanso de agua.

El diseño del bordo, en muchos de sus pasos, es semejante al de una pequeña cortina de tierra para ello, se utilizan los procedimientos que usualmente se emplean en Geotecnia. La diferencia principal con respecto a una cortina de tierra consiste en que el bordo usualmente solo retiene el agua durante un lapso reducido, que puede durar algunos días o pocas semanas.

Generalmente, el alineamiento de los bordos se hace siguiendo la configuración de la zona por proteger, dejando un área de inundación adecuada de manera que no se lleguen a tener elevaciones del agua apreciables; sin embargo, en ocasiones, eso puede llevar a desplantar el bordo en lugares inadecuados, es decir, que presentan problemas y encarezcan su cimentación.

El material para construir el bordo se toma de bancos de préstamo; cuando el material de la planicie es adecuado para construir el bordo, parte del material utilizado proviene, por ejemplo, de las excavaciones de los drenes necesarios. Debe tenerse en mente que los drenes o las excavaciones nunca se harán adyacentes al pie de los taludes del bordo y que el material tomado directamente de la planicie no necesariamente es homogéneo. Por último, el diseño de la sección transversal del bordo debe hacerse con base en las propiedades del material del bordo y del terreno en que se apoya.

#### Tipos de Bordos.

Los bordos se clasifican de diferentes maneras: en función del tipo de terrenos que protegen, en urbanos o agrícolas; de acuerdo a su uso o propósito, los bordos a lo largo del cauce principal (longitudes), secundarios (a lo largo de un tributario de la corriente principal), o perimetrales; y por el procedimiento constructivo utilizado en compactados, semicompactados o sin compactación.



### Diseño de Bordos.

Los factores a considerar en el diseño varían de proyecto a proyecto en función de las condiciones locales del sitio. Algunos de ellos se enlistan adelante y son recomendados por el US Army Corps of Engineers (1978).

- Realizar estudios geológicos.
- Efectuar un estudio preliminar de las condiciones del sitio, tanto del material de desplante, como de la posible localización de los bancos y zonas de préstamo.
- Hacer una exploración final en el sitio con el objeto de definir el perfil estratigráfico del subsuelo, las condiciones y características de los materiales donde se desplantarán los bordos e información más detallada sobre las áreas de préstamo.
- Con los datos del paso tres se determinarán, en forma preliminar, las secciones transversales de los terraplenes y las variables que regirán las condiciones de la cimentación de los bordos.
- Dividir la longitud total del bordo en tramos con igual altura de terraplén, condiciones semejantes de desplante e igual material de relleno, y se trazará una sección transversal representativa de cada tramo.
- Considerar un estudio para cada sección transversal, las condiciones de flujo subterráneo bajo el desplante y la red de flujo a través del cuerpo del bordo, la estabilidad de sus taludes y los posibles asentamientos que pueda sufrir.
- Identificar las posibles zonas en donde haya que dar un tratamiento especial al suelo de cimentación.
- Definirán finalmente las secciones típicas para cada tramo, las cantidades de los materiales necesarios para la construcción de la obra y la localización final de las zonas de préstamo en función de los volúmenes requeridos de materiales térreos.
- Por último diseñar, de ser necesaria, la protección que requiera el terraplén.

En ríos donde el hidrograma del escurrimiento suba o baje rápidamente, la sección debe ser diseñada para tomar en cuenta las inestabilidades producidas por este fenómeno.

En zonas donde las características del material del bordo y de la cimentación sean buenas, se pueden escoger taludes relativamente fuertes; en cambio cuando ello no ocurre se recomiendan taludes más tendidos. Sin embargo, la primera condición es la que requiere más estudios para garantizar su estabilidad y evitar tubificaciones.

### Tipos de Fallas en los Bordos.

Son ocasionadas principalmente por las causas siguientes:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



➤ Paso del Agua a la Corona del Bordo.

El flujo inicia la erosión del talud del lado seco, la que se propaga hacia aguas arriba destruyendo poco a poco la corona del bordo hasta que se produce una abertura en el terraplén. Si este es arenoso, el fenómeno ocurre en poco tiempo y una vez que el bordo se ha roto, la abertura se amplía rápidamente hacia ambos lados. En cambio, cuando el terraplén es arcilloso y bien compactado, el fenómeno descrito es muy lento, y si hay una inspección cuidadosa y oportuna durante la avenida se dispone de tiempo para efectuar reparaciones de emergencia que eviten la destrucción del terraplén.

➤ Erosión del Terraplén del Lado Húmedo.

Para que esto ocurra, el flujo debe concentrarse y además el terraplén carecer de protección. En ocasiones el cauce principal del río se desplaza lateralmente y la orilla llega al pie del talud del bordo. Si continúa la erosión lateral de la margen, necesariamente falla el terraplén que esta sobre ella.

➤ Deslizamiento de Alguno de los Taludes al Saturarse el Bordo.

Se produce por diseño deficiente de la sección transversal de los bordos, por falta de control de calidad durante la construcción o por no tomar en cuenta las condiciones de la zona de cimentación. También ocurre cuando se hacen excavaciones al pie de los taludes para tomar material de préstamo, o cuando al diseñar el bordo, no se consideran los descensos rápidos de los niveles del agua. Los deslizamientos ocasionan además una reducción del paso de filtración, que en ocasiones produce tubificación en el terraplén o en la cimentación.

➤ Tubificación del Bordo o de la Cimentación.

Se pueden producir por dos causas principales. La primera cuando el flujo a través del terraplén o de la cimentación alcanza a arrastrar el material en la zona donde aflora. A medida que las partículas son arrastradas se forma un conducto que avanza de aguas abajo hacia aguas arriba. El aumento del conducto reduce el paso de filtración, incrementa el gradiente hidráulico y las velocidades del flujo subterráneo, y por tanto, el gasto que escurre por el conducto. Todo ello aumenta la capacidad de arrastre de partículas y en consecuencia la ampliación del conducto. Dicha ampliación facilita el desprendimiento y caída del material que esta sobre él. La segunda causa se produce debido a la acción de animales como tuzas o topes, o bien a la presencia de raíces. Esta última se puede evitar al no permitir que crezcan arbustos y árboles en los taludes del bordo, ni en la planicie cerca de la obra.

TRABAJA CON  
FALLA DE ORIGEN



➤ **Hundimiento de un Tramo del Bordo de Captación.**

Con ello disminuye la elevación de la corona del bordo, por lo que el agua llega a pasar sobre ella, con las consecuencias señaladas en el primer punto.

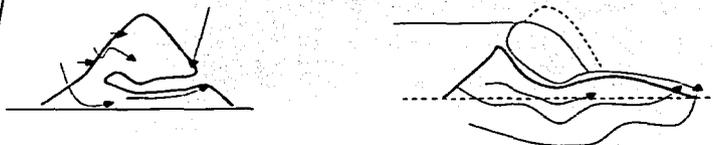
➤ **Por Erosiones que el Agua de Lluvia llega a Producir en la Corona y Taludes.**

Esto ocurre cuando el bordo no tiene protección exterior y falta conservación y supervisión de la obra. También se presenta cuando la corona no está revestida y no se colocaron bajadas, para el agua, debidamente protegidas.

La zona de falla se erosiona lateralmente y se ensancha



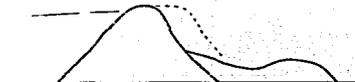
Cavidades hechas por animales



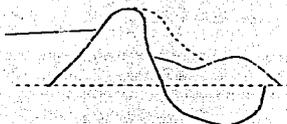
Flujo subterráneo capaz de arrastrar partículas

Fig. 4.1 Por Tubificación del Bordo o de su Cimentación.

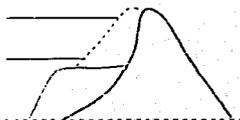
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



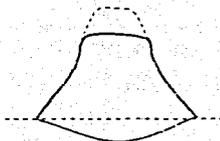
Por inestabilidad del talud exterior o protegido



Por inestabilidad de la cimentación de alguno de los lados



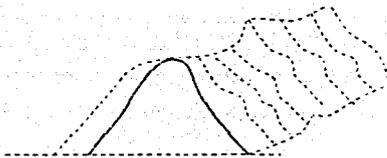
Por deslizamiento del talud interior debido a inestabilidad del mismo o descenso brusco del nivel del agua



Por asentamiento del bordo o su cimentación



Por erosión del talud interior producido por el flujo



Por erosión de la corona y taludes por lluvia local y falta de protecciones

Fig. 4.2 Fallas y Daños más comunes que pueden sufrir los Bordos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### Investigaciones de Campo y Laboratorio.

En la etapa de planeación se requiere información de carácter general; en cambio para el de diseño se necesitan estudios detallados y profundos de todas las variables involucradas en el problema. Las investigaciones de campo son mínimas si el bordo tiene una altura menor de 3.0 m, o existen bordos construidos en la zona, se ha observado un buen comportamiento de ellos y se conocen las propiedades de los materiales con que fueron construidos y de su cimentación.

El US Army Corps of Engineers (1978) recomienda hacer una campaña intensiva de investigación tanto en campo como de laboratorio cuando se presenten cualquiera de las condiciones siguientes:

- La falla de la obra puede ocasionar grandes pérdidas, tanto de vidas humanas como daños materiales.
- Los bordos tienen una altura mayor de 3.0 m.
- La zona de desplante es débil y compresible, la calidad de los suelos a lo largo del alineamiento es muy variable, y se ha detectado que pueden ocurrir problemas de flujo subterráneo o de licuación.
- El agua va a estar en contacto con el terraplén durante largos periodos de tiempo.
- Los bancos de préstamo son de baja calidad o tienen un alto contenido de agua o sus características varían a lo largo del alineamiento de los bordos.
- Hay estructuras de concreto en algunas zonas de los bordos.

La amplitud de las pruebas de laboratorios es función de la importancia del proyecto y del conocimiento de las condiciones del sitio. Las pruebas más importantes son las de esfuerzos, consolidación y compresión, contenido de agua e identificación de materiales; dichas pruebas se hacen con muestras tomadas en el sitio de desplante y áreas de préstamo.

#### Áreas de Préstamo.

El principal factor que rige su elección es la facilidad de acceso y distancia al sitio de construcción. Se recomienda que estas áreas, cuando sea posible, estén a lo largo del alineamiento de los bordos, ya que se acortan las distancias de acarreo y el cambio en el impacto ambiental es menor. Por otra parte, es preferible un área de préstamo ancha y somera en lugar de una zona angosta y profunda, ya que esta última puede llegar a ser causa

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

de futuros problemas.

### Control del Agua Subterránea.

La infiltración bajo los bordos a través de suelos permeables pueden incrementar la presión hidrostática bajo un estrato impermeable o producir tubificación con la aparición de borbotones o humedad en el bordo mismo o aguas debajo de él. Estas condiciones no deben aceptarse y para reducir su efecto dañino se han propuesto varias medidas.

### Diseño de la Sección Transversal el Bordo.

La altura del bordo es igual al tirante de agua, que corresponde a la avenida de diseño, más la altura del oleaje si lo hubiera y el alcance del mismo, más un bordo libre. Además debe agregarse una altura que corresponda al valor del asentamiento que alcance a sufrir la estructura, ya que de ocurrir dicho asentamiento se puede llegar a perder el bordo libre. El bordo libre varía entre 0.50 y 2.00 según la importancia de la obra y la seguridad que se tiene en la determinación del gasto y elevaciones del perfil del agua.

Conviene que el terraplén sea homogéneo; sin embargo, los materiales de los bancos de préstamo pueden tener una impermeabilidad variable. Por este motivo, el material más impermeable debe colocarse del lado que este en contacto con el río y el más permeable en el lado seco. Si el material impermeable es escaso, conviene colocar una capa gruesa de material impermeable en el lado expuesto al río en lugar de hacer un corazón impermeable, ello resulta más económico.

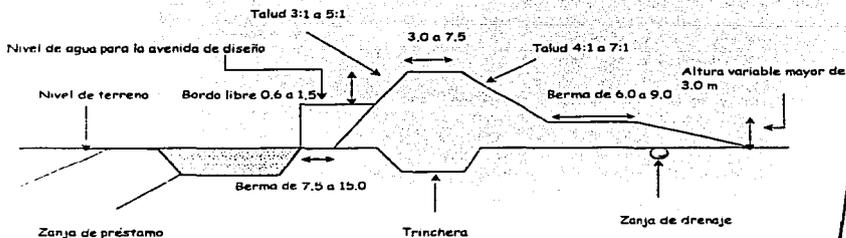


Fig. 4.3 Sección Transversal de un Bordo, con altura de agua mayor de 3.0 m. SEGÚN LINSLEY Y FRANZINI (1979)

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

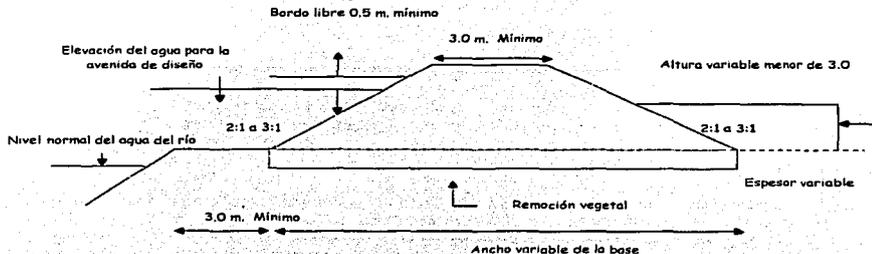


Fig. 4.4 Sección Transversal de un Bordo con altura menor de 3.0 m

#### Taludes del Terraplén.

El análisis de la estabilidad de las secciones del bordo, incluida su cimentación, no llega a ser necesario cuando el bordo es de altura pequeña y está desplantado en un buen sitio. Cuando esto último no ocurre o el material de préstamo es de baja calidad se recomienda hacer un análisis detallado de la estabilidad del terraplén.

Si el bordo se compacta, la pendiente del terraplén puede ser menos tendida que en un semicompactado. Un talud se considera poco tendido cuando los valores de este son 1 vertical y menor o igual que 2 horizontal (2:1); cuando menor es la relación entre paréntesis, el talud es menos tendido.

Si el agua está en contacto poco tiempo contra el talud del bordo, la presencia de hierba puede llegar a proporcionar una adecuada protección contra el oleaje o una corriente erosiva; sin embargo, si ocurre lo contrario, es decir que el agua permanezca un periodo largo se debe dar una protección adecuada al talud. La necesidad de esa protección depende de diversos factores, entre los que destacan los siguientes:

1. Facilidad con que el terraplén pueda ser erosionado.
2. Posibilidad de vientos originados que originen oleaje durante el paso de la avenida.
3. Distancia entre la orilla del cauce y el desplante del bordo.
4. Presencia de estructuras cercanas al bordo, que puedan incrementar la turbulencia del flujo.
5. Cambios bruscos en el alineamiento de los bordos que lleguen a provocar turbulencia y erosión.



6. La pendiente del talud húmedo. Uno más tendido requiere menor protección que uno con fuerte pendiente.

#### **Caminos de Acceso.**

Debe preverse la construcción de algunos caminos de acceso a los bordos para proporcionar a ésta inspección y este en mantenimiento. En función de las condiciones locales, estos caminos pueden ser de uso privado para el personal gubernamental o de uso público. Se recomienda que las rampas de acceso a los bordos sean laterales y no en ángulo recto son mas económicas y la sección transversal del bordo casi no se modifica.

Se recomienda que la separación entre caminos de acceso sea menor que un kilómetro. Esta separación se aumenta cuando se puede transitar con facilidad y seguridad sobre la corona del bordo.

#### **Uniones Entre el Terraplén del Bordo y Estructuras de Concreto.**

Esta situación se presenta cuando un bordo es interrumpido por una estructura de control para drenaje, estaciones de bombeo o estructuras de entrada a canales de irrigación. En esos casos, se recomienda que las paredes extremas de dichas estructuras tengan un talud vertical o cuando más de 0.1:1, con objeto de asegurar un buen contacto con el terraplén. Además deben tener nervaduras verticales o salientes y no ser lisas. Como el equipo pesado con que se compacta el bordo no alcanza a compactar la zona adyacente a la estructura, se debe prestar especial atención a su compactación, la que se hará con pequeñas pisadoras mecánicas o a mano.

#### **Construcción de Bordos.**

Como se menciona anteriormente, el terraplén de los bordos puede ser compactado, semicompactado o sin compactación. Generalmente, la sección transversal se forma con una combinación de las condiciones mencionadas; así, por ejemplo, el corazón puede estar compactado o semicompactado, con la berma semicompactada o sin compactación. Se recomienda dar un alto grado de compactación en regiones sísmicas activas. Por otra parte, si la altura del bordo es pequeña, en ocasiones, no se justifica hacer una gran inversión en la limpia de la zona de la cimentación. Por otra parte, si no hay un adecuado tratamiento de la zona de cimentación del bordo como, por ejemplo, no hacer una buena limpieza del material orgánico, colocación de capas permeables a través de todo el terraplén y mala compactación del terraplén, pueden presentarse, entre otros problemas, asentamientos diferenciales e infiltración bajo el terraplén, que llegan a producir erosión y falla del mismo.



### Conservación de Bordos.

Un bordo debe ser revisado frecuentemente y darle mantenimiento para que siga cumpliendo con los fines para los que fue construido.

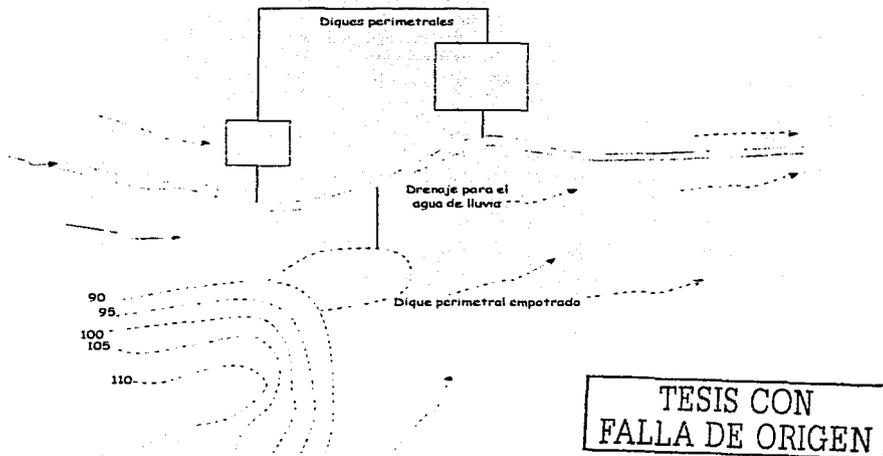
Dentro del programa de conservación se deben considerar entre otras medidas las siguientes:

- Nivelaciones periódicas de la corona de los bordos. Ello permitirá detectar oportunamente cualquier asentamiento que sufran los terraplenes y efectuar su renivelación antes de que ocurra temporada de lluvias.
- Revisar ambos taludes para observar y determinar zonas de erosión en el lado húmedo, daños en la coraza de protección si la hubiera, cavidades formadas por roedores, estado de las bermas y erosiones provocadas por la lluvia local en sus taludes y bermas. Esta inspección debe hacerse a pie nunca desde un vehículo.
- Remoción de arbustos que crezcan en sus taludes y árboles que se desarrollen cerca del pie de los taludes.
- Detectar y reparar las erosiones que produzca el agua de lluvia al escurrir sobre la corona y taludes. Evitar o reducir esas erosiones con la construcción de obras adecuadas.

### Bordos Perimetrales.

Se ha mencionado que existe la tendencia natural de que las poblaciones se establezcan cerca de los ríos. En un principio la gente acepta los peligros y molestias de las inundaciones con tal de disponer de agua para su subsistencia. Cuando se desarrollan esos centros de población y se desea protegerlos contra inundaciones periódicas, la solución más común y explícita consiste en rodearlos parcial o completamente con un bordo, lo cual depende de la topografía. Estos bordos tienen la ventaja de ser la solución de control más económica que puede construirse; además, no alteran los niveles de escurrimientos, ya que su efecto sobre ellos es nulo o muy reducido.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Fig. 4.5 Diques Perimetrales.**  
Rodean a pequeños poblados o construcciones de importancia  
o pueden empotrarse en partes altas.

Durante el tiempo que dure una inundación se deberá realizar una inspección constante de las condiciones del bordo y de los niveles del agua en el río. A la primera señal de peligro se tendrá que avisar a los moradores para que se desplacen a las zonas altas. Esto deberá efectuarse cuando no se conocen con certeza los niveles que puede alcanzar el agua en el río o no se ha efectuado una inspección y conservación continua y cuidadosa de los bordos perimetrales a pesar de la importancia y la obligación de realizar esas acciones.



### Características del Bordo Perimetral.

La altura del bordo se fija partiendo de los niveles máximos que se hayan registrado con anterioridad, a partir de las huellas dejadas por el agua. Esta forma de actuar es motivada por el hecho de que en zonas poco desarrolladas no se cuenta con datos suficientes y solo se dispone de algunas huellas máximas de avenidas recientes. Si hay alguna estación de aforo cercana, se trabajara con los datos que de ella se obtengan. Al iniciar el estudio de una región para protegerla contra inundaciones, se deberán instalar escalas cerca de los poblados, además garantiza que el aforo de la corriente cuente con una estación hidrométrica como mínimo. Todos los datos de aforo y escalas servirán para calibrar cualquier modelo de predicción de transito de avenidas que sea elaborado. A los niveles máximos del agua que hayan sido observados se les asociara su gasto, aunque esto último no siempre es posible. La altura del bordo perimetral se fija al añadir a la elevación máxima observada del agua un bordo libre de 1.00 a 2.00 m. El valor del bordo libre dependerá, principalmente, de la confianza que se tenga en los datos, siendo menor cuanto mayor sea la confiabilidad de ellos; su valor se incrementara si se pueden presentar vientos intensos, durante la inundación, que generen oleaje.

El ancho de la corona del bordo deberá permitir el transito de un vehículo, por tanto el ancho mínimo recomendado es de 3.00 m.

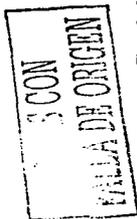
Se deberá estudiar la estabilidad del bordo teniendo en cuenta los materiales disponibles para su construcción y el material del terreno en que será desplantado; sin embargo, si el material es arcilloso se podrán considerar taludes de 2:1 o mayores; si el material es arena el talud mínimo recomendable es de 3:1. Deberán destacarse los materiales limosos. Si el material es arenoso se deberá revisar el paso de filtración y de ser necesario se abatirán los taludes o se ampliara el ancho de la corona.

### Drenaje de la Zona Protegida.

Como el bordo perimetral es una frontera entre el río y el poblado, se tendrá que desalojar el agua de lluvia que caiga dentro de la zona confinada por los bordos.

Para ello se optara por uno de los procedimientos siguientes:

- Construir un depósito que tenga una capacidad igual al volumen de agua que se espera que llueva, y que estará comunicado al río por medio de una tubería que pase bajo el bordo. Esta tubería debe tener instalada una compuerta o válvula, ya sea manual o automática, que permita desalojar el agua almacenada cuando el nivel de la superficie del río baje de una cierta elevación, y se cierre cuando suba de ese mismo nivel.





- Si el volumen estimado de lluvia es considerable y por tanto el tanque de captación del agua drenada fuera muy costoso, se construirá un tanque reducido con una estación de bombeo cuya capacidad estará dada por el gasto máximo escurrido, ya regularizado por el tanque.

Antes de cada temporada de lluvias, el equipo de bombeo deberá ser revisado y probado. Además, como es probable que durante las inundaciones producidas por ciclones falle el suministro de energía eléctrica, se recomienda utilizar bombas acopladas a motores diesel.

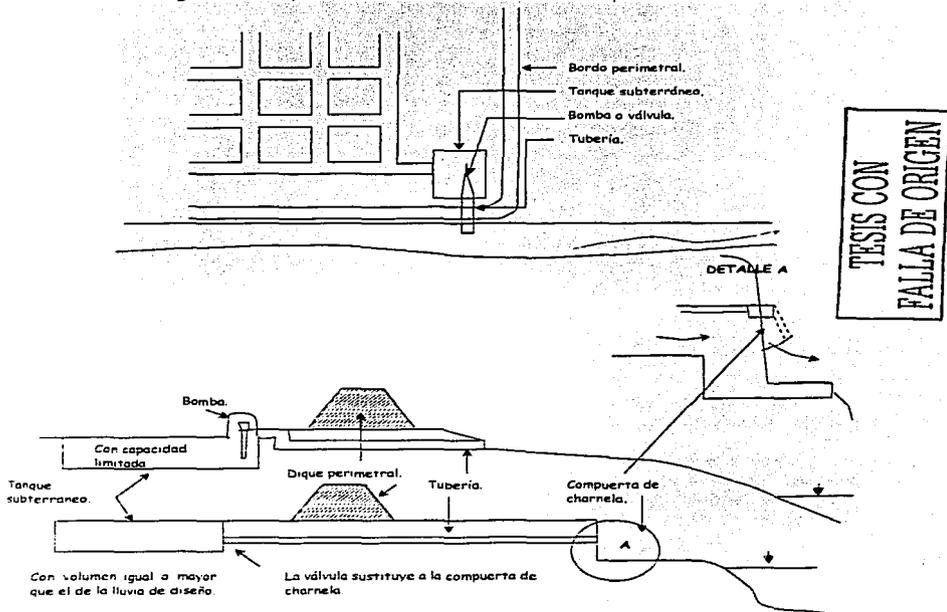


Fig. 4.6 Drenaje de las Áreas Protegidas con Bordos Perimetrales.

**B) Bordos Longitudinales a lo Largo de una o Ambas Márgenes de un Río.**

Los bordos longitudinales, como su nombre lo indica, se construyen a lo largo de las márgenes de un río y al confinar el agua entre ellos sirven para proteger simultáneamente varias ciudades y pueblos, así como grandes extensiones de terrenos con alta producción agrícola y ganadera: es decir, regiones desarrolladas que cuentan además con vías de comunicación e instalaciones industriales o de servicios. Dependiendo del desarrollo regional, este tipo de bordos se pueden construir en una o ambas márgenes.



Fig. 4.7 Bordos Longitudinales.

Los bordos longitudinales producen, sobre los escurrimientos, principalmente los efectos siguientes:

1. Confinan los escurrimientos entre ellos, por lo que obligan a que pasen por secciones con menor anchura. Esto produce una sobre elevación de la superficie del agua.
2. Trasladan las avenidas hacia aguas abajo. Al no permitir desbordamientos sobre la planicie, todos los volúmenes de agua confinados tienen que pasar entre los bordos. Esto obliga a un diseño muy cuidadoso, con objeto de no producir daños aguas abajo, lo que conduce normalmente a incrementar la longitud de los bordos inicialmente supuesta.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que los bordos longitudinales tienen que construirse para que sean completamente seguros ya que:

- La gente se confía al sentirse protegida y deja de tomar las precauciones acostumbradas en las anteriores épocas de avenidas.



- La zona protegida aumenta su desarrollo y se construirán obras más costosas, ya que se sabe que no dañaran con futuras inundaciones.
- De romperse un bordo, las inundaciones ocurrirán con mayor rapidez y alcanzarán niveles mayores que antes de la construcción de los bordos, al menos en la zona cercana a la posible rotura.

El alto costo que pueden alcanzar los bordos y por el peligro que representa el tener elevaciones demasiado altas en el río, conviene no seleccionar la protección contra inundaciones utilizando únicamente este tipo de solución, sino en combinación con una o varias de las opciones que se describen mas adelante, si ello fuera posible. A pesar de lo expresado, en la mayoría de las planicies es la única solución factible.

El costo de una obra de protección con bordos longitudinales es función de la elevación que alcance el agua en el río una vez que dicha obra sea construida. Esa elevación depende, entre otros factores, de:

1. El gasto máximo de la avenida seleccionada.
2. La separación entre ambos bordos.
3. La longitud de los bordos.
4. La rugosidad del cauce principal y de avenidas. Se denomina cauce principal al del río propiamente dicho, limitado por sus márgenes u orillas naturales.

#### C) Muros de Encauzamiento a lo Largo de Ambas Márgenes del Río.

Un muro consiste en una frontera vertical colocada en sustitución de un tramo de bordo. Por tanto su operación y diseño hidráulico es similar al de los bordos longitudinales. Un muro de concreto o acero puede ser una medida eficaz para proporcionar protección contra inundaciones, ya que él ayudará a contener lateralmente el escurrimiento de arroyos y ríos, principalmente en las zonas bajas de estos. Dentro de los muros se incluye el cauce principal y define una región sobre la llanura de inundación que no es adecuada para asentamientos urbanos e industriales ya que estarían en peligro tanto las vidas humanas como los bienes materiales.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

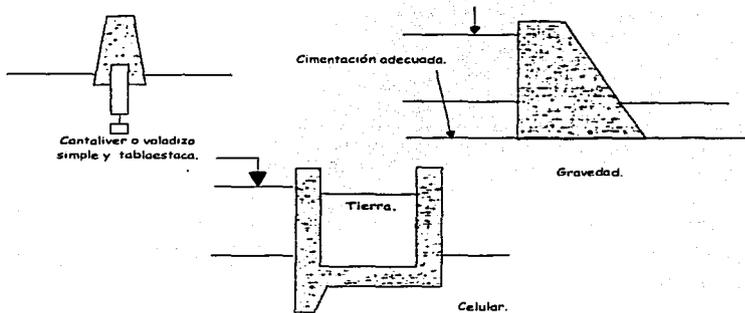
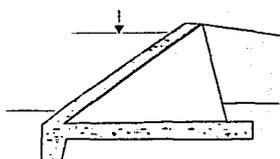
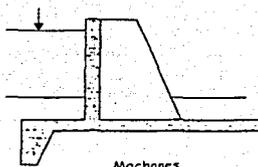


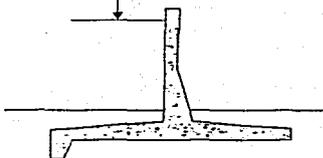
Fig. 4.8 Algunas Secciones Tipo de Muros de Encauzamiento.



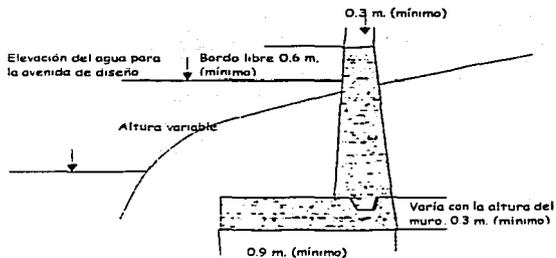
Losas y machones.



Machones.



Cantiliver en T.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 4.9 Sección Transversal de un Muro de Encauzamiento



Los muros se utilizan, en sustitución de los bordos, cuando los taludes de estos últimos son muy tendidos y por tanto el volumen de obra resulta ser demasiado grande; otra razón que justifica su utilización es a causa de falta de espacio disponible para construir un bordo. Esto se presenta frecuentemente cuando se tienen arroyos o ríos que cruzan zonas urbanas o bien los terrenos son muy solicitados y se trata de ocupar el menor espacio. También se utilizan soluciones combinadas de bordo con muro.

El muro se debe diseñar para soportar la presión hidrostática, incluyendo la presión, ejercida por el nivel del agua que corresponde a la avenida de diseño. Si el muro del lado protegido tiene un relleno de tierra debe funcionar también como muro de retención contra el empuje de tierras.

Por otra parte el muro debe ser protegido contra la erosión colocando enrocamiento en el lado expuesto al río. Como al construir el muro se impide el paso del agua que escurre lateralmente hacia el cauce debe construirse un sistema de drenaje como el recomendado para los bordos longitudinales. Hay que considerar que dependiendo del volumen esperado de agua que se pueda presentar en la zona protegida es necesario prever un sitio temporal para almacenar y bombear el agua.

Hay que señalar que no obstante que un muro requiere de un espacio relativamente pequeño, su costo puede ser mucho, mayor que el de un bordo de tierra. Adicionalmente, si el muro se encuentra localizado dentro de un área urbana puede ser objetado estéticamente por los residentes de la zona que pagaron un precio alto para contar con un paisaje libre de obstáculos.

Finalmente conviene mencionar que los muros pueden dar la sensación de proporcionar mucha seguridad, lo cual puede ser contraproducente ya que aumentaría la probabilidad de tener excesivos daños si se llegara a presentar una avenida que excediera la de diseño o bien que se haga una mala inspección y conservación de las obras.

D) Desvíos Permanentes por Medio de Cauces de Alivio, en que el agua es dirigida hacia otros Cauces, Lagunas Costeras o directamente al Mar. y ya no Retorna al Río.

Esta solución es derivar agua del cauce principal y conducirla, por medio de un canal, hacia el mar, una laguna o a otro cauce. El agua así desviada no retorna al río con lo que se logra reducir un gran volumen de agua al hidrograma del río en la sección donde inició el desvío.

Cuando se protege una zona con bordos longitudinales, se tiene el inconveniente de su alto costo, sobre todo si la longitud de la protección es muy larga y los bordos son altos. Cuando las alturas de los bordos son mayores que unos 4 m. es peligroso utilizar este tipo de defensa. Como se ha podido ver, la altura depende principalmente del gasto máximo de la avenida seleccionada y en menor grado del volumen de la misma. Para reducir la altura de

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

los bordos longitudinales se pueden construir desvíos permanentes o cauces de alivio, si topográfica y geográficamente ello es posible. El objetivo de la solución consiste en reducir los gastos de la avenida de diseño aguas abajo del desvío. Así el gasto desviado se restara al gasto que escurre hacia el desvío, y por tanto, aguas debajo de el la altura de los bordos será menor.

Los desvíos permanentes, generalmente, se forman sobre la planicie, limitando sus fronteras con dos bordos longitudinales. Por tanto, no se excava el canal de desvío, sino únicamente un pequeño cauce piloto cuyo material se utiliza para construir los bordos mencionados. La altura de dichos bordos es función inversa de la separación que existe entre ellos, por lo que conviene separarlos lo más posible. El terreno natural de la planicie forma el fondo del cauce de alivio; sin embargo, en ocasiones se tiene que excavar el canal o cauce de alivio, pero esto representa una solución demasiado costosa.

La operación del conjunto considera dos bordos longitudinales a lo largo del río, mas un cauce de alivio. En el sitio del desvío se interrumpe el correspondiente bordo del río y ambos extremos se unen a los bordos del cauce de alivio. Mientras los gastos en el río son bajos y no alcanza a sobrepasar la capacidad del cauce principal, todo el gasto escurre por el mismo.

E) Desvíos Temporales a Lagunas o Zonas Bajas de la Planicie de Inundación. El agua retorna al Río cuando disminuyen los Gastos de la Avenida.

Los desvíos temporales se realizan a los lados del cauce por proteger; existen zonas bajas o lagunas que puedan ser inundadas momentáneamente mientras dura una avenida.

Aunque sean zonas que tengan aprovechamiento agrícola o ganadero, los daños que se ocasionan al inundarlas son pequeños porque de antemano se destinan a ese propósito. Al escoger una zona para que reciba parte de las aguas de una avenida, se impide de antemano que en ella se construyan obras de cualquier tipo.

Esta solución, al igual que los cauces de alivio se combinan con bordos longitudinales. La diferencia principal estriba en que mientras con un desvío permanente se tiene la posibilidad de desviar volúmenes de agua muy grandes, con los desvíos temporales solo se puede desviar un volumen prefijado que es igual a la capacidad de la laguna, zona baja o deposito artificial delimitado o formado con bordos.

Otra diferencia consiste en que el agua almacenada en la laguna, retorna al río cuando descienden los niveles, ya que el volumen útil, debe estar disponible para la siguiente avenida. De aquí que en el estudio hidrológico se deba analizar la posibilidad de varias avenidas seguidas y los tiempos entre una y otra.



El área por inundar se debe limitar con bordos cuando se encuentra dentro de una zona baja muy extensa que no se desea que se inunde completamente o cuando ella esta comunicada con otras áreas que no deben inundarse.



Fig. 4.10 Desvíos Temporales.

Por lo que se ha mencionado, esta medida estructural requiere de una operación cuidadosa, ya que lo que se persigue con ella es disminuir la altura del hidrograma en el río, es decir, el gasto máximo que llegue a escurrir aguas abajo del desvío. Una obra de defensa con este tipo de obras es mas eficiente cuanto mayores sean los volúmenes que se puedan desviar lateralmente, lo cual se consigue si se dispone o si se pueden construir varios desvíos temporales en forma escalonada en una o ambas márgenes.

La recomendación que se propone para facilitar su operación consiste en abrir las compuertas de la sección de entrada del desvío cuando el nivel del agua en el río llega a una altura prefijada, que puede ser la altura de los bordos menos su bordo libre. Si la avenida que se va a presentar ya se ha estimado que será mayor que la de diseño, se debe modificar la elevación del agua para la cual se inicia el desvío, y que podrá ser la de los bordos menos un bordo mínimo de unos 0.15 m.

El cauce de comunicación entre el río y la laguna puede ser semejante a un cauce de alivio y podrá tener o no bordos en toda su longitud dependiendo de la topografía local. Si el agua desviada se dirige a la laguna, se puede dejar que escurra sobre la planicie, sin colocar bordos de encauzamiento. Si los terrenos en la planicie tienen un alto grado de aprovechamiento conviene limitar la zona de escurrimiento y construir bordos para encauzar el agua desviada e impedir que inunde grandes superficies.



Cuando se requiere vaciar la laguna para un futuro aprovechamiento es necesario excavar un canal, del centro de la laguna hacia el río. Ese canal tendrá una capacidad evacuadora que será función de la diferencia de niveles entre las superficies del agua en la laguna y en el río y por supuesto, de su geometría y dimensiones. El área de la sección transversal del canal dependerá del tiempo disponible para vaciar la laguna; es decir, del lapso que transcurre entre dos avenidas.

El canal de retorno se une al río aguas abajo del desvío y puesto que se tiene que impedir el llenado extemporáneo de la laguna, dicho canal debe contar con una estructura de compuertas, colocada cerca del cauce. Esas compuertas deben permanecer cerradas mientras sube la avenida y se abrirán cuando al descender la avenida, el agua en el río tenga una elevación menor que en el canal de retorno.

Los canales de retorno no tienen razón de ser cuando anualmente solo hay una avenida de importancia o cuando la infiltración y evaporación en la laguna permiten su vaciado antes de requerir nuevamente su utilización.

En muchos ríos no existen zonas bajas o lagunas a los lados del río, sino únicamente terrenos casi planos. Si además sus avenidas tienen volumen reducido, estas se pueden controlar desviando el agua a estanques artificiales delimitados con bordos. En la zona del desvío y junto a la orilla del río se coloca una estructura con compuerta que permite controlar el flujo del agua en ambas direcciones; es decir, del río al estanque y su retorno del estanque del río. El volumen disponible en un estanque depende del área entre bordos y sobre todo del desnivel que llega a existir entre la superficie del agua en el río al pasar el gasto máximo y la elevación media de la plantilla de dicho estanque.

Dependiendo de las características topográficas de los terrenos adyacentes a un río, un obra de control contra inundaciones basada en desvíos temporales, puede requerir de varios desvíos escalonados y distribuidos en una o ambas márgenes, logrando al final una abatimiento de consideración en los niveles del agua. Además, por la capacidad limitada de los estanques artificiales, ellos se recomiendan a lo largo de pequeños ríos con avenidas poco voluminosas.

**F) Corte de Meandros o Rectificaciones.** Incrementan la Pendiente del Río y por tanto su capacidad de Conducción Hidráulica.

Una forma de reducir los desbordamientos, en una longitud limitada de un río, consiste en aumentar la capacidad hidráulica del cauce principal, lo cual se logra rectificando un tramo del río.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Este aumento de capacidad se obtiene únicamente en el tramo rectificado y en el tramo inmediato aguas arriba de él. En el resto del río, las condiciones permanecen iguales, y por tanto, con la misma probabilidad de inundación.

Cuando en un río hay meandros, se puede hacer la rectificación del mismo que consiste en el corte de uno o varios meandros cuya capacidad hidráulica es mayor que la del río original, ya que su pendiente es mayor.

Conviene recordar que en los ríos existe una relación de equilibrio entre los gastos líquidos y sólidos que pasan por un tramo determinado, las dimensiones de la sección transversal del cauce, la pendiente hidráulica en el mismo tramo y las propiedades físicas del material que forma el fondo y orillas del cauce. Al cortar uno o varios meandros en un río se incrementa la pendiente, como se ha mencionado, con lo que se destruye el equilibrio. Para recuperarlo, el río tiende en forma continua, a suavizar la pendiente, lo que logra más fácilmente desarrollando nuevos meandros.

Esto es lo que debe ser evitado para la medida estructural aquí tratada, ello se logra protegiendo las márgenes del río con espigones o bien usando recubrimientos marginales, de tal manera que el río no se desplace lateralmente y por tanto, no pueda desarrollar nuevos meandros.



Fig. 4.11 Corte de Meandros.

Aún con la protección señalada, el río tenderá a disminuir su pendiente, y la única forma en que lo logra es erosionando el fondo hacia aguas arriba del corte y depositando el material erosionado aguas abajo de él. Esta medida erosiva continúa permanentemente si el



material del subsuelo es homogéneo e igual al material original del fondo, y puede disminuir si durante el proceso erosivo se descubren estratos mas resistentes, o con partículas de mayor tamaño con las que se acorace el fondo.

La erosión indicada aumenta el área hidráulica y por tanto pasaran por el tramo gastos mayores, lo cual se aprovecha para evitar desbordamientos. Esto es lo que permite utilizar el corte de meandros como obra de protección contra inundaciones, y es una acción recomendable únicamente si en el tramo señalado, es decir, desde la salida del último corte a la entrada del primero, existen poblaciones de importancia que se deseen proteger. Cuando solo hay terrenos agrícolas o ganaderos no se recomienda usarla por su alto costo.



Fig. 4.12 Rectificación de Corte de Meandros.

Por ultimo, para que esta medida estructural sea de utilidad, se debe dragar el río aguas abajo del ultimo corte, con objeto de retirar el material que se deposita y que proviene del fondo erosionado en los cortes aguas arriba de ellos.

**6) Presas de Almacenamiento. Puede ser una o varias Escalonadas.**

Las presas de almacenamiento o cortina que se construye en el río para cerrar el paso del agua y almacenarla. Para lograr dicho almacenamiento se pueden requerir diques secundarios que eviten la salida del agua y este no escurra hacia otras cuencas. Con ello se conforma el vaso donde se almacena el agua. Las otras dos obras adicionales de mayor importancia en una presa son: la de excedencias por donde son evacuadas las aguas que no



pueden ser aprovechadas, y la de toma por donde sale el agua que se utiliza para generar energía eléctrica, consumo humano o usos agrícolas.



Fig. 4.13 Presa de Almacenamiento o de Arco.

El propósito principal de las presas es almacenar el agua en exceso que hay en la época de lluvias, para utilizarla en la época de secas y así garantizar el riego, abastecimiento de agua potable o generación de energía eléctrica durante todo el año. Sin embargo, también se construyen presas con el único objetivo de controlar avenidas. Las presas aportan otros beneficios adicionales ya que sirven como zonas de esparcimiento, para practicar deportes acuáticos y para desarrollos piscícolas.

Todas las presas en mayor o menor grado, cualquiera que sea su propósito principal, ayudan en el control de inundaciones, ya que los gastos máximos que salen de sus obras de excedencias son menores que los máximos de entrada al vaso. Esta función de control depende de la relación entre el volumen de la avenida,  $V_a$  y el volumen en el vaso que hay entre los niveles de aguas máximas ordinarias, (NAMO) y de aguas máximas extraordinarias, (NAME) denominado comúnmente volumen para regulación de avenidas  $V_c$ .

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Cuanto mayor sea la relación  $V_c/V_a$  menor sea el volumen derramado a través del vertedor de excedencias. Si además se comparan dos presas con distintas relaciones,  $V_c/V_a$  e imaginariamente se hiciera pasar por ellas la misma avenida, esta sufrirá un mayor amortiguamiento y su gasto por el vertedor será menor, en la presa con mayor  $V_c/V_a$ .

Para entender como se regulan las avenidas en un embalse, supóngase que entra una avenida al mismo, cuando el agua en el vaso se encuentra a la elevación del NAMO, lo cual ocurre frecuentemente ya entrada época de lluvias. Además selecciónese un intervalo de tiempo que puede ser una, tres o seis horas.

En el primer intervalo entra en el vaso el volumen  $\Delta VE_1$  y al final del mismo la elevación alcanzada en el embalse es  $E_1$ , y por tanto, el volumen almacenado será de  $\Delta VA_1$ . En ese mismo intervalo el gasto extraído por el vertedor varía de cero al NAMO a  $Q_1$  al final del intervalo, lo que permite que se derrame un volumen  $\Delta VS_1$ . La relación entre los volúmenes mencionados cumple con la ecuación de continuidad, la que en cualquier intervalo se expresa como:

$$\Delta VE = \Delta VA + \Delta VS \quad (4.1)$$

donde:

- $\Delta VE$  = volumen de entrada en el intervalo, en  $m^3$ .  
 $\Delta VA$  = volumen de almacenamiento en el intervalo, en  $m^3$ .  
 $\Delta VS$  = volumen de extraído, por el vertedor como por la obra de toma en el intervalo, en  $m^3$ .

En función de los gastos, la ecuación (4.1) se escribe como:

$$\left( \frac{I_i + I_{i+1}}{2} \right) \Delta t = \Delta VA + \left( \frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \right) \Delta t \quad (4.2)$$

donde:

- $I_i, I_{i+1}$  =gasto de entrada en el instante, y en  $I_{i+1}$ , respectivamente.  
 $Q_i, Q_{i+1}$  =gasto de salida por el vertedor y obra de toma en el instante, y en el  $I_{i+1}$ , respectivamente  
 $\Delta VA$  =volumen de agua que se almacena en el vaso en el tiempo  $\Delta t$ .

$$\Delta VA = \Delta VA_{i+1} - VA_i \quad (4.3)$$

donde:

- $VA, \Delta VA_{i+1}$  =volumen en el vaso en los instantes  $i$  e  $i+1$ , respectivamente.

En el intervalo analizado, los tres términos de la ecuación 4.2 son dispositivos por lo que necesariamente se tiene que cumplir que:

$$\Delta VS < \Delta VE \quad (4.4)$$

es decir, el volumen de salida tiene que ser menor que el de entrada, mientras  $\Delta VA$  sea positivo; lo cual se cumple necesariamente durante todo el tiempo que dura la rama ascendente del hidrograma de entrada.

Para simplificar la explicación, supóngase además que en el instante inicial los gastos de entrada y salida son nulos, es decir:

$$I_0 = Q_0 = 0 \quad (4.5)$$

Al sustituir la ecuación 4.5 en la ecuación 4.2 se obtiene:

$$I_1 \Delta t = \Delta VA + Q_1 \Delta t \quad (4.6)$$

Y por tanto, el gasto de salida al final del intervalo será necesariamente menor que el de entrada; Mientras  $\Delta VA$  sea positivo.

$$Q_1 < I_1 \quad (4.7)$$

Si ahora se elige como duración del intervalo el tiempo que transcurre entre el inicio de la avenida hasta que ella alcanza su valor máximo, necesariamente se cumple que:

$$Q < I_{\text{máx}} \quad (4.8)$$

Es decir, que el gasto de salida por el vertedor y obra de toma o en general de la presa es necesariamente menor que el gasto máximo de la avenida. En otras palabras, la avenida es regulada y el gasto máximo de la avenida que entra a ella. Como además los desbordamientos en el río dependen del gasto máximo que escurre por él, dichos desbordamientos, aguas debajo de una presa, siempre serán menores o no existirán con la presencia de esa obra, que sin ella. El gasto de regulación de la avenida, es decir, la diferencia entre el gasto máximo de entrada y máximo de salida depende de la relación entre el volumen de la avenida, la capacidad para regular avenidas de la presa y la capacidad de descarga del vertedor.

Cuando los gastos de entrada empiezan a disminuir, lo explicado se cumple hasta el momento en que el gasto de entrada es igual al de salida y por tanto ya no se incrementa el almacenamiento en el vaso.



Fig. 4.14 Presa de Almacenamiento

Las presas de almacenamiento son las obras más confiables para el control de inundaciones y las más efectivas cuando el vaso formado tiene una gran capacidad, o se construyen varias en cascada: sin embargo, resultan ser muy costosas.

H) **Presas Rompe-Picos.** Generalmente se construyen varias Escalonadas.

Estas obras están formadas por una cortina, generalmente, de poca altura, una obra de excedencias y una de desagüe. Esta última está formada por orificios o por tuberías cortas, cuyo nivel inferior coincide con el fondo del cauce del río.

Estas obras son poco eficientes como estructuras evacuadoras. Así, por ejemplo, la descarga de orificios o tuberías cortas depende de la carga hidráulica a la potencia 0.5. Recuérdese que la descarga de los vertederos libres depende de la carga hidráulica a la potencia 1.5. La limitante señalada se aprovecha para lograr que el agua suba más rápidamente aguas arriba de la cortina y mayores volúmenes queden momentáneamente almacenados, al mismo tiempo que los gastos extraídos son bajos.

En otras palabras, se logra que al subir rápidamente el agua en el vaso, los gastos descargados se incrementen lentamente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



La estructura de desagüe también se puede formar con una escotadura de paredes verticales y ancho reducido, cuyo piso coincide con el fondo del cauce. La capacidad de evacuación de esta estructura es función de la carga hidráulica a la potencia 1.5.

La cortina generalmente es de concreto o mampostería y de preferencia debe estar cimentada en roca. Cuando lo anterior se cumple, la parte superior de la cortina conforma como un vertedor de cresta libre; en otras palabras, la cortina es vertedora.

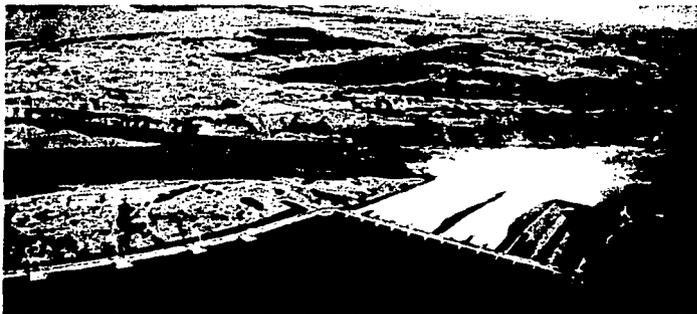


Fig. 4.15 Presa Rompepicos

La altura de las presas rompe-picos no sobrepasa los 20 m. ya que no se puede permitir velocidades erosivas que destruyan o alteren el concreto o acero en las estructuras de desagüe, ni la roca inmediatamente aguas debajo de ellas. Cuando se construyen de mayor altura sus estructuras evacuadoras no se colocan al nivel del río, sino en la parte media de la cortina.

El funcionamiento de la obra es el siguiente:

Cuando el río tiene escurrimientos normales toda el agua y sedimentos pasa por la obra de desagüe y el escurrimiento no se ve afectado por la presencia de la cortina, ya que aguas arriba de ella prácticamente no hay agua almacenada.

Al presentarse una avenida, parte del agua se almacena mientras otra parte sale por la obra de desagüe.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Si se llega a presentar la avenida de diseño seleccionada para esta obra, por la obra de desagüe pasara el gasto máximo regulado, mientras que el vaso se llena completamente.

Cuando la avenida que se presenta es mayor que la de diseño hay un lapso en que el agua escurre tanto por la obra de desagüe como por el vertedor de excedencias; mientras que parte del volumen queda almacenado.

Cuando termina de pasar la avenida, el agua y los sedimentos siguen saliendo por el desagüe hasta que el vaso se vacía nuevamente.

Las presas rompe-picos se utilizan normalmente en torrentes en donde las condiciones de cimentación son favorables y las avenidas poco voluminosas.

Ellas sirven para proteger poblaciones que son atravesadas por arroyos o torrentes y son económicas cuando se tienen condiciones geológicas y topográficas adecuadas y el fondo del río es rocoso y resistente a la erosión del agua.

Como los torrentes tienen generalmente fuerte pendiente y los embalses formados no de poca capacidad, se acostumbra colocar varias presas en cascada para abatir el gasto máximo de la avenida, hasta lograr que el gasto máximo aguas abajo del conjunto pase por el cauce sin desbordar.

El número de presas rompe-picos que se colocaran en cascada depende de las condiciones geológicas y topográficas del tramo, del volumen del embalse que cada una pueda formar del volumen de la avenida de diseño.

Así por ejemplo, supóngase que se tienen tres presas rompe-picos escalonadas y diseñadas en conjunto para regular una avenida con periodo de retorno de  $n$  años, las que por comodidad de explicación son idénticas en sus dimensiones y capacidades.

Cuando se presenta la avenida de diseño, el gasto máximo que pasa por la tercera presa de aguas abajo, ya regulado por el conjunto, lo hará únicamente por el desagüe, mientras el vaso esta lleno hasta la elevación de la cresta del vertedero de excedencias.

En cambio, el gasto máximo que pasa por las otras dos presas lo hará simultáneamente por el desagüe y por la obra de excedencias, siendo evidentemente este último mayor en la primera presa de aguas arriba.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

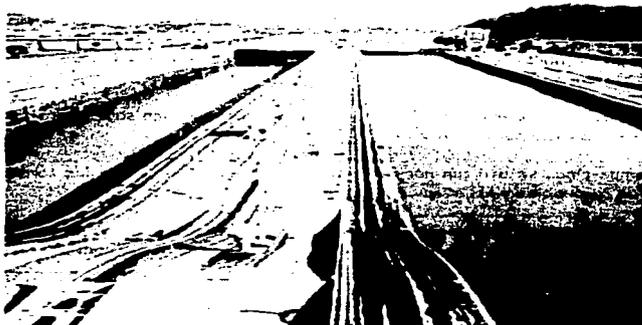


Fig. 4.16 Obra de Excedencias

I) Presas para Retener Azolves. No Afectan los Hidrogramas pero evitan el Azolvamiento de otros Cauces.

Son pequeños diques interpuestas a la corriente que se colocan en torrentes y arroyos. Generalmente, tienen una altura de 2 y 10 m. aunque se han construido hasta de unos 35 m.

Consisten de un dique construido de concreto, mampostería, gaviones o elementos prefabricados en cuya corona se forma una escotadura que sirve como obra de excedencias o vertedor.

Usualmente no tienen obra de toma y toda el agua pasa a través del vertedor. Cuando el dique es de mayor altura y se alcanza a formar un embalse, que funciona como tanque de sedimentación, se construyen en la cortina uno o dos orificios para desaguar lentamente el agua acumulada.

A diferencia de las presas rompe-picos, estas descargas no se localizan al pie de la cortina sino a una cierta altura sobre el fondo.

Si el volumen del embalse es del orden del volumen de las avenidas, estas presas trabajan como presas rompe-picos en los primeros años de su vida útil antes de que se llenen de sedimentos.



Fig. 4.17 Presa Retenedora de Azolves

La función de estas obras consiste en retener parte de los sedimentos que proceden de aguas arriba, y puesto que sus vasos usualmente son reducidos se construyen varias en cascada.

Las presas retenedoras de azolve, que tienen poca altura, se llenan muy pronto, pero aun así tienen un efecto positivo, ya que disminuyen la pendiente del fondo del cauce y ocasionan una pérdida de carga hidráulica cuando el agua pasa por el vertedor y cae contra el fondo del cauce o el fondo del tanque que se coloca aguas debajo de ellas. En función de la altura de la cresta del vertedor, sobre el fondo, de los gastos máximos que pasan por él y del material del fondo y orillas del cauce, se diseñara la protección al pie de la caída de cada presa.

Téngase en mente que estas presas no alteran el hidrograma de la avenida: sirven para disminuir la capacidad erosiva de los escurrimientos y por tanto reducir el transporte de sedimentos, pero sobre todo para retener ciertos volúmenes de sedimentos. Todo ello favorece que al descargar esos arroyos o torrentes en otros mas grandes e importantes, lo hagan con menores volúmenes de sedimentos, y por tanto no se azolven esos últimos. No debe olvidarse que la pendiente de los arroyos es mayor que la de la corriente principal en la cual descargan, y esta última no tiene la misma capacidad de transporte de sedimentos que los primeros.

De no evitarse la sedimentación de los cauces de aguas abajo, estos perderán área hidráulica al subir de nivel el fondo y, en consecuencia, se desbordarán y producirán



inundaciones. Esta sedimentación es que se pretende evitar con la construcción de presas retenedoras de azolve en todos los afluentes y arroyos.

**J) Remoción de la Vegetación.** Principalmente en los Cauces de Avenidas Limitados por Bordos Longitudinales. Es muy útil también a lo Largo de los Cauces de Alivio.

Se ha indicado que la rugosidad de un cauce es uno de los factores que mas intervienen en la pérdida de carga y por tanto, en la magnitud de los tirantes o elevaciones del agua que escurre por él. A mayor rugosidad menor velocidad media, la que para un mismo gasto exige áreas hidráulicas mayores, que en general, se logran con mayores tirantes. En los escurrimientos naturales, dicha rugosidad se incrementa notablemente por la presencia de obstáculos como rocas o vegetación. Otros factores que intervienen en la pérdida de carga en los cauces naturales son las ampliaciones y reducciones de la sección, irregularidades de las márgenes, bifurcaciones y curvas. Aquí solo se trata la vegetación porque influye a veces más que todos los agentes antes mencionados y su presencia puede ser controlada.

Al tratar la vegetación en aguas naturales se debe distinguir, entre cauces con agua todo el año y cauces que no tienen agua todo el tiempo, la época de estiaje tienen escurrimientos muy reducidos o nulos. Además, si se han construido bordos longitudinales se debe diferenciar entre el cauce principal y el de avenidas. Cuando existen desvíos permanentes, el cauce entre bordos se trata como un cauce de avenidas.

En los cauces principales de los ríos que llevan agua todo el año no puede crecer la vegetación y la rugosidad depende, principalmente, de la granulometría del material del fondo y orillas y de las ondulaciones que se desarrollan en el fondo. Sin embargo, si dentro del cauce principal hay islas y esta tienen vegetación, se incrementa la capacidad hidráulica removiendo la vegetación de las islas, pero únicamente si su presencia origina sobreelevaciones importantes aguas arriba y provoca desbordamientos que pudieran reducirse con la remoción señalada.

En los cauces que llevan poca o nada de agua en la época de estiaje y que conservan humedad en el subálveo crece abundante vegetación, la que salvo situaciones extremas no es posible remover año con año en forma económica.

La primera, cuando hay poblaciones a lo largo del río. Si al obtener los perfiles del agua con y sin vegetación, se conoce que la longitud del río que debe ser limpiada aguas debajo de las poblaciones es reducida y la limpia anual es económicamente factible, el remover la vegetación es una solución que ayuda a disminuir los desbordamientos frente a las poblaciones y a lo largo del tramo que ha sido limpiado. La limpieza de los cauces debe hacerse, como mínimo, aguas debajo de las poblaciones, porque el régimen de los escurrimientos en los ríos es subcrítico normalmente.

La segunda situación se presenta en los puentes. En ellos se desea que el flujo se

TESIS CON  
FUENTE DE ORIGEN

distribuya lo más uniformemente posible en todos los claros de esas estructuras. Para lograrlo, se debe remover la vegetación del cauce principal en un área que abarca 500 m. aguas arriba del puente y 200 m. aguas abajo del mismo. De no hacerse lo anterior, el flujo se concentra en la parte de la sección del puente donde no hay vegetación, provocando en ella erosiones en el fondo del cauce y al pie de las pilas y estribos, así como asolvamiento en donde las velocidades son menores por la presencia de vegetación. Ese asolvamiento reduce el área hidráulica en parte de la sección y contribuye al incremento de las erosiones señaladas, en la zona de la sección donde no hay vegetación.

En los cauces de avenidas formados entre los bordos longitudinales y la orillas del río así como en los cauces de alivio, necesariamente deben cortarse cada año todos los arbustos y matorral que haya crecido, para no disminuir la capacidad hidráulica de las medidas estructurales mencionadas. Téngase en mente que los cauces de avenidas y los de alivio no solamente deben de estar libres de vegetación durante la época de lluvias, sino que son áreas en donde no debe construirse nada que afecte al libre escurrimiento del agua, incluidas viviendas, cercas, terraplenes para caminos y bordos para canales, por citar solo algunos ejemplos. Durante la construcción de bordos longitudinales o cauces de alivio deberán removerse todos los obstáculos y el precio de esa actividad deberá incluirse en el costo del proyecto de control de inundaciones.

Por último, la remoción de la vegetación debe programarse para ser concluida anualmente al término de la época de estiaje.

#### K) Dragado del Cauce Principal y Demolición de Obstáculos.

Proceso de eliminación de suelo o de materiales del fondo de ríos, lagos o puertos de mar. El material recogido del fondo se llama escombros. Las máquinas utilizadas se llaman dragas; cuentan con equipos de aspiración o de excavación movidos por un motor diesel y montados sobre una plataforma flotante.

Las dragas se utilizan para hacer más profundas o más anchas las vías navegables, extraer el material de relleno necesario para elevar tierras sumergidas por encima del nivel del agua, construir diques, preparar la colocación de cimientos bajo el agua y para extraer minerales y muestras de vida marina.

Se utilizan varios tipos de dragas para extraer escombros. Las de cuchara tienen un brazo móvil que saca los materiales del fondo. Otro modelo utiliza una cuchara suspendida de unos cables desde el brazo de una grúa que la hace adecuada para dragar en aguas profundas. Las dragas de cangilones llevan una cinta transportadora equipada con pequeñas cucharas. Las dragas hidráulicas de succión se utilizan en terrenos blandos y suelen estar acopladas a una tubería flotante que transporta los materiales hasta la orilla.

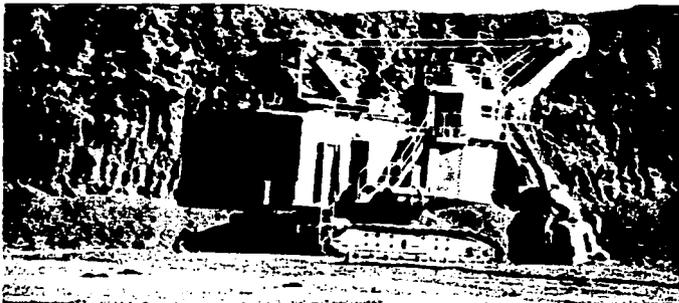


Fig. 4.18 Maquinaria para Dragado.

Las dragas utilizadas en minería por lo general separan los escombros de los materiales valiosos y los eliminan. Las dragas disgregadoras abren vías de navegación agitando el fondo para que la corriente se lleve los sedimentos.

En zonas de piedra se utilizan disgregadores rotatorios para raspar el fondo de los ríos. En estuarios poco profundos se utilizan unas pequeñas dragas parecidas a los aerodeslizadores. El término draga también se aplica a unas pequeñas excavadoras que utilizan los científicos para recoger muestras de suelo, de fauna y de flora del fondo marino.

L) Reforestación de la cuenca. Retarda el tiempo de concentración y disminuye el coeficiente de escurrimiento.

La pérdida o destrucción de la vegetación y cobertura vegetal de una cuenca ocasiona entre otros efectos los que a continuación se señalan, y repercuten en los escurrimientos de los arroyos y ríos.

- I. Reducen los tiempos de concentración del agua en las corrientes que drenan esa cuenca, por lo que las avenidas ocurren con mayor rapidez, duran menos tiempo, pero sus gastos son mayores.
- II. Disminuyen la infiltración, sobre todo si las pendientes del terreno son altas. Ello puede incrementar, en forma notable, el volumen de la avenida.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



III. Incrementan considerablemente los volúmenes de sedimentos que llegan a los arroyos y ríos. Si ellos no tienen capacidad para transportar se produce un azolvamiento de los cauces y estos pierden capacidad hidráulica. Así mismo, favorecen el azolvamiento y la obstrucción de puentes y alcantarillas, y reduce la vida útil de las presas de almacenamiento.

De los efectos indicados, el último es el más importante en cuanto a las inundaciones se refiere, ya que al llegar más sedimentos a los ríos cambia sus condiciones de estabilidad. Lo primero que ocurre es el llenado parcial de los cauces con esos sedimentos, después la formación de cauces trezados o con islas y como consecuencia final, la reducción de la capacidad hidráulica de las corrientes, por lo que las aguas empezaran a desbordarse con gastos menores.

Por tanto, para conservar la capacidad hidráulica de los ríos y arroyos y lograr que los hidrogramas tengan mayor duración y menor gasto máximo se debe evitar la destrucción de la cobertura vegetal de la cuenca o reforestarla. Cuando los terrenos de la cuenca se aprovechan para la agricultura, se deberán utilizar prácticas adecuadas de cultivo para eliminar la pérdida de suelo y el azolvamiento de los cauces.

Además de la recuperación y conservación de la cobertura vegetal, se deben proteger los cortes de los caminos, el material de excavación que es colocado ladera abajo en cortes en balcón y los propios terraplenes de esos caminos, ya que en algunas zonas, son la fuente más abundante de sedimentos que llegan a los ríos y arroyos y que contribuyen a su azolvamiento.

M) Canalización o Entubamiento de un Cauce. Se utiliza en los Tramos en que los Arroyos o Ríos Cruzan Poblaciones o Ciudades.

Canalizar y recubrir un cauce o entubarlo con un conducto subterráneo son soluciones técnicamente factibles cuando se tienen niveles bajos del agua en los arroyos o ríos que pasan cerca de una zona urbana. La función de cualquiera de estas soluciones consiste en conducir el agua a niveles menores que los que se presentan en condiciones naturales, o confinarlos. Con ello, se logran reducir las inundaciones y aprovechar los terrenos aludados a las obras de conducción.

Una consecuencia de la modificación de un cauce es reducir el ancho de la llanura de inundación. Las posibles modificaciones que pueden hacerse a un cauce son: canalizarlo y entubarlo. Para canalizarlo se conforma el nuevo cauce y se colocan revestimientos de concreto, gaviones u otro tipo de material de protección en el fondo y orillas del nuevo cauce y se reconstruyen sus puertas y alcantarillas.



Cuando los tubos quedan enterrados, bajo el nivel del terreno natural, esta solución ofrece la ventaja de que el terreno que queda por arriba del entubamiento se puede destinar a otros usos.

Esta solución se puede llevar a cabo con tuberías metálicas o conductos de concreto reforzado, cuya sección transversal puede ser muy variada, principalmente se diseñan con sección circular o rectangular. Cuando la tubería no puede quedar enterrada, al menos se confinan los escurrimientos y se aprovechan las áreas aledañas que antes se inundaban y ahora quedan libres de ese efecto.

En ocasiones, cualquiera de estas medidas sirven también para controlar la erosión en tramos relativamente pequeños de cauces que tengan fuerte pendiente y poblaciones a sus lados. Esa erosión puede poner en peligro a estructuras y casas o bien provocar problemas de sedimentación aguas abajo.

Se recomienda que la canalización de un cauce o su entubamiento se diseñen para conducir, como mínimo, la avenida con un periodo de retorno de 100 años. Por otra parte, cualquiera que la existente en condiciones naturales, ya que la modificación de un cauce aumenta la velocidad de agua. Por ello, debe protegerse el fondo y las márgenes con concreto, mampostería o tabla-estacados metálicos o de concreto.

Al diseñar estas obras deben considerarse las transiciones entre el cauce natural y la entrada y la salida de ellas. En la entrada se diseñara una contracción y en la salida una expansión; principalmente en esta ultima, la transición debe tener enrocamiento al final de ella para evitar erosiones locales.

Cuando se diseña un entubamiento o una canalización a lo largo de una población, los terrenos a los lados de esas obras, que ya no son inundados, adquieren un alto valor comercial. Con la venta de esos terrenos se cubre, en mayor o menor grado el costo de las obras aquí mencionadas.

#### N) Combinaciones más Usuales de Medidas Estructurales.

Las obras en forma aislada se construyen con mayor frecuencia para controlar inundaciones son las presas de almacenamiento y los bordos longitudinales. A estos le siguen los bordos perimetrales, las presas retenedoras de azolve y los desvíos permanentes, aunque en algunas regiones también se utilizan las presas rompe-picos. En nuestro medio se usan muy poco los desvíos temporales, el corte de meandros o rectificación de ríos y los dragados.

En los arroyos y ríos que atraviesan poblaciones, las obras mas frecuentemente utilizadas son las canalizaciones y muros de encauzamiento o longitudinales, u en menor grado el entubamiento.



La reforestación de cuencas y la remoción de la vegetación en los cauces de avenidas limitados por bordos longitudinales y en los cauces de desvío permanentes deberían ser implementadas con mayor frecuencia; sin embargo, su alto costo y atención permanente, conducen a que sean utilizadas con poca frecuencia, o en áreas muy limitadas. En un futuro próximo, y cuando exista una plena conciencia de sus beneficios, la reforestación de las cuencas será una practica usual.

El control de las inundaciones a lo largo de un río no siempre se logra con una sola de las medidas estructurales descritas, sino con la combinación afortunada de varias de ellas, cuando las condiciones geográficas y topográficas lo permiten.

Las combinaciones más usuales son:

1. Varias presas de almacenamiento en forma escalonada.
2. Presas de almacenamiento, bordos longitudinales con o sin remoción de la vegetación en el cauce de avenidas.
3. Presas de almacenamiento, bordos longitudinales y desvíos permanentes con o sin remoción de la vegetación en el cauce de avenidas y el desvío.
4. Presas de almacenamiento pequeñas rompe-picos y entubamiento a lo largo de poblaciones.
5. Pequeñas presas de almacenamiento o presas rompe-picos y canalizaciones a lo largo de poblaciones.
6. Presas retenedoras de azolve y/o rompe-picos y canalizaciones a lo largo de poblaciones.

Las canalizaciones que se han mencionado pueden tener el cauce principal excavado y el de avenidas limitado por bordos longitudinales o muros de encauzamiento.

Debe tenerse siempre en cuenta, que cuando se construyen bordos longitudinales, se deben seleccionar zonas aldeañas, poco productivas, que puedan ser inundadas, mediante la rotura de los bordos, cuando la avenida de diseño sea sobrepasada.

#### O) Medidas Estructurales para Evitar o Reducir Inundaciones por Lluvia Local.

El agua de lluvia que cae en una región se puede acumular produciendo también inundaciones. Esas inundaciones se deben a diferentes causas, entre las que se pueden señalar:



- Suelos poco permeables.
- Terrenos con poca o nula pendiente.
- Terrenos confinados en forma natural.
- Terrenos confinados artificialmente con terraplenes de caminos, ferrocarriles, canales y bordos longitudinales.
- Drenaje natural azolvado o destruido.
- Lluvia en exceso, mayor capacidad de drenaje local.
- Incremento en la elevación del nivel freático.

Las inundaciones por lluvia local se reducen o evitan completamente con un drenaje adecuado, que puede estar formado por uno o varios de los elementos siguientes:

- Drenes, desde uno hasta una red completa. Incluye la excavación de los drenes, así como la de los tajos y túneles que sean necesario.
- Estaciones de bombeo.
- Compuertas.
- Puentes y Alcantarilla.
- Dragados de cauces y drenes actuales.
- Remoción de la vegetación en cauces y drenes existentes.

#### P) Drenes.

Son canales cuya sección es excavada en el terreno natural. Se construyen para coleccionar agua de lluvia, abatir el nivel freático cuando este se encuentra muy cerca de la superficie del terreno y desaguar agua estancada o de pantanos cuando se encuentra confinada y no puede escurrir en forma natural.

Se deben colocar a lo largo de las zonas mas bajas. La separación entre ellos dependerá de la intensidad de las lluvias, las áreas por drenar, y la permeabilidad de los suelos; en otras palabras, de los gastos por drenar.

Los drenes deben tener pendiente uniforme, de ser posible. Su sección transversal dependerá de la pendiente y del gasto que drenen, por lo que al avanzar hacia aguas abajo el ancho de la plantilla aumenta. Estos aumentos de sección se realizan por tramos.

Si la zona por drenar se encuentra confinada en forma natural y dependiendo de la geología y la topografía, a lo largo del dren, se debe cortar el confinamiento mediante tajos y túneles.

Si existen condiciones geográficas y topográficas adecuadas, los drenes o el dren principal, si la red converge en uno solo, deben terminar en un cauce natural. De no existir esas condiciones terminaran en una estación de bombeo o estructura de compuertas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Si el confinamiento lo forma el terraplén de un camino, este se deberá cortar para dejar pasar los drenes, lo que obliga a la construcción de puentes.

En los drenes no debe haber transporte de sedimentos para que se conserven la pendiente y forma de la sección transversal, y evitar erosiones de las márgenes que reduzcan desplazamientos laterales. Como la mayoría de los drenes se construyen con sección trapecial y sus cauces son estrechos, se deben diseñar con el método del esfuerzo cortante crítico, mediante el cual el esfuerzo cortante que ejerce el agua contra los taludes es igual al que resiste el material de los mismos.

#### Q) Plantas de Bombeo.

Estas plantas se utilizan cuando el nivel de la superficie del agua en el dren esta a una elevación menor que la del río o laguna en que se pretende descargar o cuando existe una barrera, como puede ser el terraplén de un bordo longitudinal o camino, entre el dren y el cuerpo receptor. Las plantas de bombeo se ubican en la parte final de un sistema de drenaje, aunque en sistemas complejos también pueden requerirse estaciones de bombeo intermedias dependiendo de la topografía y niveles de las plantillas de los drenes. Las plantas de bombeo intermedias pueden conducir el agua a cauces naturales o comunicar un dren con otro que tenga su plantilla a una elevación mayor. En las que extraen el agua, el área por drenar, hacia ríos o lagunas, el agua bombeada es conducida a ellos por medio de tuberías o canales de descarga.

#### R) Compuertas.

Las estructuras con compuertas se ubican al final de un sistema de drenaje, aunque difiere sustancialmente, ya que mientras las plantas de bombeo permiten drenar agua continuamente, las estructuras con compuertas solo lo hacen cuando el nivel del agua es el dren se encuentra a una elevación superior que la del cuerpo receptor. Cuando ocurre lo contrario, las compuertas se deben cerrar para evitar que el agua del cuerpo receptor pase hacia los drenes e inunde el área que se pretende drenar.

Las estructuras con compuertas se utilizan cuando se cumplen las condiciones siguientes:

1. Como ya se ha mencionado, exista un desnivel entre las superficies del agua en el dren y el cuerpo receptor que permita el flujo hacia este último. En esas condiciones las compuertas están abiertas total o parcialmente dependiendo del nivel del agua que se desea conservar en los drenes. La condición anterior debe presentarse la mayor parte del tiempo.
2. Que durante el tiempo en que el nivel del agua en el cuerpo receptor es mayor que en el dren, y por tanto, las compuertas están cerradas y se impide el desagüe del dren, el agua



que se acumule lo haga dentro de los drenes o en algún estanque construido para este fin. O bien, que si el agua almacenada llega a desbordarse, la inundación producida no ocasione daños económicos. Si todo lo indicado no se cumple, necesariamente se debe instalar una planta de bombeo. Por lo antes señalado, los tramos finales de todos los drenes que llegan a una estructura de compuertas deben diseñarse con secciones más anchas para que pueda almacenarse en ellos el volumen de agua que no es posible drenar cuando las compuertas están cerradas.

#### S) Puentes y Alcantarillas.

Los terraplenes de las carreteras y ferrocarriles son una frontera al paso del agua. Para reducir esa medida se construyen puentes y alcantarilla, generalmente, donde hay cauces de arroyos y ríos, pero deben ser colocados también donde existan escurrimiento sobre el terreno y el terraplén lo interrumpa. Además se deben construir puentes para dejar paso a los drenes si los hubiera.

#### T) Dragados de Cauces y Drenes Actuales.

Esta medida permite aumentar la capacidad hidráulica de los cauces naturales y recuperar la de los drenes existentes. En los dragados de los primeros se debe tener en mente lo explicado, aunque aquí se trata de los pequeños arroyos y cauces donde se concentra el agua de lluvia de un área determinada. Si al escurrir el agua sobre el terreno natural arrastra sedimentos hacia los cauces, ellos se sedimentan en los tramos donde la corriente no es capaz de arrastrarlos, y dichos tramos se azolvan. Este fenómeno se ve reforzado por el crecimiento de vegetación en los cauces, deforestación de la cuenca y técnicas de cultivo inadecuadas.

Junto con la medida de dragado, deben buscarse las causas que incrementen la aportación de sedimentos hacia ellos, para controlar y disminuir dichas aportaciones. Con esto se logra que los dragados sean más efectivos y duraderos.

El dragado de los drenes se debe llevar a cabo cuando se han derrumbado algunos taludes o cuando al escurrir sobre el terreno natural ha arrastrado partículas de suelo hacia los drenes y estos se han azolvado.

#### U) Remoción de la Vegetación en Cauces Naturales y Drenes.

Como ya se menciona la presencia de vegetación disminuye la capacidad hidráulica de cualquier cauce, ya que incrementa su rugosidad y por tanto decrecen las velocidades de los escurrimientos. Las bajas velocidades que normalmente tiene el agua en los drenes y la presencia de humedad favorece el crecimiento de maleza acuática dentro de ellos y de vegetación en sus taludes. La remoción de la vegetación es una medida obligada anualmente

y muy efectiva para mantener la capacidad hidráulica de los arroyos y drenes: deberá hacerse para dejar los drenes limpios antes de la época de lluvias.

#### 4.3 MEDIDAS INDIRECTAS.

Las medidas no estructurales o indirectas son aquellas que no incluyen la construcción de obras como las ya antes mencionadas. Su objetivo principal consiste en evitar o reducir los daños causados por inundaciones, sobre todo las pérdidas humanas, avisando oportunamente a la población y cuando es factible, encauzando los escurrimientos. Esto último se logra cuando el agua desbordada sobre la planicie, se le permite un paso libre, rompiendo los canales o caminos que se pueden interponer a su desplazamiento, o bien excavando algunas zonas, hasta que ella retorna al río nuevamente, en algún tramo de aguas abajo.

Por otra parte, las medidas para la prevención de desastres tienen también como objetivo evitar pérdidas humanas y auxiliar a la población ante la presencia de cualquier desastre. Por tanto, su campo de acción es mayor que el de las medidas no estructurales.

Cuando el daño o peligro está relacionado con inundaciones, dentro de las medidas para prevención de desastres por inundación se encuentran comprendidas las acciones no estructurales.

##### Medidas para la Prevención de Desastres Naturales.

Todas las medidas que sirven para reducir o evitar los daños causados por fenómenos naturales que pueden ocasionar un desastre, así como las medidas que permiten auxiliar a la gente y proporcionarle ayuda oportuna durante la presencia de estos fenómenos reciben el nombre genérico de " Medidas de prevención de Desastres ".

Las medidas para la prevención de desastres se han extendido además para auxiliar a las poblaciones en peligro o dañadas por sabotaje o vandalismo, así como la falla accidental de instalaciones y complejos industriales que manejan sustancias inflamables, tóxicas, explosivas o radioactivas.

Las medidas para la prevención de desastres están relacionadas con la planeación, organización, coordinación y ejecución de las medidas siguientes:

1. Establecer la organización y elaborar los programas, procedimientos y normas a seguir desde que se detecte un fenómeno que pueda ocasionar un desastre, durante la ocurrencia del mismo y hasta que el peligro ha pasado y se restablezcan las condiciones iniciales.



2. Organizar y coordinar todas las medidas, personas y dependencias gubernamentales y privadas relacionadas con un posible desastre particular.
  3. Entrenamiento del personal responsable de las medidas aquí numeradas.
  4. Establecer un sistema de alarma que permita avisar oportunamente a la población, ante la presencia de un fenómeno que pueda ocasionar un desastre si este es predecible oportunamente.
  5. Capacitar a las personas que pueden ser afectadas, para que sepan que hacer y a quien recurrir ante la ocurrencia de un desastre.
  6. Diseño, construcción, operación y conservación de las obras necesarias para mitigar o evitar un desastre.
  7. Cuando se trate de una inundación, el establecimiento y ejecución de las medidas no estructurales.
  8. Ayudar a la población en peligro. Incluye la construcción y operación de campamentos y centros de primeros auxilios.
  9. Evacuar, en forma segura y ordenada, a la población que sea o pueda ser afectada.
  10. Proporcionar asistencia sanitaria, médica y social.
  11. Evitar robos y pillaje durante la ocurrencia de un desastre o en los poblados y zonas que han sido evacuadas.
  12. Ayudar a la población afectada, proporcionando techo y alimentos hasta que puedan ser reacomodados o reparadas sus viviendas.
  13. Restaurar, en el menor tiempo posible, todos los servicios interrumpidos durante el desastre. Entre ellos los de agua potable, drenaje y energía eléctrica.
  14. Reparación de las vías terrestres y de los servicios de comunicación afectados.
  15. Evaluación de las medidas adoptadas, así como de sus logros y deficiencias para retroalimentar los puntos uno y dos.
- Las medidas que se han señalado sirven de ejemplo para mostrar la diversidad de las mismas y la variedad de disciplinas que deben ser consideradas. Todo ello muestra además, la

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



importancia de una adecuada coordinación y la clara necesidad de una definición de responsabilidades.

Las medidas para la prevención de desastres son planeadas y/o ejecutadas por diferentes entidades o instituciones federales, estatales y locales que deben de estar debidamente coordinadas entre sí.

Por otra parte, las medidas para la prevención de desastres son ejecutas en diferentes tiempos. Algunas deben analizar con muchas antelaciones a la ocurrencia de un desastre, otras cuando se inicia y detecta el fenómeno que lo puede ocasionar, otras más durante la ocurrencia del mismo y por ultimo, otras se ejecutan al pasar el desastre.

En cada situación particular, el numero y magnitud de las medidas para la prevención de desastres depende de diferentes factores, entre los que se pueden citar: el costo de los daños esperados, el numero de las posibles victimas, la frecuencia y magnitud del desastre, los recursos financieros y humanos, el equipo disponible, además de las condiciones políticas y sociales que cambian con el tiempo y el lugar.

#### **Medidas No Estructurales Relacionadas con las Inundaciones.**

Las medidas no estructurales para el control de las inundaciones son todas aquellas que no están relacionadas con la construcción directa de obras y que permiten avisar a la población que puede sufrir una inundación, así como el control y manejo de los escurrimientos, cuando ello es factible, para minimizar los daños.

Las medidas no estructurales consisten principalmente de:

1. Los estudios hidrológicos que permitan conocer con antelación las características hidráulicas de los escurrimientos a lo largo de un río y de su planicie.
2. El control y operación de las obras hidráulicas existentes, principalmente las presas cuyas obras de excedencias tengan compuertas, y las estructuras de control de los desvíos permanentes y temporales, incluida la supervisión y reparación de las medidas estructurales u obras de control que lo ameriten.
3. El control de los escurrimientos, tanto en el río como en la planicie; es decir, toda medida que desvíe o interrumpa los escurrimientos en zonas determinadas.
4. Sistema de Monitoreo y Alertamiento de posibles Inundaciones hacia la Población.



# CAPITULO 5

# APLICACIONES

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

147A



## APLICACIONES.

A continuación desarrollaremos a manera de ejemplo, dos situaciones reales que muestran el procedimiento a seguir en el control de inundaciones. Primeramente trataremos el caso del desbordamiento del Río Madrastra en Arandas Jalisco y a continuación el de Barranca de Guadalupe en la Delegación Álvaro Obregón Distrito Federal.

### CONTROL DE INUNDACIONES DEL RÍO MADRASTRA EN ARANDAS, JALISCO.

#### Problemática

El poblado de Arandas Jalisco se encuentra enclavado a los márgenes del Río Madrastra y debido a las precipitaciones en exceso que se han presentado en la zona durante los últimos años este ha sido afectado con inundaciones de gran magnitud. Con la finalidad de prevenir y controlar dichas inundaciones y proporcionar la mejor alternativa estructural se realizó el siguiente estudio, que de manera general consta de las siguientes etapas:

- a) Estudios Preliminares: El objetivo de estos es determinar las características topográficas generales de la zona en estudio así como las propias del cauce en cuestión.
- b) Características fisiográficas y climatológicas: Estas nos permiten conocer la respuesta ante una tormenta ligada estrechamente a las condiciones del cauce y de la cuenca.
- c) Estudio Hidráulico: Comprende las secciones topo hidráulicas del cauce, es decir, las secciones topográficas del cauce asociadas a los niveles de agua del río.
- d) Estudio Hidrológico: Nos permite con los datos de precipitaciones, determinar la magnitud del evento (gasto de diseño), para un periodo de retorno.
- e) Diseño de la estructura: Con los resultados obtenidos de los estudios anteriores se procede a elegir la mejor alternativa estructural.
- f) Conclusiones

Los trabajos realizados consistieron en:

Poligonales de apoyo, secciones transversales (determinando los puntos de máxima inundación), planta topográfica, y la nivelación del fondo del cauce, secciones transversales en los puentes y determinación de características topográficas de los ríos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Tabla 5.1

|                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| Área Drenada         | 37.40 Km <sup>2</sup> |
| Tamaño de Cuenca     | Cuenca Pequeña        |
| Forma                | Irregular             |
| Pendiente Promedio   | S=0.02                |
| Pendiente Compensada | S=0.0153              |
| Longitud Principal   | 10 Km.                |
| Orden de corriente   | 5                     |
| Uso de Suelo         | "D"                   |

#### ÁREA DRENADA.

Se determinó el área limitada por el partaguas de la cuenca del Río Madrastra, y las corrientes principales, resultando un área de 37.40 Km<sup>2</sup>.

#### LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL.

Para obtener la longitud del cauce principal, se clasificaron las corrientes de la cuenca según su orden, obteniendo de orden uno aquellas que no tienen tributarios; de orden dos a las que tienen tributarios de orden uno, y así sucesivamente. El cauce principal de orden 5, tiene una longitud de 10 Km.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

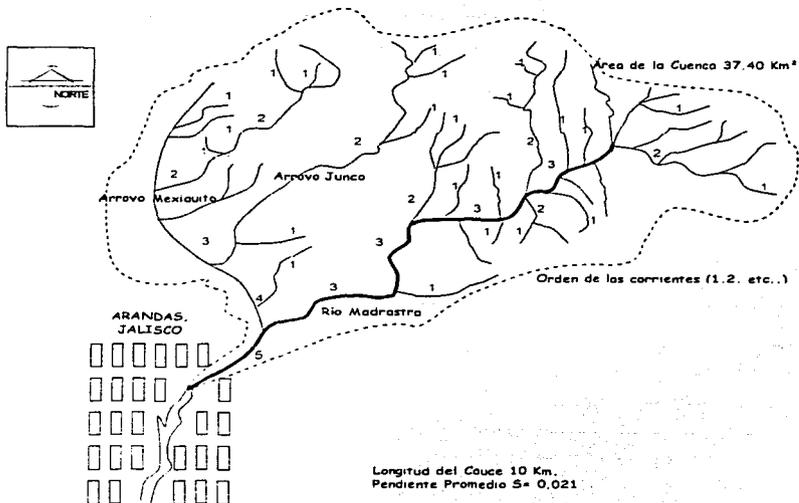


Fig. 5.1 Rio Madrastra

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**TIPO DE SUELO.**

El suelo incluye principalmente: arcillas de color rojizo y suelos poco profundos; la geología de la cuenca esta formada por rocas de origen basáltico cerca de la superficie. Este tipo de suelo corresponde al " D ", según la clasificación del Dr. Ven Te Chow.

**USOS DE SUELO.**

Para el uso del suelo realizaron varios recorridos físicos a la cuenca, determinandose la siguiente clasificación:

Tabla 5.2

| USO                                   | AREA ( Km <sup>2</sup> ) | % DEL AREA TOTAL |
|---------------------------------------|--------------------------|------------------|
| Agostadero                            | 7.35                     | 19.65            |
| Forestal (Bosque)                     | 2.35                     | 6.28             |
| Asociaciones Especiales de Vegetación | 2.20                     | 5.88             |
| Desprovistos de Vegetación            | 4.33                     | 11.56            |
| Agrícola                              | 21.18                    | 56.63            |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

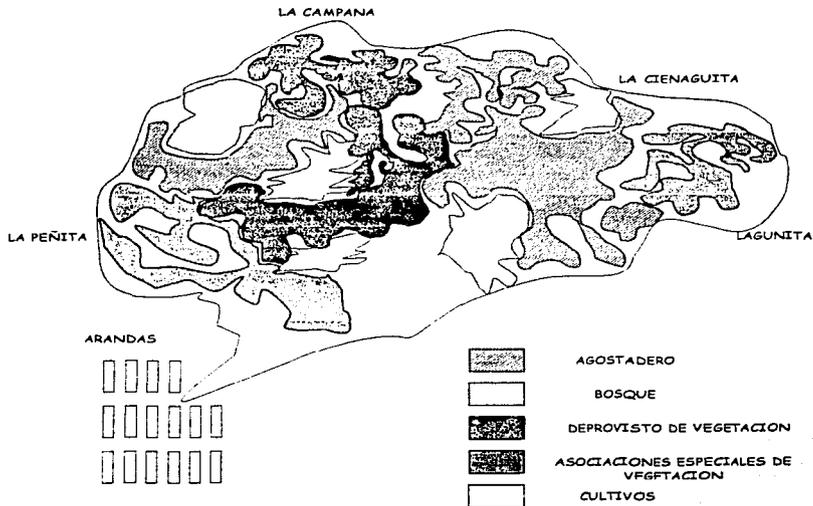


Fig. 5.2 Cuenca del río madrastra en Arandas, Jalisco (usos de suelo)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**PENDIENTE PROMEDIO.**

O sea, el desnivel total dividido entre la longitud del cauce resultando:  
 $S = 0.021$

**PENDIENTE COMPENSADA.**

Es la pendiente de una línea que se apoya en el extremo final del arroyo y cuya propiedad es contener la misma área abajo de ella como en su parte superior, respecto al perfil del cauce, con este criterio se obtiene:  
 $S = 0.0153$

Se decidió emplear el segundo criterio, ya que se ajusta más a la pendiente real del cauce.

**CÁLCULO DE LA PENDIENTE COMPENSADA.**

Tabla 5.3

| TRAMO | DESNIVEL<br>H(M) | $S_i$  | $\cdot \bar{S}_i$ | $\frac{1}{S_i}$  |
|-------|------------------|--------|-------------------|------------------|
| 1     | 10               | 0.0100 | 0.100             | 10.0             |
| 2     | 10               | 0.0100 | 0.100             | 10.0             |
| 3     | 30               | 0.0300 | 0.1732            | 5.77             |
| 4     | 10               | 0.0100 | 0.100             | 10.0             |
| 5     | 25               | 0.0250 | 0.1581            | 6.33             |
| 6     | 5                | 0.0500 | 0.0707            | 14.14            |
| 7     | 30               | 0.0300 | 0.1732            | 5.77             |
| 8     | 20               | 0.0200 | 0.1414            | 7.07             |
| 9     | 18               | 0.0180 | 0.1342            | 7.45             |
| 10    | 52               | 0.0520 | 0.228             | 4.39             |
|       |                  |        |                   | $\Sigma = 80.92$ |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$S = \left( \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \dots + \frac{1}{S_n} \right)^2$$

$$S = \left( \frac{10}{80.92} \right)^2 = 0.0153$$

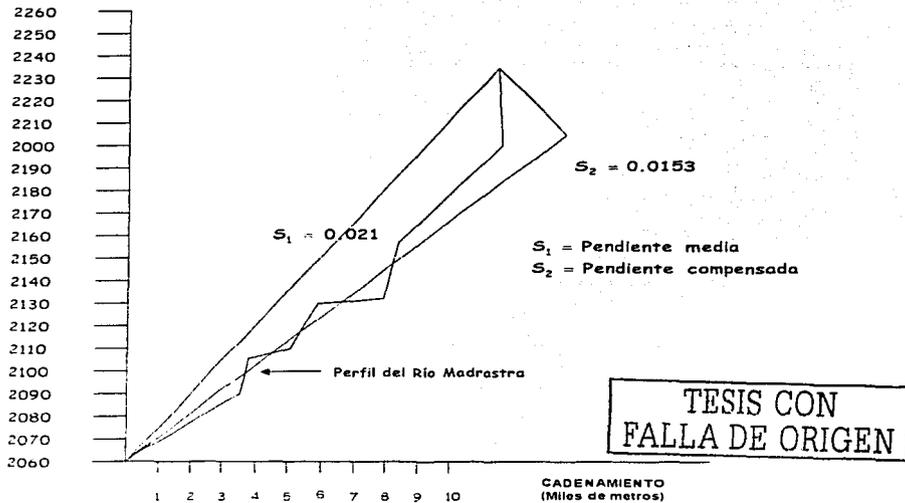


Fig. 5.3 El Perfil del Río.

La cuenca de drenaje del Río Madrastra y sus afluentes, El Arroyo Junco y Mexiquito contribuyen al escurrimiento, con la finalidad de obtener el gasto máximo extraordinario; Determinándose físicamente en el terreno el tramo del río lo más uniforme posible y aplicando el método de Sección-Pendiente en el Río Madrastra y Junco, se determinaron gastos de  $108.0 \text{ m}^3/\text{seg.}$  y  $48.0 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Para el arroyo Mexiquito, se aprovechó una pequeña represa vertedora como control de aforo, cuya cortina es un muro de mampostería con dos escotaduras cargadas a la margen derecha y a la vez, la corona trabaja como vertedor libre. El día de la avenida máxima, la represa se encontraba vacía, alcanzando una carga de  $1.00 \text{ m}$  sobre la corona, por lo que con

sus características físicas y aplicando las fórmulas del vertedor libre de pared gruesa y de vertedor con contracciones, se cálculo un gasto de 83.35 m<sup>3</sup>/seg. Es de suponerse que el tiempo pico de los gastos no es igual para las tres corrientes y pudiera pensarse en la ocurrencia de tres gastos de diferencia del tiempo a su paso por la población; para estos efectos de diferenciación se estudio un tramo del Río madrestra aguas debajo de la zona urbana, calculándose un gasto de 252.3 m<sup>3</sup>/seg.

Por ultimo se calculo el gasto crítico del colector principal a su paso por la población el cual fue de los 90 m<sup>3</sup>/seg.

**FORMULAS.**

$$Q = VA$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$A = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$S = \frac{D}{L}$$

$$Q = \frac{A}{n} (R^{2/3} S^{1/2})$$

**ARROYO JUNCO.**
**DATOS:**

$$N = 0.055$$

$$A_1 = 18.0 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 16.6 \text{ m}^2$$

$$P_1 = 16.0 \text{ m}$$

$$P_2 = 13.0 \text{ m}$$

$$D = 2.23 \text{ m}$$

$$L = 120 \text{ m}$$

**PROCEDIMIENTO.**

$$A_T = \frac{18.0 + 16.6}{2} = \frac{34.6}{2} = 17.3 \text{ m}^2$$

$$P_T = \frac{16.0 + 13.0}{2} = \frac{29}{2} = 14.5 \text{ m}^2$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{17.3}{14.5} = 1.193 \text{ m}$$

$$R^{2/3} = 1.125 \text{ m}$$

$$S = \frac{D}{L} = \frac{2.23}{120} = 0.0186$$

$$S^{1/2} = 0.1363$$

$$Q = \frac{17.3}{0.055} (1.125 \times 0.1363) = 48.23 \text{ m}^3/\text{seg}$$

 TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## RÍO MADRASTA, AGUAS ARRIBA DE LA POBLACIÓN.

## DATOS:

$$\begin{aligned}N &= 0.055 \\A_1 &= 36.4 \text{ m}^2 \\A_2 &= 34.8 \text{ m}^2 \\P_1 &= 22.0 \text{ m} \\P_2 &= 20.0 \text{ m} \\D &= 2.14 \text{ m} \\L &= 156 \text{ m}\end{aligned}$$

## PROCEDIMIENTO.

$$\begin{aligned}A_T &= \frac{36.4 + 34.8}{2} = \frac{71.2}{2} = 35.6 \text{ m}^2 \\P_1 &= \frac{22.0 + 20.0}{2} = \frac{42}{2} = 21 \text{ m} \\R &= \frac{A}{P} = \frac{35.6}{21} = 1.695 \text{ m} \\R^2 &= 1.422 \text{ m} \\S &= \frac{D}{L} = \frac{2.14}{156} = 0.0137 \\S^{1/2} &= 0.1171 \\Q &= \frac{35.6}{0.055} (1.1422 \times 0.1171) = 107.80 \text{ m}^3/\text{seg}\end{aligned}$$

## ARROYO MEXIQUITO.

## FORMULAS:

Para vertedores con contracciones:

$$Q = 1.84(L - 0.1NH)H^{3/2}$$

Vertedores de pared gruesa sin contracciones:

$$Q = 1.71LH^{3/2}$$

Vertedor pared gruesa:

$$L = 42.0 \text{ m}$$

$$H = 1.00 \text{ m}$$

## PROCEDIMIENTO

## a) ESCOTADURAS.

$$Q_{E1} = 1.84(1.4 - 0.1 \times 2 \times 2.20)(2.20)^{3/2}$$

$$Q_{E1} = 1.84 \times 0.96 \times 3.263 = 5.764 \text{ m}^3/\text{seg}$$

b) Por tener 2 escotaduras de iguales dimensiones, tenemos:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$Q_{Ez} = 5.764 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{Ez} = 5.764 \times 2 = 11.53 \text{ m}^3/\text{seg}$$

c) Vertedor de pared gruesa:

$$Q_v = 1.71 \times 42(1.00)^{3/2}$$

$$Q_v = 71.82 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Sumando los resultados anteriores, determinamos el gasto que ocurrió por el Arroyo Mexiquito:

$$Q_T = Q_{Ez} + Q_v$$

$$Q_T = 11.53 + 71.82 = 83.35 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

RÍO MADRASTRA, AGUAS ABAJO DE LA POBLACION.

DATOS:

$$N = 0.055$$

$$A_1 = 118.80 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 101.70 \text{ m}^2$$

$$P_1 = 55.0 \text{ m}$$

$$P_2 = 51.3 \text{ m}$$

$$D = 0.625 \text{ m}$$

$$L = 146.0 \text{ m}$$

PROCEDIMIENTO.

$$A_T = \frac{118.8 + 101.7}{2} = \frac{220.5}{2} = 110.25 \text{ m}^2$$

$$P_1 = \frac{55.0 + 51.3}{2} = \frac{106.3}{2} = 53.15 \text{ m}^2$$

$$R - A = \frac{110.25}{53.15} = 2.074 \text{ m}$$

$$R^3 = 1.626 \text{ m}$$

$$S = \frac{D}{L} = \frac{0.625}{104} = 0.006$$

$$S^{1/2} = 0.0774$$

$$Q = \frac{110.25}{0.055} (1.626 \times 0.0774) = 252.28 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Sumando los gastos de las corrientes aportadoras al Río Madrastra y el de este, obtenemos el gasto máximo presentado a su paso por la población de Arandas, Jalisco.

$$Q_{\text{max}} = \text{Arroyo Junco} + \text{Río Madrastra} + \text{Arroyo Mexiquito}$$

$$Q_{\text{max}} = 48.23 + 107.80 + 83.35$$

$$Q_{\text{max}} = 239.38 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



## ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN.

Por no contar con pluviógrafo en la cuenca de estudio que es quien registra en forma continua la variación de las alturas de lluvia y que a la vez permite realizar un análisis más completo del comportamiento del fenómeno, deduciéndolo por medio de las curvas de intensidad-duración-periodos de retorno, se obtuvieron datos de altura de lluvia máximas anuales acumuladas en 24 horas de la estación Pluviométrica "El Cabrito", localizada en la población de Arandas, Jalisco, la más cercana a la cuenca de estudio.

Se procedió a su análisis como un caso particular al método de lluvia-escorrentamiento, mediante el análisis de precipitación máxima en 24 horas, periodos de retorno.

Del registro de valores extremos con intervalos de tiempo anual de la estación referida, se seleccionaron los máximos anuales durante el periodo de operación, ordenándose de mayor a menor. Se deducen sus periodos de retorno correspondientes según la ecuación:

$$T = 1 + \frac{n}{m}$$

Con lo anterior, se requiere obtener la ecuación de mejor ajuste para el grupo de valores de lluvia y sus periodos de retorno, aplicando una función de distribución de valores extremos del tipo Gumbel simple.

Tabla 5.4

| AÑO  | H <sub>p</sub> =(x)<br>(m) | (m) | (Tr)  | Log. Tr (y) | (x*)          | (y*)        | (xy)          |
|------|----------------------------|-----|-------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| 1971 | 118.0                      | 1   | 12.0  | 1.079       | 13924.00      | 1.164       | 127.3220      |
| 1970 | 96.4                       | 2   | 6.0   | 0.778       | 9350.89       | 0.6053      | 75.02326      |
| 1973 | 85.3                       | 3   | 4.0   | 0.602       | 7276.09       | 0.3624      | 51.3206       |
| 1977 | 83.05                      | 4   | 3.0   | 0.477       | 6972.25       | 0.2275      | 39.82952      |
| 1972 | 83.0                       | 5   | 2.4   | 0.380       | 6889.00       | 0.1444      | 31.5400       |
| 1979 | 80.0                       | 6   | 2.0   | 0.301       | 6400.00       | 0.0906      | 24.0800       |
| 1976 | 80.0                       | 7   | 1.714 | 0.234       | 6400.00       | 0.0548      | 18.7200       |
| 1980 | 74.5                       | 8   | 1500  | 0.176       | 5852.25       | 0.0310      | 13.4640       |
| 1975 | 69.7                       | 9   | 1.333 | 0.1248      | 4858.09       | 0.0156      | 8.6986        |
| 1969 | 60.0                       | 10  | 1.206 | 0.0791      | 3600.00       | 0.0063      | 4.7460        |
| 1974 | 57.8                       | 11  | 1.090 | 0.0374      | 3340.84       | 0.0014      | 2.1617        |
| 1975 | 46.0                       | 12  | 1.00  | 0.0000      | 2304.00       | 0.0000      | 0.0000        |
|      | Σ = 938.05                 |     |       | Σ = -4.268  | Σ = -77167.41 | Σ = -2.7033 | Σ = -397.1150 |

N=12 años

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



$$\begin{aligned}\sum x &= 938.5 \\ \sum y &= 4.268 \\ \sum x^2 &= 77167.41 \\ \sum y^2 &= 2.7035 \\ \sum xy &= 397.1150\end{aligned}$$

## POR MINIMOS CUADRADOS

De la ecuación  $hp=a+b \text{ Log } T$  de mejor ajuste tramos de encontrar los valores de los parámetros  $a$  y  $b$  mediante la solución del sistema de ecuaciones normales para la recta de mínimos cuadrados.

$$x = a + by$$

$$x = Na + b \sum y$$

$$y = a \sum y + b \sum y^2$$

$$a = \frac{(\sum x)(\sum y^2) - (\sum y)(\sum xy)}{N(\sum y^2) - (\sum y)^2}$$

$$b = \frac{N(\sum xy) - (\sum y)(\sum x)}{N(\sum y^2) - (\sum y)^2}$$

$$\begin{aligned}a &= \frac{(938.5)(2.7035) - 4.258(397.115)}{12(2.7035) - (4.268)^2} = \frac{2537.2348 - 1690.9157}{32.442 - 18.215} \\ a &= \frac{846.3191}{14.227} = 59.486 \\ b &= \frac{12(397.115) - 4.268(938.5)}{12(2.7035) - (4.268)^2} = \frac{4765.38 - 4005.518}{32.442 - 18.215} \\ b &= \frac{759.862}{14.227} = 53.409\end{aligned}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## COEFICIENTE DE CORRELACIÓN.

$$R_{xy} = \frac{N(\sum xy) - (\sum y)(\sum x)}{\sqrt{[N(\sum y^2) - (\sum y)^2][N(\sum x^2) - (\sum x)^2]}}$$

$$R_{xy} = \frac{(12 \times 397.1150) - (4.268 \times 938.5)}{[12(2.7035) - (4.268)^2][12(77167.41) - (938.5)^2]}$$

$$R_{xy} = \frac{4765.38 - 4005.518}{(32.442 - 18.215)(926008.92 - 880782.25)}$$

$$R_{xy} = \frac{759.862}{(14.227)(45226.67)}$$

$$R_{xy} = \frac{759.862}{(643439.83)}$$

$$R_{xy} = \frac{759.862}{802.14702} = 0.947 = 1.00$$

El valor del coeficiente de correlación  $R_{xy}$  de los valores de precipitación máxima anual en 24 horas es cercano a la unidad por lo tanto, la ecuación que gobierna la recta es correcta.

$$hp = 59.486 + 53.409 \text{ Log } T$$

Dando los valores a  $t$  desde 1 a 1000 años obtenemos las precipitaciones probables máximas en 24 horas para esos períodos de recurrencia.

Obsérvese que si  $hp = x$ ,  $\text{Log } T = y$ , la ecuación  $hp = a + b \text{ Log } T$  se transforma en:

$$X = a + by \dots \text{ Ecuación de la recta.}$$

Los parámetros  $a$  y  $b$  se deducen resolviendo la ecuación por el método de mínimos cuadrados, determinándose para el caso en estudio la siguiente fórmula:

$$hp = 59.486 + 53.409 \text{ Log } T$$

Resolviendo la ecuación que se plantea, es posible obtener la altura de lluvia máxima, probable en 24 horas para diferentes períodos de retorno, habiéndose determinado los siguientes resultados:

Tabla 5.5

| Tr (años) | Estación El Cabrero<br>Hp (mm) | Probabilidad % |
|-----------|--------------------------------|----------------|
| 1         | 59.49                          | 100            |
| 3         | 84.97                          | 33             |
| 5         | 96.82                          | 20             |
| 10        | 112.9                          | 10             |
| 15        | 122.30                         | 7              |
| 20        | 128.98                         | 5              |
| 25        | 134.15                         | 4              |
| 30        | 138.38                         | 3              |
| 50        | 150.23                         | 2              |
| 100       | 166.31                         | 1              |
| 200       | 182.39                         | 0.5            |
| 500       | 203.64                         | 0.2            |
| 1000      | 219.72                         | 0.1            |

**RÍO MADRASTRA.**

Para determinar las avenidas máximas, con distintos períodos de retorno que pueden presentarse en el Río Madrastra, se consideraron diversos criterios, con el fin de disponer de una serie de resultados que permitan apreciar la magnitud de la misma.

**1. POR EL MÉTODO DE CHOW.**
**NUMERO DE ESCURRIMIENTO (N):**

Para un tipo de suelo D Y los siguientes usos de suelo, se tiene:

 TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 5 6

| USO DEL SUELO                            | CONDICIONES DE LA SUPERFICIE | PORCENTAJE DE AREA | N (PARCIAL) | RESULTADOS |
|--|------------------------------|--------------------|-------------|------------|
| Agostadero o Pastizal                    | Normal                       | 0.1965             | 84          | 16.506     |
| Bosque Natural                           | Muy esparcido                | 0.0628             | 91          | 5.714      |
| Asociaciones de vegetación (potrero)     | Normal                       | 0.0588             | 78          | 4.586      |
| Potrero permanente                       | Normal                       | 0.1156             | 78          | 9.016      |
| Cultivo de cereales (trigo, arroz, maíz) | Surcos secos                 | 0.5663             | 88          | 49.834     |
|  |                              |                    |             | N=85.65    |

## TIEMPO DE CONCENTRACIÓN:

$$T_c = 0.01 \left( \frac{L}{S} \right)^{0.64}$$

$$T_c = 0.01 \left( \frac{10000}{1.53} \right)^{0.64} = 3.17 \text{ hr.}$$

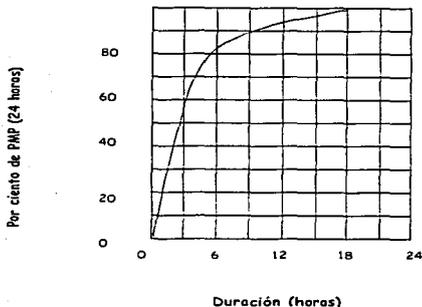
Hacemos  $T_c$  = duración en exceso:

Porcentaje de PMP para (De):

Se determina el porcentaje de la lluvia total  $h_p$  para una duración de 3.17 hr., por lo tanto fr. = 67%

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 5.7



Curva de altura de precipitación-duración tipo para una tormenta convectiva

Las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno se afectan por el factor de duración anterior. Obteniéndose los siguientes valores:

Tabla 5.8

| Tr (años) | Hpd (mm) |
|-----------|----------|
| 1         | 40       |
| 3         | 57       |
| 5         | 65       |
| 10        | 76       |
| 15        | 82       |
| 20        | 85       |
| 25        | 90       |
| 30        | 93       |
| 50        | 101      |
| 100       | 111      |
| 200       | 122      |
| 500       | 136      |
| 1000      | 147      |
| 10000     | 182.9    |

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



LLUVIA EN EXCESO (he):

$$he = \left( \frac{hpd - 508}{86} + 5.08 \right)^2$$
$$hpd + 2032 - 20.32$$

$$he = hpd - 0.827$$
$$hpd + 3.307$$

Calcularemos (he) para  $T_r = 25, 50, 100, 500$  y  $1000$  años.

$$he_{25} = \frac{(9.0 - 0.827)^2}{9.0 + 3.307} = 5.43 \text{ cm.}$$

$$he_{50} = \frac{(10.1 - 0.827)^2}{10.1 + 3.307} = 6.41 \text{ cm.}$$

$$he_{100} = \frac{(11.1 - 0.827)^2}{11.1 + 3.307} = 7.32 \text{ cm.}$$

$$he_{500} = \frac{(13.6 - 0.827)^2}{13.6 + 3.307} = 9.65 \text{ cm.}$$

$$he_{1000} = \frac{(14.7 - 0.827)^2}{14.7 + 3.307} = 10.69 \text{ cm.}$$

Calculo de  $T_p$ ,  $Q_p$  y  $Q_{m\acute{a}x.}$ :

$$T_p = \frac{3.17}{2} + 0.6 \times 3.17 = 1.585 + 1.902 = 3.487 \approx 3.5 \text{ hr.}$$

$$Q_p = \frac{37.4}{5.512 \times 3.5} = 1.94$$

$$Q_{m\acute{a}x_{25}} = 1.94 \times 54.3 = 105 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q_{m\acute{a}x_{50}} = 1.94 \times 64.1 = 124 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q_{m\acute{a}x_{100}} = 1.94 \times 73.2 = 142 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q_{m\acute{a}x_{500}} = 1.94 \times 96.5 = 187 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q_{m\acute{a}x_{1000}} = 1.94 \times 106.9 = 207 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**MÉTODO DE CHOW PARA EL CÁLCULO DEL GASTO:**

- La precipitación acumulada en 1 hora de duración en exceso fue de 76.5 mm.
- Considerando que el terreno se encuentre saturado, por lo tanto suponemos que el número de escurrimiento  $N$  es igual a 100.
- El tiempo de concentración de la cuenca es la calculada anteriormente por lo tanto el tiempo pico es igual a  $T_p = 24$  horas.

$$Q_p = \frac{37.4}{5.512 \times 2.4} = \frac{37.4}{13.23} = 2.83$$

$$Q_{\text{máx.}} = 2.83 \times 76.5 = 217 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

Comparando el resultado anterior con el obtenido por sección pendiente de 239 m<sup>3</sup>/seg. Se tienen valores semejantes por lo que podemos dar crédito a los estudios y consideraciones aplicados.

**2. POR EL MÉTODO DE BURKLEY-ZIEGLER.**

Con las lluvias máximas probables para los diferentes periodos de retorno calculados anteriormente y la duración en exceso de 3.17 horas, se determino la intensidad de la lluvia, suponiendo que dicha intensidad es constante

$$i = \frac{hp}{De}$$

Para  $hp = 134$  mm con  $Tr = 25$  años,  $i = \frac{13.39}{3.17} = 4.22$  cm/hr.

Para  $hp = 150$  mm con  $Tr = 50$  años,  $i = \frac{15.0}{3.17} = 4.73$  cm/hr.

Para  $hp = 166$  mm con  $Tr = 100$  años,  $i = \frac{16.6}{3.17} = 5.24$  cm/hr.

Para  $hp = 203$  mm con  $Tr = 500$  años,  $i = \frac{20.3}{3.17} = 6.40$  cm/hr.

Para  $hp = 220$  mm con  $Tr = 1000$  años,  $i = \frac{22}{3.17} = 6.94$  cm/hr.

Aplicando la formula:

$$Q = 0.0278ARC^{\frac{5}{A}}$$



donde:

- A = área de la cuenca en hectáreas.  
R = intensidad de la lluvia en cm. /hr.  
C = coeficiente de permeabilidad del terreno.  
S = pendiente medio del cauce en m/km.

$$Q_{25} = 0.0278 \times 3740 \times 4.22 \times 0.86^{1.53} = 95.43 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q_{50} = 22.61 \times 4.73 = 107 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q_{100} = 22.61 \times 5.24 = 118 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q_{300} = 22.61 \times 6.40 = 145 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q_{1000} = 22.61 \times 6.94 = 157 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

### 3. POR EL MÉTODO DE GREGORY Y ARNOLD.

Con las intensidades calculadas anteriormente, con el análisis y determinación del coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ), considerando por este método con los factores (F), (B); (H) y la pendiente (S) se aplica la formula:

$$Q = 0.2066 (C_e R_H F B)^{1.429} H^{0.5714} S^{0.2143}$$

donde:

Q = Gasto en  $\text{m}^3/\text{seg.}$

C = Coeficiente de escurrimiento

A = Área de la cuenca en ha

$R_H = \frac{x}{H}$  = Intensidad media de la lluvia en cm. /hr, para un período en horas

F = Factor que depende del coeficiente de rugosidad de los taludes del cauce principal y la relación entre el tirante y ancho del fondo del río.

$$B = \frac{P}{L}$$

donde:

P = Factor que depende en forma de la cuenca y modo de concentración del agua en ella

L = A la longitud del cauce principal en metros.

S = Pendiente del cauce principal en millar.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## DATOS:

$$C_e = 0.198$$

$$A = 37.40 \text{ km}^2$$

$R_n$  = Intensidad de lluvia para diferentes períodos de retorno.

$$F = 3.66$$

$$B = 0.00648$$

$$H = 3.17 \text{ hr}$$

$$S = 153 \text{ m.}$$

$$Q_{25} = 0.2086(0.198 \times 3740 \times 3.66 \times 0.0065 \times R_H)^{1.01429} (3.17)^{0.5714} (153)^{0.214}$$

$$Q_{25} = 1.1852(17.751 \times 4.22)^{1.1429} = 164.512 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{50} = 1.1852(17.751 \times 4.73)^{1.1429} = 187.43 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{100} = 1.1852(17.751 \times 5.24)^{1.1429} = 210.70 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{500} = 1.1852(17.751 \times 6.40)^{1.1429} = 265 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{1000} = 1.1852(17.751 \times 6.94)^{1.1429} = 290 \text{ m}^3/\text{seg}$$

## RESULTADOS

En el cuadro siguiente, se muestran en conjunto los resultados obtenidos a través del empleo de los métodos brevemente descritos anteriormente.

Tabla 5 9  
GASTOS MÁXIMOS ( $\text{m}^3/\text{seg.}$ )

| MÉTODO EMPLEADO  | PERIODOS DE RETORNO (AÑOS) |     |     |     |      |
|------------------|----------------------------|-----|-----|-----|------|
|                  | 25                         | 50  | 100 | 500 | 1000 |
| CHOW             | 105                        | 124 | 142 | 187 | 207  |
| BURKLEY-ZIEGLER  | 95                         | 107 | 118 | 145 | 157  |
| GREGORY Y ARNOLD | 164                        | 187 | 210 | 265 | 289  |

De acuerdo con los criterios preestablecidos, para la selección del gasto de diseño en base a la finalidad de la obra de protección, se adoptó el calculado por el método de Chow para un período de retorno de 100 años.



## DISEÑO

El encauzamiento será capaz de conducir una avenida para un período de retorno de 100 años.

$Q_{\max} = 142 \text{ m}^3 / \text{seg.}$  Período de retorno 100 años

a) Para el tramo 0+000- 0+617.96 sección trapecial:

Se uniformizara la plantilla de la sección que esta formada por roca y se afirmaran los taludes.

$$V = \frac{I}{N} S^{1/2} R^2$$

Y la formula de continuidad:  $Q=VA$ , sustituyendo el valor de  $V$  en la segunda formula, tenemos:

$$Q = \frac{A}{N} S^{1/2} R^2$$
 ,  $Q_n = \frac{R^2}{S^{1/2}} A$

Por tanto suponiendo valores para el tirante ( $d$ ), la plantilla ( $b$ ) y el talud ( $t$ ) de lo sección tipo de proyecto.

## PROCEDIMIENTO

### DATOS:

$b = 26.0\text{m}$   
 $d = 1.30\text{m}$   
 $d = 1.00\text{m}$   
 $t = 1:1$

Sustituyendo:

$$A_1 = \frac{2(1.30 \times 10)}{2} = 16.9 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 26 \times 1 \cdot (1) = 27.0 \text{ m}^2$$

$$A_p = 27.0 + 16.9 = 43.9 \text{ m}^2$$

$$P_p = 2x + 2x_t = 2 \times 1.414 + 2 \times 13.065 = 2.828 + 26.13 = 28.96 \text{ m.}$$

TRAMO CON  
FALLA DE ORIGEN



$$R = \frac{A}{P} = \frac{43.9}{28.96} = 1.516$$

$$R^2 \cdot A = 1.32 \text{ m.}$$

$$S = 0.008$$

(De la rasante del proyecto)

$$S^{1/2} = 0.0894$$

APLICANDO:

$$\frac{Q_n}{S^{1/2}} = \frac{142 \times 0.035}{0.0894} = 55.59$$

$$R^2 \cdot A = 1.23 \times 43.9 = 47.95$$

$$Y = \frac{1}{0.035} \times 0.0894 \times 1.32 = 3.372$$

$$Q = 3.372 \times 43.9 = 148.03 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

PARA  $d_2 = 0.95 \text{ m.}$

$$A_1 = 16.9 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 26 \times 0.95 + 1 \times (0.95)^2 = 24.7 + 0.9025 = 25.60 \text{ m}^2$$

$$A_T = 16.9 + 25.6 = 42.5 \text{ m}^2$$

$$P_T = 2 \times 1.34 + 2 \times 13.065 = 2.68 + 26.13 = 28.81$$

$$R = \frac{42.5}{28.81} = 1.475$$

$$R^2 \cdot A = 1.295 \text{ m}$$

$$\frac{Q_n}{S^{1/2}} = 55.59$$

$$R^2 \cdot A = 1.295 \times 42.5 = 55.04$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



$$V = \frac{1}{0.035} \times 0.0894 \times 1.295 = 3.30 \text{ m/seg}$$

$$Q = VA$$

$$Q = 3.31 \times 42.5 = 140 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Se toman como datos correctos los valores supuestos.

$$n = 0.035$$

$$d_2 = 0.95 \text{ m}$$

$$b = 26.00 \text{ m}$$

$$t = 1:1$$

$$s = 0.008$$

b) Para el tramo 0+935.6-1+500, sección trapecial:

$$n = 0.035$$

Aplicando el procedimiento anterior para los siguientes datos tenemos que:

DATOS:

$$b = 26.0 \text{ m}$$

$$d_1 = 1.30 \text{ m}$$

$$d_2 = 1.18 \text{ m}$$

$$t = 1:1$$

$$A_1 = \frac{2(1.30 \times 13)}{2} = 16.9 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 26 \times 1.18 + 1 \times (1.18)^2 = 32.07 \text{ m}^2$$

$$A = 16.9 + 32.07 = 48.97 \text{ m}^2$$

$$P_T = 2 \times 2 \times 2 \times 1.67 + 2 \times 13.065 = 3.34 + 26.13 = 29.47 \text{ M}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{48.97}{29.47} = 1.66 \text{ m}$$

$$R^{2.3} = 1.402 \text{ m}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



$$S = 0.0059$$

(De la rasante de proyecto)

$$S^{1/2} = 0.0768$$

APLICANDO

$$\frac{Q_n}{S^{1/2}} = R^{2/3} A$$

$$\frac{Q_n}{S^{1/2}} = \frac{142 \times 0.035}{0.0768} = 64.71$$

$$R^{2/3} A = 1.402 \times 48.97 = 68.65$$

$$\text{Para } d_2 = 1.12 \text{ m}$$

$$A_1 = 16.9 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 26 \times 1.12 + 1(1.12)^2 = 30.37 \text{ m}^2$$

$$A_T = 16.9 + 30.37 = 47.27 \text{ m}^2$$

$$P_T = 2 \times 1.584 + 26.13 = 29.30 \text{ m}$$

$$R = \frac{47.27}{29.30} = 1.613 \text{ m}$$

$$R^{2/3} = 1.375$$

$$R^{2/3} A = 1.375 \times 47.27 = 64.996$$

$$\frac{Q_n}{S^{1/2}} = \frac{64.71}{1.375} = 47.06$$

$$Q = VA = 3.02(47.27) = 143 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Se toman como correctos los valores supuestos.

$$n = 0.034$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



$d_2 = 1.12 \text{ m}$   
 $d_1 = 1.30 \text{ m}$   
 $b = 26.0 \text{ m}$   
 $t = 1:1$   
 $S = 0.0059$

$$V = \frac{1}{0.035} \times 0.0768 \times 1.375 = 3.02 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

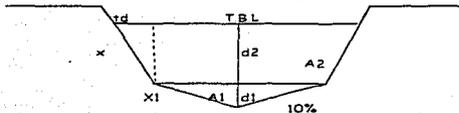


Fig. 5.4 Sección Trapezial

c) Para el tramo 0+617.96-0+935.60. Sección Rectangular:

Aplicando el mismo procedimiento para los siguientes datos tenemos que:

DATOS:

$b = 26.0 \text{ m}$

$d_1 = 1.30 \text{ m}$

$d_2 = 1.18 \text{ m}$

$t = 1:1$

$$A_1 = \frac{2(1.30 \times 13)}{2} = 16.9 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 26 \times 0.8 = 20.8 \text{ m}^2$$

$$A_T = 16.9 + 20.8 = 37.7 \text{ m}^2$$

$$P_T = 2 \times 0.8 + 2 \times 13.065 = 1.6 + 26.13 = 27.73 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{37.7}{27.73} = 1.36 \text{ m}$$

$$R^{2/3} = 1.227 \text{ m}$$

CON  
FALLA DE ORIGEN

$$S = 0.0059$$

(De la rasante de proyecto)

$$S^{1/2} = 0.0768$$

APLICANDO

$$\frac{Q_n}{S^{1/2}} = R^2 A$$

$$\frac{Q_n}{S^{1/2}} = \frac{142 \times 0.035}{0.0768} = 64.71$$

$$R^2 A = 1.227 \times 37.7 = 46.25$$

$$\frac{Q_n}{S^{1/2}} = \frac{142 \times 0.025}{0.0768} = 46.22$$

$$V = \frac{1}{0.025} \times 1.227 \times 0.0768 = 3.769 \text{ m/seg.}$$

$$Q = VA = 3.769(37.7) = 142.09 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Se toman como correctos los valores supuestos.

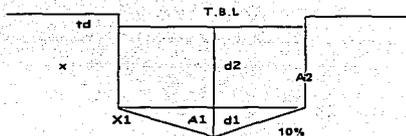


Fig. 5.5 Canal Rectangular

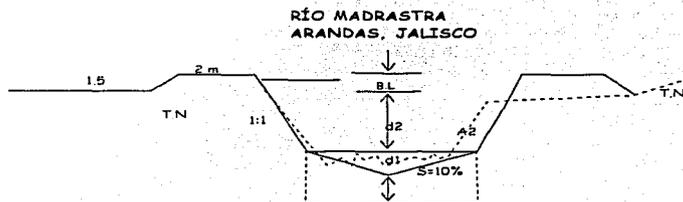


Fig. 5.6 Sección Tipo

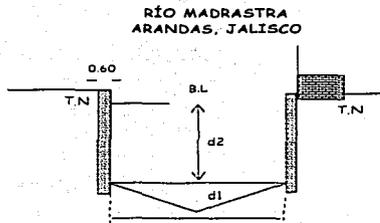


Fig. 5.7 Sección Tipo

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

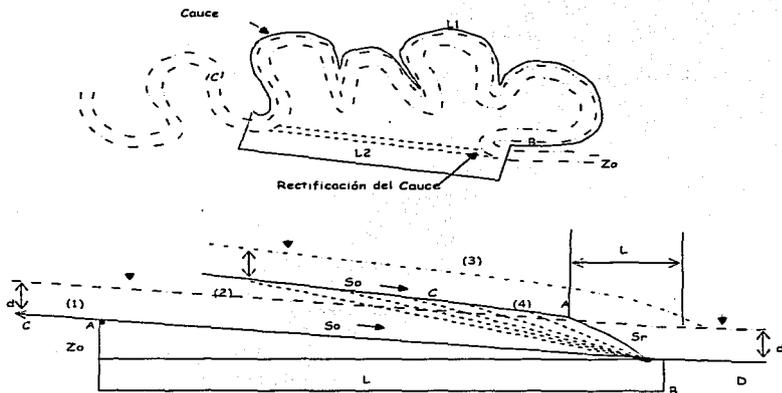


Fig. 5.8 Rectificación de un Cauce.

## RECTIFICACION DE UN CAUCE.

- (1) Perfil del fondo del río antes de efectuar la rectificación.
- (2) Perfil del agua antes de la rectificación.
- (3) Perfil del agua inmediatamente después de efectuar el corte de rectificación. La mayor capacidad de transporte se tiene en A.
- (4) Perfil del fondo del río inmediatamente después de efectuar la rectificación.

- $D_n$  Tirante normal para el gasto de estudio, con la pendiente  $S_o$ .
- $L_1$  Distancia entre A y B antes de la rectificación, por el río.
- $L_2$  Distancia entre A y B después de la rectificación, por el corte.
- $S_r$  Pendiente media del fondo del río inmediatamente después de la rectificación ( en el corte )
- $S_o$  Pendiente media del fondo del río inmediatamente antes de la rectificación.
- $Z_o$  Desnivel del fondo del río entre los puntos A y B. Permanece constante antes y en el primer momento después de iniciado el corte en los meandros.
- Perfil del fondo a medida que es erosionado.

## CONCLUSIONES

Con las características naturales del cauce, en el tramo de estudio se procedió al tránsito de la avenida de diseño, resultando tirantes o niveles de agua elevados, que necesariamente tendríamos que salvar con la construcción de bordos de protección y la velocidad resultó crítica para el efecto de erosión de los taludes de los mismos. Otra limitante presentada fue la superficie longitudinal en los márgenes del cauce, que se encuentra invadida con construcciones.

Para la solución mas adecuada tanto técnico como económica para el problema, se consideró el tirante promedio del cauce natural, aumentar la plantilla del canal aprovechando las áreas destructivas por la corriente en los márgenes del río y reducir un poco la velocidad, mejorando las condiciones del lecho y paredes del cauce sin descuidar la pendiente o rasante del proyecto, procurando compensar los cortes de los escollos, con los terraplenes necesarios en los pozos del lecho.

La sección mas conveniente y apegada a las condiciones de terreno, fue de dos tipos, rectangular revestida de mampostería, las paredes en el tramo mas invadido por construcciones y trapecial en los extremos de la población. Debido a que el río tiene escurrimientos perennes, ya que recibe descargas de aguas negras de la población y es objeto de acumulación de desperdicios, se diseñó una plantilla con pendiente del 10% hacia el centro del cauce, para que en época de estiaje por ahí sean conducidas las aguas y en las primeras avenidas se limpie ésta en forma natural. Así pues, se procedió por tanteos para el diseño de las secciones hidráulicas del proyecto.

El trazo se definió sobre el cursor natural del río, logrando así reducir los volúmenes de corte y de afectación a la zona urbana, aunque en algunos sitios se desfasó totalmente, obligado por los grados de curvatura horizontal del proyecto. La rasante de proyectos presenta dos pendientes, en el primer tramo hasta el Km. 0+617.96 con  $S = 0.0080$  y en el segundo del Km. 0+617.96 al 1+500 con  $S = 0.0059$

Los bordos de protección se fijaron para la sección trapecial y su formación con el producto de la excavación.

Se consideró en bordo libre de 40 cm., y los taludes 1:1 y 1.5:1, mojado y seco respectivamente. El ancho de la corona se dejó de 2.00m para utilizar como andador.

Los datos de localización y los hidráulicos de proyecto se presentan en las tablas siguientes:



Tabla 5.10

| KM       | COORDENADAS<br>X(E) Y(N) |          | D<br>M | AZ<br>(° ' '') | A<br>(° ' '') | G  | R<br>M | ST<br>M | LC<br>M | PC<br>KM | PT<br>KM |
|----------|--------------------------|----------|--------|----------------|---------------|----|--------|---------|---------|----------|----------|
| 0-000    | 1-580.90                 | 0-857.60 |        |                |               |    |        |         |         |          |          |
|          |                          |          | 436.64 | 314°45'        | 114°45'       | 5  | 229.26 | 358.60  | 459.00  | 0-079.81 | 0-538.81 |
| 0+436.64 | 1-270.80                 | 1-165.00 |        |                |               |    |        |         |         |          |          |
|          |                          |          | 514.78 | 69°02'         | 67°00'        | 10 | 114.74 | 75.85   | 134.00  | 0-617.96 | 0-751.98 |
| 0+693.81 | 1-751.50                 | 1-349.20 |        |                |               |    |        |         |         |          |          |
|          |                          |          | 224.11 | 1°24'          | 53°15'        | 14 | 81.90  | 14.10   | 76.07   | 0-859.60 | 0-935.68 |
| 0+900.71 | 1-573.25                 | 1-573.25 |        |                |               |    |        |         |         |          |          |
|          |                          |          | 298.38 | 54°51'         | 61°33'        | 8  | 143.36 | 85.22   | 153.87  | 1-106.45 | 1-260.32 |
| 1+191.68 | 1-745.00                 | 1-745.00 |        |                |               |    |        |         |         |          |          |
|          |                          |          | 197.34 | 353°19'        | 70°03'        | 8  | 143.36 | 100.30  | 175.12  | 1-270.22 | 1-445.34 |
| 1+370.52 | 1-941.00                 | 1-941.00 |        |                |               |    |        |         |         |          |          |
|          |                          |          | 181.12 | 63°26'         |               |    |        |         |         |          |          |
| 1+527.55 | 2-022.00                 | 2-022.00 |        |                |               |    |        |         |         |          |          |

## DATOS HIDRÁULICOS

Tabla 5.11

| TRAMO | KM                   | Q<br>m <sup>3</sup> /s | V<br>m/s | A <sup>t</sup><br>m <sup>2</sup> | Pt<br>m | D<br>M | dr<br>m | B1<br>m | B<br>m | b<br>m | S      | t   | n     |
|-------|----------------------|------------------------|----------|----------------------------------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|-----|-------|
| 1     | 0-000<br>0-617.96    | 141.0                  | 3.31     | 42.5                             | 28.82   | 1.30   | 2.25    | 0.40    | 27.90  | 26.00  | 0.008  | 1:1 | 0.035 |
| 2     | 0-617.96<br>0-935.60 | 142.0                  | 3.76     | 37.7                             | 27.73   | 1.30   | 2.10    | 0.40    | 26.00  | 26.00  | 0.0059 | 0:1 | 0.025 |
| 3     | 0-935.60<br>1+500.00 | 143.0                  | 3.02     | 47.27                            | 29.30   | 1.30   | 2.42    | 0.40    | 28.24  | 26.00  | 0.0059 | 1:1 | 0.035 |

 HECHO CON  
FALLA DE ORIGEN

**ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA TOTAL BARRANCA DE GUADALUPE.****UBICACIÓN.**

Barranca de Guadalupe y afluente de la misma, siendo la boquilla en la confluencia de ellas, colindando al sur de Villaverdum, en la Delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal.

**OBJETIVOS.**

El objetivo del presente estudio es conocer el gasto máximo extraordinario con un período de retorno de 100 años, y calcular el diámetro del tubo necesario para conducir este gasto.

**DESCRIPCIÓN.**

Para el objetivo mencionado, se requieren los datos a continuación descritos:

**LOCALIZACIÓN.**

**OROGRAFÍA.** La cuenca se localiza en el macizo monte de las Cruces-Montcalto del eje neovolcánico.

**HIDROGRAFÍA.** Vertiente suroeste del Valle de México.

**GEOGRAFÍA.** Delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal, con boquilla en 90°20'06" de latitud norte y 99°15'14".

**FISIOGRAFÍA.**

**TOPOGRAFÍA.** Las cuencas presentan lomerío mediano en las cercanías de la boquilla y lomerío abrupto en las partes alejadas, con barrancas propias de una montaña suave.

**USO DE SUELO.** En la parte baja de la cuenca se tienen zonas medianamente pobladas del tipo residencial con muchos espacios verdes. En la parte media y alta, la población es considerable, la zona es de bosque cadufilio y perennifolio en cañadas, con pastos naturales.

**GEOLOGÍA.** En la generalidad de las cuencas se tienen formaciones volcánicas intrusivas y extrusivas afloramiento de tobas, mantos arenosos, brechas y conglomerados.

**CLIMATOLOGÍA.** Predomina el clima templado aunque frío en otoño e invierno. Es lluvioso en verano y parte de otoño y seco en primavera.



VIAS DE ACCESO. Calzada Olivar de los Padres y Calzada del Desierto de los Leones, colinda la boquilla con Villaverdum y el colegio de policía.

#### PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.

En vista de que no se tienen estaciones hidrométricas en esta barranca, se adoptaron metodologías hidroclimatológicas para el cálculo de avenidas máximas provocadas por lluvias máximas de diseño asociadas a un período de retorno.

En la elaboración de la tabla intensidad-duración-período de retorno, se utilizó el método estadístico con contribución poblacional "Gumbel".

Para ajustar la distribución poblacional de la muestra, se utilizó ajuste simétrico en los parámetros de Gumbel con apego a las bases estadísticas del método de máxima verosimilitud.

Se utilizó lluvia de exceso, características de cuenca, tormentas históricas y tablas tecnológicamente instituidas por el cálculo de coeficientes de escurrimiento y permeabilidad de las cuencas.

Para el cálculo de gastos máximos se tomaron en cuenta métodos empíricos racionales comparados con otros métodos tradicionales en hidrología.

#### A. BARRANCA DE GUADALUPE

##### ÁREA DE LA CUENCA.

De acuerdo a la cuenca, se obtuvo la siguiente área:

$$\begin{aligned}A &= 3.313 \text{ Km}^2 \\A &= 331.3 \text{ Ha.} \\A &= 3313000 \text{ m}^2\end{aligned}$$

##### PENDIENTE DE LA CUENCA.

Fórmula de elevaciones extremas.

$$Sc = (Ea - Eb)/A^{0.5}$$

donde:

Ea = 3154 msnm elevación más alta.

Eb = 2530 msnm elevación más baja

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



$$S_c = (3154 - 2530)/3313000^{0.5} = 0.3428$$

Criterio de Alvord.

$$S_c = \frac{D \cdot L}{A}$$

donde:

D = 25 m. Desnivel constante entre las curvas consideradas dentro de las cuencas.  
L = 36720 m. Longitud de las curvas de nivel.

Tabla 5.12

| CURVA<br>MSNM | LONGITUD<br>m <sup>2</sup> |
|---------------|----------------------------|
| 2550          | 1100                       |
| 2575          | 1350                       |
| 2500          | 1800                       |
| 2625          | 2500                       |
| 2650          | 2700                       |
| 2675          | 3520                       |
| 2700          | 2240                       |
| 2725          | 2080                       |
| 2750          | 1260                       |
| 2775          | 1820                       |
| 2800          | 2250                       |
| 2925          | 1910                       |
| 2850          | 1950                       |
| 2875          | 1580                       |
| 2900          | 1520                       |
| 2925          | 1800                       |
| 2950          | 1400                       |
| 2975          | 1100                       |
| 3000          | 900                        |
| 3025          | 610                        |
| 3050          | 580                        |
| 3075          | 500                        |
| 3100          | 250                        |
| 3125          | 200                        |
| 3150          | 800                        |
| SUMA          | 36720                      |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$S_c = 25 \times 36720 / 3313000 = 0.2771$$



Pendiente Promedio de la Cuenca.

$$Scp = (0.3428 + 0.2772) / 2 = 0.3099$$

PENDIENTE DEL CAUCE.

Formula de Valores Extremos.

$$Sc = (Ea - Eb) / L$$

donde:

L = 4670 m. Longitud del cauce principal

$$Sc = (3154 - 2530) / 4670 = 0.1336$$

Criterio de Taylor- Schwarz.

$$Sc = \left[ L / \sum (L_1 / S_1^{0.5}) \right]^2$$

Tabla 5.13

| Elevación mayor msnm | Elevación menor msnm | Desnivel Mt. | Longitud Tramo $L_1$ | Pendiente $S_1$ | $S_1$  | $L_1 / S_1$ |
|----------------------|----------------------|--------------|----------------------|-----------------|--------|-------------|
| 3154                 | 3025                 | 129          | 300                  | 0.430           | 0.6657 | 450.65      |
| 3025                 | 2950                 | 75           | 200                  | 0.375           | 0.6124 | 329.58      |
| 2950                 | 2875                 | 75           | 310                  | 0.242           | 0.4918 | 630.58      |
| 2875                 | 2800                 | 75           | 410                  | 0.1829          | 0.4277 | 958.34      |
| 2800                 | 2750                 | 50           | 275                  | 0.1818          | 0.4264 | 644.93      |
| 2750                 | 2700                 | 50           | 375                  | 0.1333          | 0.3651 | 1027.12     |
| 2700                 | 2625                 | 75           | 600                  | 0.1250          | 0.3535 | 1697.31     |
| 2625                 | 2600                 | 25           | 600                  | 0.0419          | 0.2041 | 2938.73     |
| 2600                 | 2530                 | 70           | 1600                 | 0.0437          | 0.2091 | 7651.84     |
| SUMAS                |                      | 624          | 4670                 |                 |        | 16327.12    |

$$Sc = (4670 / 16327.12)^2 = 0.018$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Pendiente Promedio del Cauce.

$$Scp = (0.1336 + 0.0818) / 2 = 0.10177$$

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

Formula de Chow.

$$Tc = 0.00505(L/S^{0.5})^{0.64}$$

donde:

L = 4670 m. Longitud del cauce.  
S = 10.77 centésimas Pendiente del cauce.

$$Tc = 0.00505(4670/10.77^{0.5})^{0.64} = 0.52 \text{hs.}$$

Formula de Rowe.

$$Tc = (0.86L^2/S)^{0.385}$$

donde:

L = 4.67 Kg. Longitud del cauce principal.  
S = 107.7 milésimas Pendiente del cauce.

$$Tc = (0.86 \times 4.67^2 / 107.7)^{0.385} = 0.51 \text{hs.}$$

Formula de Kirpich.

$$Tc = 0.0003245(L/S^{0.5})^{0.77}$$

donde:

L = 4670 m. Longitud del cauce.  
S = 0.1077 Pendiente natural del cauce.

$$Tc = 0.0003245(4670/0.1077^{0.5})^{0.77} = 0.51 \text{hs.}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tiempo de Concentración Promedio.

Tcp = 0.498 hs. 30 min.

### INTENSIDAD DE LLUVIA.

De la estación climatológica Huixquilucan, se obtiene la siguiente muestra para Tc = 30 min.

Tabla 5.14

| No. | Año  | mm |
|-----|------|----|
| 1   | 1968 | 87 |
| 2   | 1980 | 77 |
| 3   | 1977 | 67 |
| 4   | 1966 | 67 |
| 5   | 1976 | 67 |
| 6   | 1974 | 62 |
| 7   | 1975 | 58 |
| 8   | 1967 | 58 |
| 9   | 1978 | 58 |
| 10  | 1981 | 52 |
| 11  | 1972 | 50 |
| 12  | 1982 | 50 |
| 13  | 1965 | 49 |
| 14  | 1962 | 48 |
| 15  | 1969 | 48 |
| 16  | 1971 | 48 |
| 17  | 1961 | 47 |
| 18  | 1973 | 47 |
| 19  | 1963 | 47 |
| 20  | 1970 | 46 |
| 21  | 1983 | 43 |
| 22  | 1964 | 39 |
| 23  | 1959 | 39 |
| 24  | 1960 | 32 |
| 25  | 1979 | 25 |

Media Muestral.

X = 52.44

Desviación Estándar.

S = 13.62

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## PARAMETROS DE GUMBEL.

$$TP = 1/1 - e^{-e^{-b}}$$
$$b = (X - X + 0.45S)/0.7797S$$

$$b = 0.0942x - 4.3609$$

Para

$$X = 87 \text{ mm/h}$$

$$b = 3.8715$$

$$TP = 46.63 > (N+1/m) = 26$$

Ajuste de parámetros

$$b = (X - X + 0.3409S)/0.8888S$$

$$b = 0.0826x - 3.9484$$

$$TP = 26 = (N+1/m)$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 5.15

|                           |    |       |    |       |        |        |
|---------------------------|----|-------|----|-------|--------|--------|
| Intensidad de Lluvia mm/h | 25 | 65.95 |    | 95.03 | 103.48 | 131.41 |
| Período de Retorno años   | 1  | 5     | 10 | 50    | 100    | 1000   |

## COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD.

Terreno montañoso 90%

Terreno plano o poco permeable 10%

$$C_p = 0.16$$

$$C_p = 0.20$$

$$C_p = (0.9 \times 0.16) + (0.10 \times 0.2) = 0.164$$

COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTOS ( $C_e$ ).Lluvia en exceso ( $X_e$ )

Suelo tipo D.: N = 91, para humedad media.



$$X_a = T_c = 103.48 \times 0.498 = 51.53$$

$$X_e = \frac{10 \left( \frac{X_a - 508}{10 - N} + 5.08 \right)^2}{X_a + \frac{2032}{N} - 20.30} = \frac{10 \left( \frac{51.53 - 508}{10 - 91} - 5.08 \right)}{51.53 + \frac{2032}{91} - 20.30} = \frac{46.53}{7.17}$$

$$X_e = 6.49; C_e = \frac{X_e}{X_a}$$

$$C_e = \frac{6.49}{51.53} = 0.13$$

CALCULO DE GASTO MAXIMO EXTRAORDINARIO PROBABLE PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS.

Método Racional Americano.

$$Q_{100} = \frac{d}{7.2} C_e A$$

$$Q_{100} = \frac{2.4}{7.2} \times 0.164 \times 103.48 \times 3.313 = 18.74 \text{ m}^3 / \text{seg.} \quad \underline{\text{RIGE}}$$

Método Racional de Burkli-Ziegler.

$$Q_{100} = 2.777 C_p A^3 S^{1.4}$$

$$Q_{100} = 2.777 \times 0.164 \times 331.3^3 \times 309.9^{1.4} \times 103.48$$

$$Q_{100} = 15136$$

$$P.S. 15.14 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

Método de Gregory y Arnold.

$$Q_5 = \left( \frac{d}{7.2} \right) (3.6 \text{ PTC/L})^{4eg} (C_e I_p A)^{4g} (F)^{8eg} (S_p)^{1.5eg} / 1000^{2eg}$$

donde:

$$d = 2.4$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Relación largo-ancho de la cuenca.

$$\frac{L}{W} = \frac{L}{A} = \frac{4670^2}{3313000} = 6.6 : \text{Tipo 18 media.}$$

Forma:

Talud 1:1  $\therefore n = 0.045$

$e \neq 0$ ; Forma V: 1:1

|                           |  |
|---------------------------|--|
| P = 0.51                  | Factor de forma en que se descarga la cuenca                 |
| Tc = 0.498 hs.            | Tiempo de concentración.                                     |
| F = 3.49                  | Factor.  |
| L = 4.67 Km.              | Longitud del cauce.  |
| Ce = 0.13                 | Coefficiente de escurrimiento.                               |
| A = 3.313 Km <sup>2</sup> | Área de la cuenca.   |
| Ip = 103.48 mm/h          | Intensidad de lluvia para un período de retorno de 100 años. |
| Sp = 107.7 milésimos      | Pendiente del cauce.   |

sustituyendo en:

$$Q_5 = \left( \frac{d}{7.2} \right) (3.6 P T_c / L)^{4.9} (C_e I_p A)^{4.9} (F)^{9.9} (S_p)^{1.5.9} / 1000^{2.9}$$

$$Q_{100} = \left( \frac{2.4}{7.2} \right) (3.6 \times 0.61 \times 0.498 / 4.67)^{0.5714} (0.13 \times 103.48 \times 3.313)^{1.1428} (3.49)^{1.1428} (107.7)^{0.2143} / 1000^{0.2857}$$

$$Q_{100} = 10.334 | 10.4363 | 176.65 | (4.172) | (2.726) | 7.190$$

$$Q_{100} = 17.67 \text{ m/seg.}$$

### CÁLCULO DE LA SECCIÓN HIDRÁULICA.

Con los datos ya obtenidos en el Estudio Hidrológico, el cual nos da un gasto de  $Q = 18.74 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Para una avenida máxima por precipitación pluvial con un período de retorno de  $T = 100$  años, tal como lo especifica la CNA; así como los resultados del estudio Topográfico que induce a una pendiente constante de proyecto de  $S = 0.0282$ , estamos en condiciones de proceder al cálculo de la sección hidráulica necesaria que permite el paso del caudal hidrológico. Teniendo en cuenta el tipo de topografía del cauce y de la zona federal aldeaña, así como el tipo de uso de suelo que se tiene en el fraccionamiento que es

FALLA DE ORIGEN

residencial, se elige una sección cerrada. De acuerdo a lo anterior, la sección de proyecto será con losa de fondo y muros de concreto armado hasta una altura de **0.90 m.**, que es superior al nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) y después se continúan de mampostería de piedra puesto que el terreno es muy consistente.

A continuación se propone la sección siguiente:

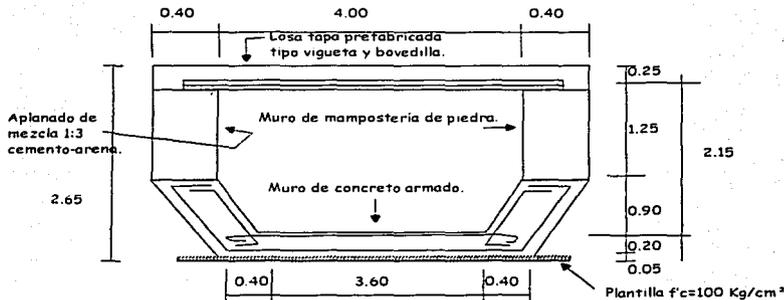


Fig. 5.9 SECCION TIPO ESC: 1.40

Verificación de la sección propuesta.

Datos del cálculo hidráulico:

$$Q_{100} = 18.74 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Gasto con un período de retorno  $T = 100$  años.

$$S = 0.0282 \text{ adimensional.}$$

Pendiente del fondo del canal (rasante)

$$N = 0.016 \text{ adimensional.}$$

Coefficiente de rugosidad para canales con paredes de concreto áspero.

Aplicando la fórmula de la continuidad:

$$Q = AV$$



donde:

A = Área hidráulica de la sección.  
V = Velocidad del agua en el tramo del canal.

$$V = \frac{1}{n} R^2 S^{1/2}$$

donde:

R =  $\frac{A}{P}$  Radio hidráulico.  
P = Perímetro mojado de la sección.

Para un tirante de agua de  $d = 0.74$  m., tenemos:

$$\begin{aligned} A &= 4.80 \text{ m}^2 \\ P &= 6.10 \text{ m} \\ R^2 &= 0.67 \end{aligned}$$

$$V = \frac{1}{0.016} \times 0.67 \times 0.16 = 6.7 \text{ m/seg.}$$

Entonces el gasto que puede pasar en la sección propuesta con un tirante de  $d = 0.74$  m. es:

$$Q = 2.8 \times 6.7 = 18.76 \text{ m}^3/\text{seg.} > 18.74 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

**BIEN.**

#### CONCLUSIONES DEL CÁLCULO HIDRÁULICO.

Como ya se demostró en el cálculo hidráulico y basado en el estudio hidrológico y topográfico, la sección hidráulica del proyecto está sobrada, pero de acuerdo a la ya citada en el concepto (A.2) por la ubicación del tramo del canal embovedado dentro del fraccionamiento, se considera a esta sección adecuada al entorno arquitectónico, ecológico y demás cualidades del lugar.

En cuanto a la cubierta del canal que se propone de losa prefabricada con vigueta y bovedilla, también se considera adecuada, ya que en caso de una inspección e introducción del equipo de limpieza en alguna zona del cauce, solo se retiran las viguetas y bovedillas necesarias y posteriormente se colocan nuevamente.

Por lo así antes expuesto, la sección hidráulica proyectada se define como adecuada.

ESTUDIO HIDROLÓGICO ARROYO SIN NOMBRE, AFLUENTE DEL ARROYO SAN ANGELIN, UBICADO EN EL FRACCIONAMIENTO VILLA VERDUM, DELEGACIÓN ALVARO OBREGON.

#### OBJETIVO.

Con el objetivo de definir los volúmenes de escurrimientos correspondientes al Arroyo sin nombre afluente del Arroyo San Angelín ubicado en el Fraccionamiento Villa Verdum, Delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal, se efectúa el presente estudio Hidrológico, el cual se determinará el caudal o gasto máximo extraordinario de agua que por precipitación pluvial de tormentas con periodo de retorno de 100 años, probablemente se puede presentar en la cuenca hidrológica correspondiente al arroyo citado.

Con este gasto se calcula el Nivel de Agua Máximo Extraordinario (NAME) en el cauce del Arroyo, desde la boquilla de la cuenca hacia aguas arriba.

El gasto máximo extraordinario para el (NAME), se calcula en la boquilla de la cuenca que corresponde al Arroyo sin nombre ya citado. Dicha boquilla se localiza en el extremo oriente de la cuenca, en donde el arroyo cruza la calle Reims.

#### LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA Y BOQUILLA DE LA MISMA.

La cuenca hidrológica correspondiente al arroyo sin nombre ya citado, esta limitada al norte por las Lomas Tepozcuala y Axomiatla. Al sur por Lomas de los Cedros. Al poniente, que es el inicio del arroyo, por el cerro Atasquillo. Y al oriente tenemos la boquilla en el cruce del arroyo con la calle Reims.

La localización orográfica de la cuenca es la parte baja de la vertiente poniente del valle de México, correspondiente al eje volcánico formado por las Sierra de Monte Bajo, Monte Alto y de las Cruces.

La Boquilla de la cuenca se localiza en los  $19^{\circ}20'10''$  de latitud Norte y  $99^{\circ}15'30''$  de longitud Oeste, en el cruce del arroyo sin nombre con la calle Reims. Las vías de acceso al predio son por la calzada de las Águilas, o por la Av. Toluca continuando por la calzada Oliver de los Padres, y por la calzada Desierto de los Leones.

#### CONDICIONES NATURALES DE LA CUENCA.

##### HIDROGRAFÍA.

En general los escurrimientos son de carácter torrencial, o sea, principalmente en épocas de lluvia, los caudales varían según la intensidad de las precipitaciones.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



El principal cauce en la zona de la cuenca de estudio se denomina Arroyo San Angelín, también se le conoce como Barranca de Guadalupe, uno de sus afluentes, el cual no tiene nombre, es el del motivo de este estudio hidrológico.

#### FISIOGRAFÍA.

La cuenca es de forma alargada, semejante a una media luna, con una superficie drenada de 0.9393 Km<sup>2</sup>, su localización general dentro del Valle de México es en la parte baja de la Sierra Monte Alto.

La altura máxima de la cuenca es de 2740 metros sobre el nivel del mar, y la más baja, o sea en la boquilla es de 2545 msnm.

#### GEOLOGÍA.

La región de la cuenca se caracteriza por estratos tipo volcánicos intrusivos y extrusivos con afloramientos de tobas, mantos arenosos, brechas y conglomerados.

#### TOPOGRAFÍA.

La topografía en general de la cuenca es de tipo lomerío, con pendientes medianas, en la parte central de la cuenca se tienen algunas cañadas ligeras. No existen zonas abruptas.

#### CLIMA.

El clima es templado en general, medianamente cálido en primavera y verano. Medio lluvioso en verano y otoño, seco en invierno y primavera.

#### USO DEL SUELO.

- ∴ La mayor parte de la cuenca está poblada con casa habitación tipo residencial, se tienen muchas áreas ajardinadas tanto privadas como públicas.
- ∴ Las calles son pavimentadas con camellones ajardinados.
- ∴ La vegetación es de tipo bosque cultivado, aunque también se tiene de tipo natural.

#### INFORMACIÓN TÉCNICA BÁSICA.

El cálculo de gastos, coeficientes de escurrimiento y procedimientos en general se obtuvieron en diferentes textos de hidráulica e hidrológica.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**PROCESO DEL CÁLCULO****SUPERFICIE DE LA CUENCA.**

Trazándose el parteaguas correspondiente a la cuenca en estudio y comprobándose topográficamente, se obtiene una superficie de:

$$A = 0.9393 \text{ Km.}^2 = 93.93 \text{ Ha.} = 939300 \text{ m}^2$$

**PENDIENTE DE LA CUENCA.****CRITERIO DE VALORES EXTREMOS.**

$$S = \frac{(Ea - Eb)}{A^{1/2}}$$

donde:

Ea = 2740 msnm. Elevación máxima de la cuenca.

Eb = 2545 msnm. Elevación mínima, o sea en la boquilla de la cuenca.

A = 939300 m<sup>2</sup> Superficie de la cuenca.

sustituyendo:

$$S = \frac{(2740 - 2545)}{939300^{1/2}} = 0.2012$$

**CRITERIO DE ALVORD.**

$$S = \frac{D \cdot L}{A}$$

D = 5.0 m.

valor del desnivel constante.

L = 34440 m.

longitudes de las curvas de nivel.

A = 939300 m<sup>2</sup>

superficie de la cuenca.



## CÁLCULO DE LA LONGITUD L:

Tabla 5.16

| CURVA msnm. | LONGITUD DE LA CURVA mts. |
|-------------|---------------------------|
| 2550        | 250                       |
| 2555        | 400                       |
| 2560        | 550                       |
| 2565        | 700                       |
| 2570        | 900                       |
| 2575        | 1100                      |
| 2580        | 1000                      |
| 2585        | 1000                      |
| 2590        | 950                       |
| 2595        | 950                       |
| 2600        | 900                       |
| 2605        | 1000                      |
| 2610        | 1100                      |
| 2615        | 1200                      |
| 2620        | 1250                      |
| 2625        | 1350                      |
| 2630        | 1500                      |
| 2635        | 1550                      |
| 2640        | 1600                      |
| 2645        | 1650                      |
| 2650        | 1600                      |
| 2655        | 1600                      |
| 2660        | 1450                      |
| 2665        | 1400                      |
| 2670        | 1200                      |
| 2675        | 1100                      |
| 2680        | 1000                      |
| 2685        | 900                       |
| 2690        | 750                       |
| 2695        | 650                       |
| 2700        | 450                       |
| 2705        | 350                       |
| 2710        | 300                       |
| 2715        | 250                       |
| 2720        | 200                       |
| 2725        | 180                       |
| 2730        | 80                        |
| 2732        | 80                        |
| SUMA        | 34440                     |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



sustituyendo:

$$S = \frac{5.0 \times 34440}{939300} = 0.1833 = 18.33 \text{ centésimas} \\ = 183.3 \text{ milésimas}$$

RIGE.

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL.

FÓRMULAS DE VALORES EXTREMOS.

$$S = \frac{H}{L}$$

donde:

$H = E_a - E_b = 2695 - 2545 = 150 \text{ m.}$  Desnivel entre la parte más alta y la más baja del cauce principal.

$L = 2140 \text{ m.}$  Longitud del cauce principal.

sustituyendo:

$$H = 150 / 2140 = 0.07$$

CRITERIO DE TAYLOR-SCHWARZ.

$$S = \left[ \frac{L}{\left( \frac{L}{S^2} \right)} \right]^2$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Tabla 5.17

| ELEV. MAYOR. msnm. | ELEV. MENOR. msnm. | Li mt. | DESNIVEL. mt. | S <sub>i</sub> | S <sub>i</sub> <sup>1/2</sup> | Li S <sub>i</sub> <sup>1/2</sup> |
|--------------------|--------------------|--------|---------------|----------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 2695               | 2675               | 170    | 20            | 0.1176         | 0.3430                        | 495                              |
| 2675               | 2650               | 150    | 25            | 0.1666         | 0.4082                        | 367                              |
| 2650               | 2625               | 520    | 25            | 0.0481         | 0.21921                       | 2372                             |
| 2625               | 2600               | 300    | 25            | 0.0833         | 0.2886                        | 1039                             |
| 2600               | 2575               | 250    | 25            | 0.1000         | 0.3162                        | 790                              |
| 2575               | 2550               | 620    | 25            | 0.0403         | 0.2008                        | 3087                             |
| 2550               | 2545               | 130    | 25            | 0.0384         | 0.1961                        | 663                              |
| SUMA               |                    | 2140   | 150           |                |                               | 8813                             |

sustituyendo:

$$S = [2140 / 8813]^2 = 0.059 = 5.9 \text{ centésimas} = 59.0 \text{ milésimas.}$$

RIGE.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

FÓRMULA DE ROWE.

$$T_c = (0.86L^2/S)^{0.385}$$

donde:

L = 2.14 Km. Longitud del cauce principal.  
S = 59.0 milésimas Pendiente del cauce principal.

sustituyendo:

$$T_c \cdot (0.86 \times 2.14^2 / 59.0)^{0.385} = 0.35 \text{ hs. } 21 \text{ min.}$$

FÓRMULA DE CHOW.

$$T_c = 0.00505(L/S^{0.5})^{0.64}$$

donde:

L = 2140 m. Longitud del cauce.  
S = 5.9 centésimas Pendiente del cauce.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

sustituyendo:

$$T_c = 0.00505(2140/5.9^{0.5})^{0.64} = 0.39 \text{ hs.} \quad 24 \text{ min.}$$

FÓRMULA DE KIRPICH.

$$T_c = 0.0003245(L/S^{0.5})^{0.77}$$

donde:

L = 2140 m. Longitud del cauce.

S = 0.059 Pendiente natural del cauce.

sustituyendo:

$$T_c = 0.0003245(2140/0.59^{0.5})^{0.77} = 0.35 \text{ hs.} \quad 21 \text{ min.}$$

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN PROMEDIO.

$$T_{cp} = (21 + 24 + 21) / 3 = 22 \text{ min.} = 0.37 \text{ hs.}$$

INTENSIDAD DE LLUVIA.

Para definir la Intensidad de lluvia (mm/h) en la región donde se ubica la cuenca en estudio, utilizamos los datos pluviográficos que nos proporciona la Estación Climatológica "Desviación Alta al Pedregal", ya que por ser la más cercana y contar con suficientes registros de lluvia, desde el año de 1967 al año de 1987 resulta la más adecuada para utilizarla estadísticamente.

Con las curvas de intensidad de lluvia máxima Maximorum de los boletines indicados, se procesa la información disponible y se obtienen las curvas intensidad-duración-período de retorno (I-D-T) que representarán las características de las tormentas que se precipitan en la zona de la cuenca en estudio.

Para esto consideramos intervalos de duración de lluvia de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 80, 100 y 120 minutos, determinando sus intensidades correspondientes a cada duración y a cada año de registro, según las gráficas, de los boletines citados, todo esto se encuentra indicado en la Tabla 5.18.

Estas intensidades de lluvias, que son las más críticas, se ordenan en forma decreciente de acuerdo a su período de retorno el cual se calcula en la fórmula siguiente:



$$T = \frac{n+1}{m}$$

en el cual:

- T = Período de retorno, en años.  
n = Número de años de registro.  
m = Número de orden de la precipitación.

La información ya ordenada se indica en la Tabla 5.19.

DATOS PLUVIOGRÁFICOS DE LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA DESVIACIÓN ALTA AL PEDREGAL.

Tabla 5.18

| No. | Año. | INTENSIDADES DE LLUVIA (mm/h) DE 5 A 120 MIN. |     |     |    |    |    |    |    |     |     |
|-----|------|---|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|
|     |      | 5   | 10  | 15  | 20 | 30 | 45 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| 1   | 1967 | 132   | 97  | 78  | 68 | 54 | 42 | 33 | 26 | 23  | 20  |
| 2   | 1968 | 120   | 95  | 75  | 60 | 42 | 30 | 24 | 20 | 15  | 14  |
| 3   | 1969 | 172   | 120 | 87  | 72 | 58 | 48 | 44 | 40 | 37  | 34  |
| 4   | 1970 | 142   | 115 | 100 | 90 | 77 | 65 | 53 | 40 | 33  | 28  |
| 5   | 1971 | 117   | 90  | 75  | 65 | 54 | 46 | 38 | 28 | 24  | 20  |
| 6   | 1972 | 115   | 86  | 65  | 52 | 36 | 30 | 22 | 17 | 14  | 13  |
| 7   | 1973 | 117   | 96  | 80  | 72 | 62 | 53 | 48 | 40 | 35  | 29  |
| 8   | 1974 | 100   | 74  | 65  | 60 | 52 | 45 | 40 | 34 | 28  | 25  |
| 9   | 1975 | 180   | 75  | 95  | 43 | 31 | 22 | 18 | 15 | 14  | 13  |
| 10  | 1976 | 125   | 90  | 65  | 53 | 37 | 25 | 20 | 15 | 13  | 11  |
| 11  | 1977 | 162   | 112 | 100 | 85 | 59 | 49 | 38 | 30 | 25  | 22  |
| 12  | 1978 | 144   | 79  | 57  | 48 | 37 | 25 | 20 | 15 | 12  | 10  |
| 13  | 1979 | 187   | 113 | 88  | 73 | 57 | 40 | 32 | 25 | 20  | 17  |
| 14  | 1980 | 102   | 80  | 65  | 56 | 42 | 32 | 24 | 19 | 15  | 14  |
| 15  | 1981 | 125   | 96  | 73  | 75 | 63 | 51 | 40 | 32 | 26  | 24  |
| 16  | 1982 | 67  | 42  | 37  | 33 | 27 | 21 | 18 | 14 | 12  | 11  |
| 17  | 1983 | 120   | 68  | 55  | 48 | 37 | 27 | 20 | 15 | 12  | 10  |
| 18  | 1984 | 172   | 120 | 100 | 86 | 68 | 52 | 42 | 39 | 28  | 20  |
| 19  | 1985 | 162   | 112 | 100 | 81 | 61 | 49 | 34 | 30 | 25  | 18  |
| 20  | 1986 | 180   | 120 | 108 | 93 | 74 | 61 | 49 | 38 | 31  | 25  |
| 21  | 1987 | 95  | 70  | 62  | 48 | 33 | 23 | 20 | 15 | 12  | 12  |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INTENSIDADES DE LLUVIA DE LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA DESVIACIÓN ALTA AL PEDREGAL EN ORDEN DESCENDIENTE.

Tabla 5.19

| No. Orden m. | T Años. | INTENSIDADES DE LLUVIA (mm/h) DE 5 A 120 MIN. |     |     |    |    |    |    |    |     |     |
|--------------|---------|---|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|
|              |         | 5   | 10  | 15  | 20 | 30 | 45 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| 1            | 22      | 187   | 120 | 108 | 93 | 77 | 65 | 53 | 40 | 37  | 34  |
| 2            | 11      | 186   | 120 | 100 | 90 | 74 | 61 | 49 | 40 | 35  | 29  |
| 3            | 7.3     | 172   | 120 | 100 | 85 | 69 | 53 | 48 | 40 | 33  | 28  |
| 4            | 5.5     | 172   | 115 | 100 | 82 | 68 | 52 | 44 | 39 | 31  | 25  |
| 5            | 4.4     | 162   | 113 | 100 | 81 | 63 | 51 | 42 | 38 | 28  | 25  |
| 6            | 3.6     | 162   | 112 | 88  | 75 | 62 | 49 | 40 | 34 | 28  | 24  |
| 7            | 3.1     | 144   | 112 | 87  | 73 | 61 | 49 | 40 | 32 | 26  | 22  |
| 8            | 2.7     | 142   | 97  | 83  | 72 | 58 | 48 | 38 | 30 | 25  | 20  |
| 9            | 2.4     | 132   | 96  | 80  | 72 | 57 | 46 | 38 | 30 | 25  | 20  |
| 10           | 2.2     | 125   | 95  | 78  | 68 | 57 | 45 | 34 | 28 | 24  | 20  |
| 11           | 2.0     | 125   | 93  | 75  | 65 | 57 | 42 | 33 | 26 | 23  | 18  |
| 12           | 1.8     | 120   | 90  | 75  | 60 | 52 | 40 | 32 | 25 | 20  | 17  |
| 13           | 1.7     | 120   | 90  | 65  | 60 | 42 | 33 | 24 | 20 | 15  | 14  |
| 14           | 1.5     | 117   | 83  | 65  | 56 | 42 | 32 | 24 | 19 | 15  | 14  |
| 15           | 1.4     | 117   | 80  | 65  | 53 | 37 | 30 | 22 | 17 | 14  | 13  |
| 16           | 1.3     | 115   | 79  | 65  | 52 | 37 | 30 | 20 | 15 | 14  | 13  |
| 17           | 1.3     | 108   | 75  | 62  | 48 | 37 | 27 | 20 | 15 | 13  | 12  |
| 18           | 1.2     | 108   | 74  | 57  | 48 | 36 | 25 | 20 | 15 | 12  | 11  |
| 19           | 1.1     | 105   | 70  | 55  | 48 | 33 | 25 | 20 | 15 | 12  | 11  |
| 20           | 1.1     | 95  | 68  | 55  | 43 | 31 | 22 | 18 | 15 | 12  | 10  |
| 21           | 1.04    | 67  | 42  | 37  | 33 | 27 | 21 | 18 | 14 | 12  | 10  |

## CÁLCULO DE LAS CURVAS I-D-T.

Para el cálculo de las curvas Intensidad-Duración-Período de Retorno, se emplea el Método de Correlación Múltiple en el cual las curvas I-D-T se obtienen ajustando una función a los valores de las intensidades máximas Maximorum anuales correspondientes a las duraciones ya indicadas que se mostraron en la Tabla 5.19

La ecuación que se aplica al método citado es:

$$i = \frac{KT^m}{D^n}$$

 TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



donde:

- $i$  = Intensidad de lluvia en mm/h.  
 $T$  = Período de retorno en años.  
 $D$  = Duración de la intensidad en min.  
 $K, m, n$  = Parámetros que se obtienen al hacer el ajuste de la ecuación.

Ahora tomamos logaritmos en la ecuación anterior y hacemos el ajuste de correlación lineal múltiple de una serie de tres datos, obteniendo el sistema de ecuación siguiente:

$$Y = Na_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2$$
$$X_1 Y = a_0 X_1 + a_1 X_1^2 + a_2 X_1 X_2$$
$$X_2 Y = a_0 X_2 + a_1 X_1 X_2 + a_2 X_2^2$$

en los cuales:

- $N$  =  $21 \times 10 = 210$  Cantidad e datos de la "Tabla II"  
 $X_1$  = Logaritmo de periodo de retorno.  
 $X_2$  = Logaritmo de la duración de las lluvias.  
 $Y$  = Logaritmo de la intensidad de lluvia.  
 $a_0$  = Logaritmo de  $K$  (incógnita)  
 $a_1$  =  $m$  (incógnita)  
 $a_2$  =  $-n$  (incógnita)

Así con los datos ya indicados se procesa la información para obtener los parámetros  $X_2$ ,  $X_1$ ,  $Y$ : productos y cuadrados de los mismos para el sistema de ecuaciones anteriores, esto se indica en la tabulación siguiente Tabla 5.20.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CALCULO DE LOS PARAMETROS X2, X1, Y, Y DEMAS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ECUACIONES.

Tabla 5.20

| X2   | X1   | Y    | X1Y  | X2Y  | X1*  | X2*  | X1X2 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.70 | 1.34 | 2.27 | 3.04 | 1.60 | 1.80 | 0.49 | 0.94 |
| 0.70 | 1.04 | 2.27 | 2.36 | 1.60 | 1.08 | 0.49 | 0.73 |
| 0.70 | 0.86 | 2.23 | 1.91 | 1.56 | 0.74 | 0.49 | 0.60 |
| 0.70 | 0.74 | 2.23 | 1.65 | 1.56 | 0.55 | 0.49 | 0.52 |
| 0.70 | 0.61 | 2.21 | 1.35 | 1.55 | 0.37 | 0.49 | 0.43 |
| 0.70 | 0.55 | 2.21 | 1.21 | 1.55 | 0.30 | 0.49 | 0.38 |
| 0.70 | 1.49 | 2.16 | 1.05 | 1.51 | 0.24 | 0.49 | 0.34 |
| 0.70 | 0.43 | 2.15 | 0.92 | 1.50 | 0.18 | 0.49 | 0.30 |
| 0.70 | 0.38 | 2.12 | 0.80 | 1.48 | 0.14 | 0.49 | 0.26 |
| 0.70 | 0.34 | 2.10 | 0.74 | 1.47 | 0.11 | 0.49 | 0.24 |
| 0.70 | 0.30 | 2.10 | 0.63 | 1.47 | 0.09 | 0.49 | 0.21 |
| 0.70 | 0.25 | 2.08 | 0.52 | 1.45 | 0.06 | 0.49 | 0.17 |
| 0.70 | 0.23 | 2.08 | 0.48 | 1.45 | 0.05 | 0.49 | 0.16 |
| 0.70 | 0.17 | 2.07 | 0.35 | 1.45 | 0.03 | 0.49 | 0.12 |
| 0.70 | 0.14 | 2.07 | 0.30 | 1.45 | 0.02 | 0.49 | 0.10 |
| 0.70 | 0.11 | 2.06 | 0.22 | 1.44 | 0.01 | 0.49 | 0.08 |
| 0.70 | 0.11 | 2.03 | 0.22 | 1.42 | 0.01 | 0.49 | 0.08 |
| 0.70 | 0.08 | 2.03 | 0.16 | 1.42 | 0.01 | 0.49 | 0.05 |
| 0.70 | 0.04 | 2.01 | 0.08 | 1.40 | 0.01 | 0.49 | 0.03 |
| 0.70 | 0.04 | 1.98 | 0.08 | 1.38 | 0.01 | 0.49 | 0.03 |
| 0.70 | 0.01 | 1.83 | 0.02 | 1.28 | 0.01 | 0.49 | 0.01 |
| X2   | X1   | Y    | X1Y  | X2Y  | X1*  | X2*  | X1X2 |
| 1.00 | 1.34 | 2.08 | 2.78 | 2.08 | 1.80 | 1.00 | 1.34 |
| 1.00 | 1.04 | 2.08 | 2.16 | 2.08 | 1.08 | 1.00 | 1.04 |
| 1.00 | 0.86 | 2.08 | 1.80 | 2.08 | 0.74 | 1.00 | 0.86 |
| 1.00 | 0.74 | 2.06 | 1.52 | 2.06 | 0.55 | 1.00 | 0.74 |
| 1.00 | 0.61 | 2.05 | 1.24 | 2.05 | 0.37 | 1.00 | 0.61 |
| 1.00 | 0.55 | 2.04 | 1.12 | 2.04 | 0.30 | 1.00 | 0.55 |
| 1.00 | 0.49 | 2.04 | 1.00 | 2.04 | 0.24 | 1.00 | 0.49 |
| 1.00 | 0.43 | 1.98 | 0.85 | 1.98 | 0.18 | 1.00 | 0.43 |
| 1.00 | 0.38 | 1.98 | 1.75 | 1.98 | 0.14 | 1.00 | 0.38 |
| 1.00 | 0.34 | 1.97 | 0.67 | 1.97 | 0.11 | 1.00 | 0.34 |
| 1.00 | 0.30 | 1.97 | 0.60 | 1.97 | 0.09 | 1.00 | 0.30 |
| 1.00 | 0.25 | 1.95 | 0.50 | 1.95 | 0.06 | 1.00 | 0.25 |
| 1.00 | 0.23 | 1.95 | 0.45 | 1.95 | 0.05 | 1.00 | 0.23 |
| 1.00 | 0.17 | 1.92 | 0.32 | 1.92 | 0.03 | 1.00 | 0.17 |
| 1.00 | 0.14 | 1.90 | 0.26 | 1.90 | 0.02 | 1.00 | 0.14 |
| 1.00 | 0.11 | 1.90 | 0.20 | 1.90 | 0.01 | 1.00 | 0.11 |
| 1.00 | 0.11 | 1.87 | 0.20 | 1.87 | 0.01 | 1.00 | 0.11 |
| 1.00 | 0.08 | 1.87 | 0.15 | 1.87 | 0.01 | 1.00 | 0.08 |
| 1.00 | 0.04 | 1.84 | 0.07 | 1.84 | 0.01 | 1.00 | 0.04 |

 TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

|      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 00 | 0 04 | 1 83 | 0 07 | 1 83 | 0 01 | 1 00 | 0 04 |
| 1 00 | 0 01 | 1 62 | 0 01 | 1 62 | 0 01 | 1 00 | 0 01 |
| X2   | X1   | Y    | X1Y  | X2Y  | X1*  | X2*  | X1X2 |
| 1 18 | 1 34 | 2 03 | 2 72 | 2 40 | 1 80 | 1 39 | 1 58 |
| 1 18 | 1 04 | 2 00 | 2 08 | 2 36 | 1 08 | 1 39 | 1 22 |
| 1 18 | 0 86 | 2 00 | 1 72 | 2 36 | 0 74 | 1 39 | 1 01 |
| 1 18 | 0 74 | 2 00 | 1 48 | 2 36 | 0 55 | 1 39 | 0 87 |
| 1 18 | 0 61 | 2 00 | 1 22 | 2 36 | 0 37 | 1 39 | 0 72 |
| 1 18 | 0 55 | 1 94 | 1 06 | 2 29 | 0 30 | 1 39 | 0 65 |
| 1 18 | 0 49 | 1 94 | 0 95 | 2 29 | 0 24 | 1 39 | 0 58 |
| 1 18 | 0 43 | 1 92 | 0 82 | 2 26 | 0 18 | 1 39 | 0 50 |
| 1 18 | 0 38 | 1 90 | 1 72 | 2 24 | 0 14 | 1 39 | 0 45 |
| 1 18 | 0 34 | 1 89 | 0 64 | 2 24 | 0 11 | 1 39 | 0 40 |
| 1 18 | 0 30 | 1 87 | 0 56 | 2 20 | 0 09 | 1 39 | 0 35 |
| 1 18 | 0 25 | 1 87 | 0 45 | 2 20 | 0 06 | 1 39 | 0 30 |
| 1 18 | 0 23 | 1 81 | 0 41 | 2 13 | 0 05 | 1 39 | 0 27 |
| 1 18 | 0 17 | 1 81 | 0 30 | 2 13 | 0 03 | 1 39 | 0 20 |
| 1 18 | 0 14 | 1 81 | 0 25 | 2 13 | 0 02 | 1 39 | 0 16 |
| 1 18 | 0 11 | 1 81 | 0 20 | 2 12 | 0 01 | 1 39 | 0 13 |
| 1 18 | 0 11 | 1 80 | 0 20 | 2 12 | 0 01 | 1 39 | 0 13 |
| 1 18 | 0 08 | 1 75 | 0 14 | 1 06 | 0 01 | 1 39 | 0 10 |
| 1 18 | 0 04 | 1 74 | 0 07 | 2 05 | 0 01 | 1 39 | 0 05 |
| 1 18 | 0 04 | 1 74 | 0 07 | 2 05 | 0 01 | 1 39 | 0 05 |
| 1 18 | 0 01 | 1 57 | 0 01 | 1 85 | 0 01 | 1 39 | 0 01 |
| X2   | X1   | Y    | X1Y  | X2Y  | X1*  | X2*  | X1X2 |
| 1 30 | 1 34 | 1 97 | 2 64 | 2 56 | 1 80 | 1 69 | 1 74 |
| 1 30 | 1 04 | 1 95 | 2 12 | 2 53 | 1 08 | 1 69 | 1 35 |
| 1 30 | 0 86 | 1 93 | 1 66 | 2 50 | 0 74 | 1 69 | 1 23 |
| 1 30 | 0 74 | 1 93 | 1 43 | 2 50 | 0 55 | 1 69 | 0 96 |
| 1 30 | 0 61 | 1 91 | 1 16 | 2 48 | 0 37 | 1 69 | 0 80 |
| 1 30 | 0 55 | 1 87 | 1 03 | 2 43 | 0 30 | 1 69 | 0 70 |
| 1 30 | 0 49 | 1 86 | 0 91 | 2 42 | 0 24 | 1 69 | 0 64 |
| 1 30 | 0 43 | 1 86 | 0 80 | 2 42 | 0 18 | 1 69 | 0 56 |
| 1 30 | 0 38 | 1 86 | 0 70 | 2 42 | 0 14 | 1 69 | 0 50 |
| 1 30 | 0 34 | 1 83 | 0 62 | 2 40 | 0 11 | 1 69 | 0 44 |
| 1 30 | 0 30 | 1 81 | 0 54 | 2 35 | 0 09 | 1 69 | 0 40 |
| 1 30 | 0 25 | 1 79 | 0 44 | 2 30 | 0 06 | 1 69 | 0 32 |
| 1 30 | 0 23 | 1 78 | 0 40 | 2 30 | 0 05 | 1 69 | 0 30 |
| 1 30 | 0 17 | 1 75 | 0 30 | 2 27 | 0 03 | 1 69 | 0 22 |
| 1 30 | 0 14 | 1 72 | 0 24 | 2 24 | 0 02 | 1 69 | 0 18 |
| 1 30 | 0 11 | 1 72 | 0 20 | 2 24 | 0 01 | 1 69 | 0 14 |
| 1 30 | 0 11 | 1 68 | 0 18 | 2 18 | 0 01 | 1 69 | 0 14 |
| 1 30 | 0 09 | 1 68 | 1 12 | 2 18 | 0 01 | 1 69 | 0 10 |
| 1 30 | 0 04 | 1 68 | 0 06 | 2 18 | 0 01 | 1 69 | 0 05 |
| 1 30 | 0 04 | 1 63 | 0 06 | 2 12 | 0 01 | 1 69 | 0 05 |



|      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1.30 | 0.01 | 1.92 | 0.01 | 2.00 | 0.01 | 1.69 | 0.01 |
| X2   | X1   | Y    | X1Y  | X2Y  | X1²  | X2²  | X1X2 |
| 1.48 | 1.34 | 1.88 | 2.52 | 2.78 | 1.80 | 2.19 | 2.00 |
| 1.48 | 1.04 | 1.87 | 2.02 | 2.76 | 1.08 | 2.19 | 1.54 |
| 1.48 | 0.86 | 1.84 | 1.58 | 2.72 | 0.74 | 2.19 | 1.27 |
| 1.48 | 0.74 | 1.84 | 1.36 | 2.72 | 0.55 | 2.19 | 1.10 |
| 1.48 | 0.61 | 1.80 | 1.10 | 2.66 | 0.37 | 2.19 | 0.90 |
| 1.48 | 0.55 | 1.80 | 1.00 | 2.66 | 0.30 | 2.19 | 0.80 |
| 1.48 | 0.49 | 1.79 | 0.88 | 2.65 | 0.24 | 2.19 | 0.72 |
| 1.48 | 0.43 | 1.76 | 0.75 | 2.60 | 0.18 | 2.19 | 0.63 |
| 1.48 | 0.38 | 1.76 | 0.67 | 2.60 | 0.14 | 2.19 | 0.56 |
| 1.48 | 0.34 | 1.73 | 0.60 | 2.56 | 0.11 | 2.19 | 0.50 |
| 1.48 | 0.30 | 1.73 | 0.52 | 2.56 | 0.09 | 2.19 | 0.44 |
| 1.48 | 0.25 | 1.72 | 0.43 | 2.55 | 0.06 | 2.19 | 0.37 |
| 1.48 | 0.23 | 1.62 | 0.37 | 2.40 | 0.05 | 2.19 | 0.34 |
| 1.48 | 0.17 | 1.65 | 0.27 | 2.40 | 0.03 | 2.19 | 0.25 |
| 1.48 | 0.14 | 1.57 | 0.22 | 2.32 | 0.02 | 2.19 | 0.20 |
| 1.48 | 0.11 | 1.57 | 0.17 | 2.32 | 0.01 | 2.19 | 0.16 |
| 1.48 | 0.11 | 1.57 | 0.17 | 2.32 | 0.01 | 2.19 | 0.16 |
| 1.48 | 0.08 | 1.57 | 0.12 | 2.32 | 0.01 | 2.19 | 0.12 |
| 1.48 | 0.04 | 1.52 | 0.06 | 2.25 | 0.01 | 2.19 | 0.06 |
| 1.48 | 0.04 | 1.50 | 0.06 | 2.22 | 0.01 | 2.19 | 0.06 |
| 1.48 | 0.01 | 1.43 | 0.01 | 2.11 | 0.01 | 2.19 | 0.01 |
| X2   | X1   | Y    | X1Y  | X2Y  | X1²  | X2²  | X1X2 |
| 1.65 | 1.34 | 1.81 | 2.42 | 3.00 | 1.80 | 2.72 | 2.21 |
| 1.65 | 1.04 | 1.78 | 1.85 | 2.94 | 1.08 | 2.72 | 1.71 |
| 1.65 | 0.86 | 1.72 | 1.48 | 2.84 | 0.74 | 2.72 | 1.42 |
| 1.65 | 0.74 | 1.72 | 1.27 | 2.84 | 0.55 | 2.72 | 1.22 |
| 1.65 | 0.61 | 1.71 | 1.05 | 2.82 | 0.37 | 2.72 | 1.00 |
| 1.65 | 0.55 | 1.70 | 0.93 | 2.80 | 0.30 | 2.72 | 0.90 |
| 1.65 | 0.49 | 1.70 | 0.83 | 2.80 | 0.24 | 2.72 | 0.80 |
| 1.65 | 0.43 | 1.65 | 0.72 | 2.77 | 0.18 | 2.72 | 0.70 |
| 1.65 | 0.38 | 1.66 | 0.63 | 2.74 | 0.14 | 2.72 | 0.63 |
| 1.65 | 0.34 | 1.65 | 0.56 | 2.72 | 0.11 | 2.72 | 0.56 |
| 1.65 | 0.30 | 1.62 | 0.48 | 2.67 | 0.09 | 2.72 | 0.50 |
| 1.65 | 0.25 | 1.60 | 0.40 | 2.64 | 0.06 | 2.72 | 0.40 |
| 1.65 | 0.23 | 1.50 | 0.34 | 2.47 | 0.05 | 2.72 | 0.38 |
| 1.65 | 0.17 | 1.48 | 0.25 | 2.44 | 0.03 | 2.72 | 0.28 |
| 1.65 | 0.14 | 1.48 | 0.20 | 2.44 | 0.02 | 2.72 | 0.23 |
| 1.65 | 0.11 | 1.43 | 0.15 | 2.36 | 0.01 | 2.72 | 0.18 |
| 1.65 | 0.11 | 1.40 | 0.15 | 2.30 | 0.01 | 2.72 | 0.18 |
| 1.65 | 0.08 | 1.40 | 0.11 | 2.30 | 0.01 | 2.72 | 0.13 |
| 1.65 | 0.04 | 1.36 | 0.05 | 2.24 | 0.01 | 2.72 | 0.06 |
| 1.65 | 0.04 | 1.34 | 0.05 | 2.20 | 0.01 | 2.72 | 0.06 |
| 1.65 | 0.01 | 1.32 | 0.01 | 2.18 | 0.01 | 2.72 | 0.01 |

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



| X2   | X1   | Y    | X1Y  | X2Y  | X1*  | X2*  | X1X2 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1.78 | 1.34 | 1.72 | 2.30 | 3.06 | 1.80 | 3.17 | 2.38 |
| 1.78 | 1.04 | 1.70 | 1.85 | 3.02 | 1.08 | 3.17 | 1.85 |
| 1.78 | 0.86 | 1.69 | 1.45 | 3.00 | 0.74 | 3.17 | 1.51 |
| 1.78 | 0.74 | 1.64 | 1.21 | 2.90 | 0.55 | 3.17 | 1.32 |
| 1.78 | 0.61 | 1.62 | 1.00 | 2.88 | 0.37 | 3.17 | 1.08 |
| 1.78 | 0.55 | 1.60 | 0.88 | 2.85 | 0.30 | 3.17 | 1.00 |
| 1.78 | 0.49 | 1.60 | 0.73 | 2.85 | 0.24 | 3.17 | 0.87 |
| 1.78 | 0.43 | 1.58 | 0.68 | 2.81 | 0.18 | 3.17 | 0.76 |
| 1.78 | 0.38 | 1.58 | 0.60 | 2.81 | 0.14 | 3.17 | 0.67 |
| 1.78 | 0.34 | 1.53 | 0.52 | 2.72 | 0.11 | 3.17 | 0.60 |
| 1.78 | 0.30 | 1.52 | 0.45 | 2.70 | 0.09 | 3.17 | 0.53 |
| 1.78 | 0.25 | 1.50 | 0.37 | 2.67 | 0.06 | 3.17 | 0.44 |
| 1.78 | 0.23 | 1.38 | 0.32 | 2.45 | 0.05 | 3.17 | 0.40 |
| 1.78 | 0.17 | 1.38 | 0.23 | 2.45 | 0.03 | 3.17 | 0.30 |
| 1.78 | 0.14 | 1.34 | 0.20 | 2.37 | 0.02 | 3.17 | 0.25 |
| 1.78 | 0.11 | 1.30 | 0.14 | 2.30 | 0.01 | 3.17 | 0.20 |
| 1.78 | 0.11 | 1.30 | 0.14 | 2.30 | 0.01 | 3.17 | 0.20 |
| 1.78 | 0.08 | 1.30 | 0.10 | 2.30 | 0.01 | 3.17 | 0.14 |
| 1.78 | 0.04 | 1.30 | 0.05 | 2.30 | 0.01 | 3.17 | 0.07 |
| 1.78 | 0.04 | 1.25 | 0.05 | 2.22 | 0.01 | 3.17 | 0.07 |
| 1.78 | 0.01 | 1.25 | 0.01 | 2.22 | 0.01 | 3.17 | 0.02 |
| X2   | X1   | Y    | X1Y  | X2Y  | X1*  | X2*  | X1X2 |
| 1.90 | 1.34 | 1.60 | 2.14 | 3.04 | 1.80 | 3.60 | 2.55 |
| 1.90 | 1.04 | 1.60 | 1.66 | 3.04 | 1.08 | 3.60 | 1.97 |
| 1.90 | 0.86 | 1.60 | 1.37 | 3.04 | 0.74 | 3.60 | 1.63 |
| 1.90 | 0.74 | 1.59 | 1.17 | 3.02 | 0.55 | 3.60 | 1.40 |
| 1.90 | 0.61 | 1.58 | 0.96 | 3.00 | 0.37 | 3.60 | 1.16 |
| 1.90 | 0.55 | 1.53 | 0.84 | 2.90 | 0.30 | 3.60 | 1.05 |
| 1.90 | 0.49 | 1.50 | 0.73 | 2.85 | 0.24 | 3.60 | 0.93 |
| 1.90 | 0.43 | 1.48 | 0.63 | 2.80 | 0.18 | 3.60 | 0.82 |
| 1.90 | 0.38 | 1.48 | 0.56 | 2.80 | 0.14 | 3.60 | 0.72 |
| 1.90 | 0.34 | 1.44 | 0.50 | 2.74 | 0.11 | 3.60 | 0.65 |
| 1.90 | 0.30 | 1.41 | 0.42 | 2.68 | 0.09 | 3.60 | 0.57 |
| 1.90 | 0.25 | 1.41 | 0.35 | 2.68 | 0.06 | 3.60 | 0.47 |
| 1.90 | 0.23 | 1.30 | 0.30 | 2.47 | 0.05 | 3.60 | 0.44 |
| 1.90 | 0.17 | 1.28 | 0.22 | 2.43 | 0.03 | 3.60 | 0.32 |
| 1.90 | 0.14 | 1.23 | 0.17 | 2.34 | 0.02 | 3.60 | 0.26 |
| 1.90 | 0.11 | 1.17 | 0.13 | 2.22 | 0.01 | 3.60 | 0.20 |
| 1.90 | 0.11 | 1.17 | 0.13 | 2.22 | 0.01 | 3.60 | 0.20 |
| 1.90 | 0.08 | 1.17 | 0.10 | 2.22 | 0.01 | 3.60 | 0.15 |
| 1.90 | 0.04 | 1.17 | 0.05 | 2.22 | 0.01 | 3.60 | 0.07 |
| 1.90 | 0.04 | 1.17 | 0.05 | 2.22 | 0.01 | 3.60 | 0.07 |
| 1.90 | 0.01 | 1.14 | 0.01 | 2.16 | 0.01 | 3.60 | 0.02 |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



| X2     | X1    | Y      | X1Y    | X2Y    | X1*   | X2*    | X1X2   |
|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| 2.00   | 1.34  | 1.57   | 2.10   | 3.14   | 1.80  | 4.00   | 2.68   |
| 2.00   | 1.04  | 1.54   | 1.60   | 3.08   | 1.08  | 4.00   | 2.08   |
| 2.00   | 0.86  | 1.52   | 1.30   | 3.04   | 0.74  | 4.00   | 1.72   |
| 2.00   | 0.74  | 1.50   | 1.11   | 3.00   | 0.55  | 4.00   | 1.48   |
| 2.00   | 0.61  | 1.44   | 0.88   | 2.88   | 0.37  | 4.00   | 1.22   |
| 2.00   | 0.55  | 1.44   | 0.80   | 2.88   | 0.30  | 4.00   | 1.10   |
| 2.00   | 0.49  | 1.41   | 0.70   | 2.82   | 0.24  | 4.00   | 0.95   |
| 2.00   | 0.43  | 1.40   | 0.60   | 2.80   | 0.18  | 4.00   | 0.86   |
| 2.00   | 0.38  | 1.40   | 0.53   | 2.80   | 0.14  | 4.00   | 0.76   |
| 2.00   | 0.34  | 1.38   | 0.47   | 2.76   | 0.11  | 4.00   | 0.68   |
| 2.00   | 0.30  | 1.36   | 0.40   | 2.72   | 0.09  | 4.00   | 0.60   |
| 2.00   | 0.25  | 1.30   | 0.32   | 2.60   | 0.06  | 4.00   | 0.50   |
| 2.00   | 0.23  | 1.17   | 0.27   | 2.34   | 0.05  | 4.00   | 0.46   |
| 2.00   | 0.17  | 1.17   | 0.20   | 2.34   | 0.03  | 4.00   | 0.34   |
| 2.00   | 0.14  | 1.14   | 0.16   | 2.28   | 0.02  | 4.00   | 0.28   |
| 2.00   | 0.11  | 1.14   | 0.12   | 2.28   | 0.01  | 4.00   | 0.22   |
| 2.00   | 0.11  | 1.11   | 0.12   | 2.22   | 0.01  | 4.00   | 0.22   |
| 2.00   | 0.08  | 1.10   | 0.09   | 2.20   | 0.01  | 4.00   | 0.16   |
| 2.00   | 0.04  | 1.10   | 0.05   | 2.20   | 0.01  | 4.00   | 0.08   |
| 2.00   | 0.04  | 1.10   | 0.05   | 2.20   | 0.01  | 4.00   | 0.08   |
| 2.00   | 0.01  | 1.10   | 0.01   | 2.20   | 0.01  | 4.00   | 0.02   |
| X2     | X1    | Y      | X1Y    | X2Y    | X1*   | X2*    | X1X2   |
| 2.08   | 1.34  | 1.53   | 2.05   | 3.18   | 1.60  | 4.32   | 2.79   |
| 2.08   | 1.04  | 1.46   | 1.52   | 3.04   | 1.08  | 4.32   | 2.16   |
| 2.08   | 0.86  | 1.45   | 1.25   | 3.02   | 0.74  | 4.32   | 1.79   |
| 2.08   | 0.74  | 1.40   | 1.04   | 2.90   | 0.55  | 4.32   | 1.54   |
| 2.08   | 0.61  | 1.40   | 0.85   | 2.90   | 0.37  | 4.32   | 1.27   |
| 2.08   | 0.55  | 1.38   | 0.76   | 2.87   | 0.30  | 4.32   | 1.14   |
| 2.08   | 0.49  | 1.34   | 0.66   | 2.79   | 0.24  | 4.32   | 1.02   |
| 2.08   | 0.43  | 1.30   | 0.56   | 2.70   | 0.18  | 4.32   | 0.90   |
| 2.08   | 0.38  | 1.30   | 0.50   | 2.70   | 0.14  | 4.32   | 0.80   |
| 2.08   | 0.34  | 1.30   | 0.44   | 2.70   | 0.11  | 4.32   | 0.70   |
| 2.08   | 0.30  | 1.25   | 0.37   | 2.60   | 0.09  | 4.32   | 0.62   |
| 2.08   | 0.25  | 1.23   | 0.30   | 2.56   | 0.06  | 4.32   | 0.52   |
| 2.08   | 0.23  | 1.14   | 0.26   | 2.37   | 0.05  | 4.32   | 0.48   |
| 2.08   | 0.17  | 1.14   | 0.20   | 2.37   | 0.03  | 4.32   | 0.35   |
| 2.08   | 0.14  | 1.11   | 0.15   | 2.30   | 0.02  | 4.32   | 0.30   |
| 2.08   | 0.11  | 1.11   | 0.12   | 2.30   | 0.01  | 4.32   | 0.23   |
| 2.08   | 0.11  | 1.10   | 0.12   | 2.30   | 0.01  | 4.32   | 0.23   |
| 2.08   | 0.08  | 1.04   | 0.05   | 2.16   | 0.01  | 4.32   | 0.17   |
| 2.08   | 0.04  | 1.04   | 0.04   | 2.16   | 0.01  | 4.32   | 0.10   |
| 2.08   | 0.04  | 1.00   | 0.04   | 2.08   | 0.01  | 4.32   | 0.10   |
| 2.08   | 0.01  | 1.00   | 0.01   | 2.08   | 0.01  | 4.32   | 0.02   |
| 316 47 | 82 60 | 344 25 | 144 25 | 493 33 | 58 20 | 515 97 | 124 30 |

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



Sustituyendo los resultados obtenidos de la TABLA 5.20, en el sistema de ecuaciones anterior, tenemos:

$$\begin{aligned} 210 a_0 + 82.60 a_1 + 316.47 a_2 &= 344.25 & a) \\ 82.60 a_0 + 58.20 a_1 + 124.30 a_2 &= 144.25 & b) \\ 316.47 + 124.30 a_1 + 515.97 a_2 &= 493.33 & c) \end{aligned}$$

Ejecutando las operaciones, de la ecuación a):

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{344.25 - 82.60 a_1 - 316.47 a_2}{210} \\ a_0 &= 1.64 - 0.39 a_1 - 1.50 a_2 & d) \end{aligned}$$

Sustituyendo la ecuación d) en la b):

$$\begin{aligned} 82.6 (1.64 - 0.39 a_1 - 1.5 a_2) - 58.2 a_1 + 124.30 a_2 &= 144.25 \\ 26.00 a_1 + 0.40 a_2 &= 8.79 & f) \end{aligned}$$

Sustituyendo la ecuación d) en la c):

$$\begin{aligned} 316.47 (1.64 - 0.39 a_1 - 1.5 a_2) + 124.30 a_1 + 515.97 a_2 &= 493.33 \\ 0.88 a_1 + 41.27 a_2 &= -25.68 \end{aligned}$$

Entonces nuestro sistema de ecuaciones se convierte en:

$$\begin{aligned} 210 a_0 + 82.6 a_1 + 316.47 a_2 &= 344.25 & e) \\ 26.00 a_1 + 0.40 a_2 &= 8.79 & f) \\ 0.88 a_1 + 41.27 a_2 &= -25.68 & g) \end{aligned}$$

Despejando  $a_1$  de la ecuación f):

$$a_1 = \frac{8.79 - 0.40 a_2}{26.00}$$

$$a_1 = 0.34 - 0.015 a_2 \quad h)$$

Sustituyendo  $a_2$  en la ecuación h) en la g):

$$\begin{aligned} 0.88 (0.34 - 0.05 a_2) + 41.27 a_2 &= -25.68 \\ a_2 &= -0.63 \end{aligned}$$

Sustituyendo  $a_2$  en la ecuación f):

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



$$26.00 a_1 + 0.40 (-0.63) = 8.79$$
$$a_1 = 0.348$$

Sustituyendo los valores de  $a_1$  y  $a_2$  en la ecuación e):

$$210 a_0 + (82.6 \times 0.348) + [316.47 (-0.63)] = 344.25$$
$$a_0 = 2.45$$

Teniendo ya los valores de  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_2$ , se obtienen los parámetros:

$$K = 10^{2.45} = 281.84$$

$$m = a_1 = 0.348$$

$$n = -a_2 = 0.63$$

Así tenemos que la ecuación para las curvas de Intensidad-Duración-Período de Retorno (I-D-T), es:

$$i = \frac{KT^m}{D^n}$$

donde:

$i$  = Intensidad de lluvia en mm/h.

$T$  = 100 años, Período de Retorno, según especifica la CNA.

$D$  = 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 80, 100, 120, 150 y 200; Duración de lluvia en minutos.

Sustituyendo:

$$i = \frac{281.84 (T)^{0.348}}{D^{0.63}}$$

Las graficas I-D-T, para 50 y 100 años, se ilustran a continuación:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Tabla 5.21

| T=50 años  |  | T=100 años  |  |
|--|--|---|--|
| <b>INTENSIDADES DE LLUVIA EN mm/hora<br/>PARA DURACION DE 5 A 200 minutos.</b> |  |   |  |
| PERIODO DE RETORNO   |  |   |  |
| $i_5 = \frac{281,84 \times 50^{0,348}}{5^{0,63}} = 399,0$                      |  | $i_5 = \frac{281,84 \times 10^{0,348}}{2,75} = 508,9$ |  |
| $i_{10} = \frac{1099,62}{10^{0,63}} = 257,5$                                   |  | $i_{10} = \frac{1399,59}{4,27} = 327,7$               |  |
| $i_{15} = \frac{1099,62}{15^{0,63}} = 199,6$                                   |  | $i_{15} = \frac{1399,59}{5,51} = 254,0$               |  |
| $i_{20} = \frac{1099,62}{20^{0,63}} = 166,6$                                   |  | $i_{20} = \frac{1399,59}{6,60} = 212,1$               |  |
| $i_{22} = \frac{1099,62}{22^{0,63}} = 156,8$                                   |  | $i_{22} = \frac{1399,59}{7,01} = 199,6$               |  |
| $i_{60} = \frac{1099,62}{60^{0,63}} = 83,3$                                    |  | $i_{60} = \frac{1399,59}{13,2} = 106,0$               |  |
| $i_{80} = \frac{1099,62}{80^{0,63}} = 69,5$                                    |  | $i_{80} = \frac{1399,59}{15,81} = 88,5$               |  |
| $i_{100} = \frac{1099,62}{100^{0,63}} = 60,4$                                  |  | $i_{100} = \frac{1399,59}{18,20} = 76,9$              |  |
| $i_{120} = \frac{1099,62}{120^{0,63}} = 53,8$                                  |  | $i_{120} = \frac{1399,59}{20,41} = 68,5$              |  |
| $i_{150} = \frac{1099,62}{150^{0,63}} = 46,8$                                  |  | $i_{150} = \frac{1399,59}{23,5} = 59,5$               |  |
| $i_{200} = \frac{1099,62}{200^{0,63}} = 39,0$                                  |  | $i_{200} = \frac{1399,59}{28,16} = 49,7$              |  |

**COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO, CE.**

Teniendo en cuenta las cantidades proporcionales de superficie de la cuenca en estudio según el uso que tengan, se calcula a continuación el coeficiente de escurrimiento.

$$C_e = \frac{X_e}{X_a}$$

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



donde:

$X_e$  = Lluvia en exceso, la cual se calcula utilizando los datos de la Tabla 5.20 y con la fórmula siguiente:

$$X_e = 10 \left( \frac{X_a - 508}{10 - N} + 5.08 \right)^2$$

$$\frac{X_a - 2032}{10 - N} + 20.32$$

$N$  = Coeficiente que depende del tipo de suelo y que se obtiene de la Tabla 3.10.

Para suelo tipo C.

- Bosque cultivado y natural ralo, baja transpiración en la parte alta de la cuenca, o sea parte de San Bartola Ameyalco.  $N = 72$
- En la zona pobladas con calles jardines semejantes a "descanso sin cultivo"  $N = 90$
- En áreas pobladas con jardines semejantes a "descanso sin cultivo"  $N = 91$

Cantidades aproximadas de superficie de la cuenca, según su uso:

- Bosque normal en la parte alta y media 20%
- Zona poblada con calles y jardines 10%
- Zona poblada con jardines en las casas 70%

Entonces, utilizando el promedio ponderado:

$$N = (72 \times 0.20) + (90 \times 0.10) + (91 \times 0.70) = \underline{87.1}$$

$$X_a = i \cdot TC$$

donde:

$i$  = 199.6 mm/h., Intensidad de lluvia para un período de retorno de  $T = 100$  años.

$TC = 22$  min. = 0.37 hs., Tiempo de concentración.

$$X_a = 199.6 \times 0.37 = 73.8 \text{ min.}$$

$$X_e = 10 \left( \frac{X_a - 508}{10 - 87.1} + 5.08 \right)^2 = \frac{439.25}{51.03} = 8.6$$

$$\frac{X_a - 2032}{10 - 87.1} + 20.32$$

ESTUDIO CON  
FALLA DE ORIGEN



Entonces tenemos que el coeficiente de escurrimiento es:

$$C_e = \frac{X_e}{X_a} = \frac{8.6}{73.8} = 0.11$$

GASTO (ESCURRIMIENTO) MÁXIMO PROBABLE PARA UN PERÍODO DE RETORNO T=100 AÑOS, EN LA BOQUILLA CONSIDERADA.

Método Racional de Burkli-Ziegler.

$$Q = 2.777 C_e A^3 S^4 I$$

donde:

|                           |  |
|---------------------------|--|
| $C_e = 0.11$              | Coficiente de Escurrimiento.                                 |
| $A = 93.93 \text{ Ha.}$   | Área de la cuenca.   |
| $S = 183.3 \text{ mm.}$   | Pendiente de la cuenca.                                      |
| $I = 199.6 \text{ mm/h.}$ | Intensidad de lluvia para un período de retorno de 100 años. |

Sustituyendo:

$$Q = 2.777 \times 0.11 \times 93.93^3 \times 183.3^4 \times 199.6$$

$$Q = 6750$$

$$L.P.S = 6.75 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

Método Racional Americano.

$$Q = \frac{d}{7.2} C_e I A$$

donde:

|                           |  |
|---------------------------|--|
| $d = 2.4$                 | Coficiente de forma del hidrograma triangular. |
| $C_e = 0.110$             | Coficiente de permeabilidad.                   |
| $A = 0.9393 \text{ Km}^2$ | Área de la cuenca.                             |
| $I = 199.6 \text{ mm/h}$  | Intensidad de lluvia.                          |

Sustituyendo:

$$Q = \frac{2.4}{7.2} \times 0.110 \times 199.6 \times 0.9393 \times 6.86 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Método de Gregory y Arnold.

$$Q = \left( \frac{d}{7.2} \right) (3.6 \text{ PTc/L})^{4eg} (CeIpA)^{4g} (F)^{8eg} (Sp)^{1.5eg} / 1000^{2eg}$$

donde:

d = 2.4                      Coeficiente de forma del hidrograma triangular.

Relación largo-ancho de la cuenca.

$$L = \frac{L^2}{A} = \frac{2140^2}{939300} = 4.9 \quad \therefore \text{Tipo 4 media.}$$

Relación ancho del fondo a la altura B:1

Talud 3:1  $\therefore n=0.040$ 

|                            |  |
|----------------------------|--|
| e = 0:                     | Precipitación variable, entonces:            |
| P = 0.56                   | Factor de forma y concentración de la cuenca |
| Tc = 0.37 hs.              | Tiempo de concentración.                     |
| F = 3.11                   | Factor.                                      |
| L = 2.140 Km.              | Longitud de la Cuenca principal.             |
| Ce = 0.11                  | Coefficiente de escurrimiento.               |
| A = 0.9393 Km <sup>2</sup> | Área de la cuenca.                           |
| I = 199.6 mm/h             | Intensidad de lluvia.                        |
| Sp = 59.0 milésimos        | Pendiente del cauce.                         |

sustituyendo:

$$Q = \left( \frac{2.4}{7.2} \right) (3.6 \times 0.56 \times 0.37 / 2.14)^{0.5714} (0.11 \times 199.6 \times 0.9393)^{1.1428} (3.11)^{1.1428} (59.0)^{0.2143} / 1000^{0.2857}$$

$$Q = (0.33)(0.34)^{0.5714} (20.62)^{1.1428} (3.11)^{1.1428} (59.0)^{0.2143} / 7.20$$

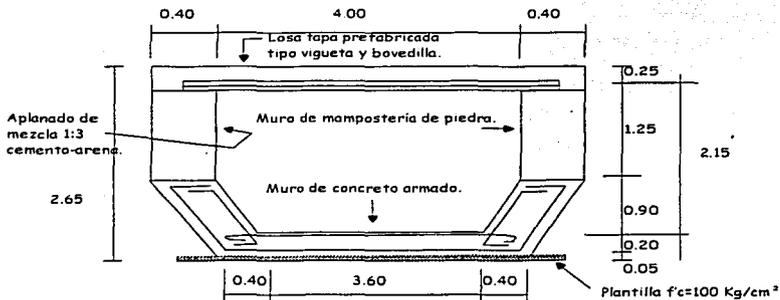
$$Q_{100} = 6.86 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

RIGE.

Teniendo en cuenta que este método es el que más coeficientes y consideraciones involucra en la fórmula, el gasto  $Q = 6.86 \text{ m}^3 / \text{seg.}$  es el que regirá para el período de retorno de 100 años que especifica la CNA. Con este gasto se debe calcular la sección hidráulica necesaria que permite el paso del caudal. Pero en este caso en particular se tiene una sección tipo cajón con losa de fondo y muros de concreto armado hasta una altura de 0.690

 TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

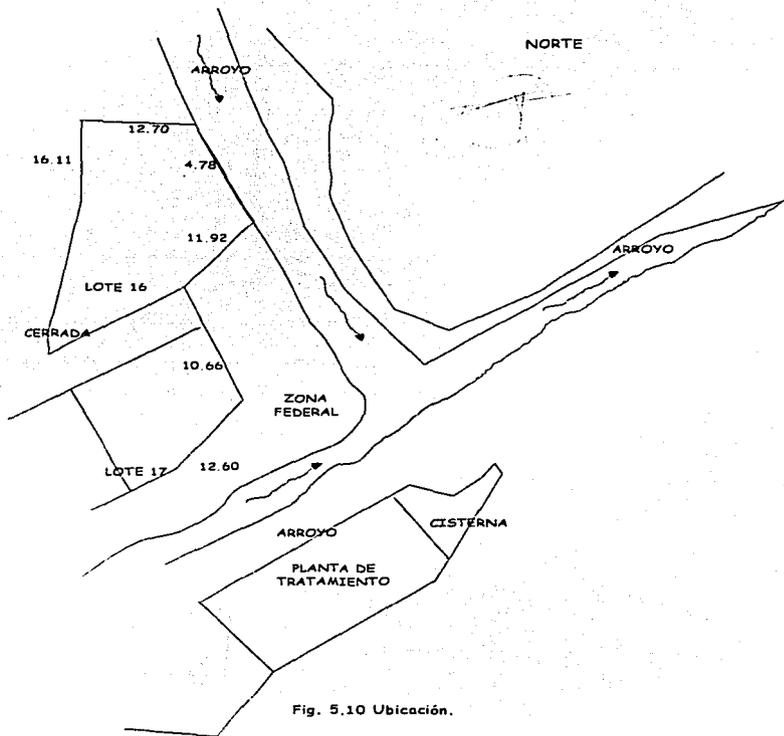
m. para continuar con mampostería de piedra y losa tapa como se muestra en la siguiente figura:



Por lo antes expuesto procederemos entonces únicamente a revisar la sección propuesta transitando la avenida y de esta manera determinar el nivel del agua en la misma para así poder conocer la eficiencia o insuficiencia hidráulica de dicha sección.<sup>32</sup>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<sup>32</sup> Los resultados obtenidos fueron calculados con la ayuda del programa HEC-RAS Versión 2.2



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

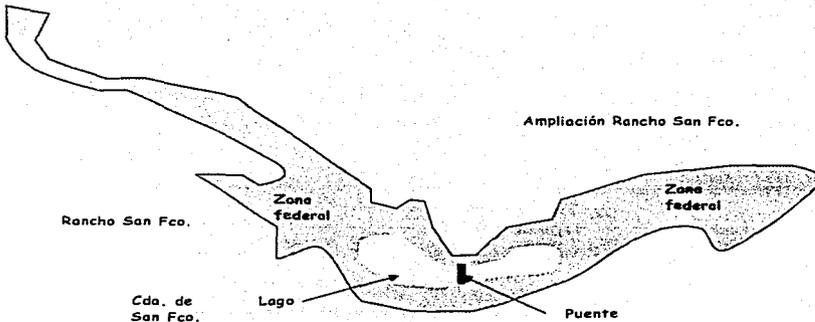


Fig. 5.11 Localización

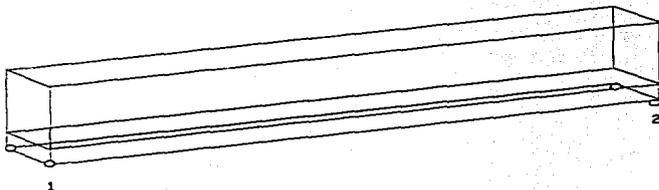
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Barranca de Guadalupe



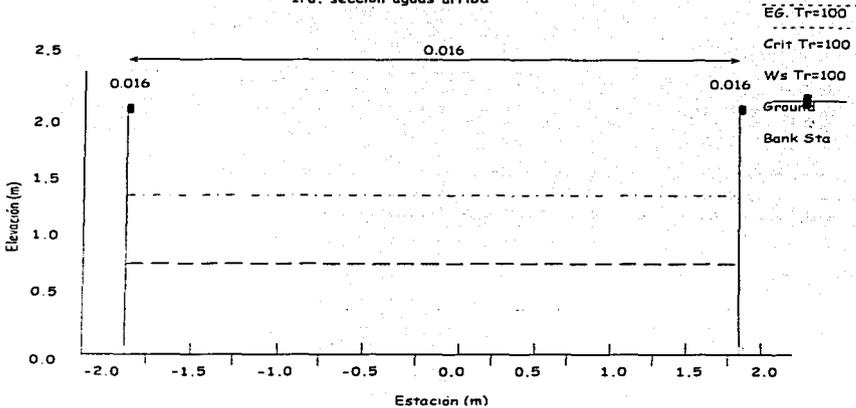
Barranca de Guadalupe  
Régimen Mixto.

$W_s$   $T_r=100$  años

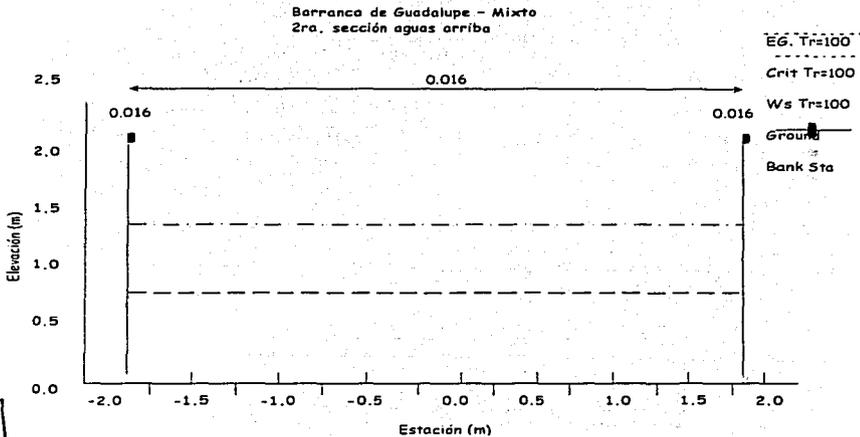


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Barranca de Guadalupe - Mixto  
1ra. sección aguas arriba



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

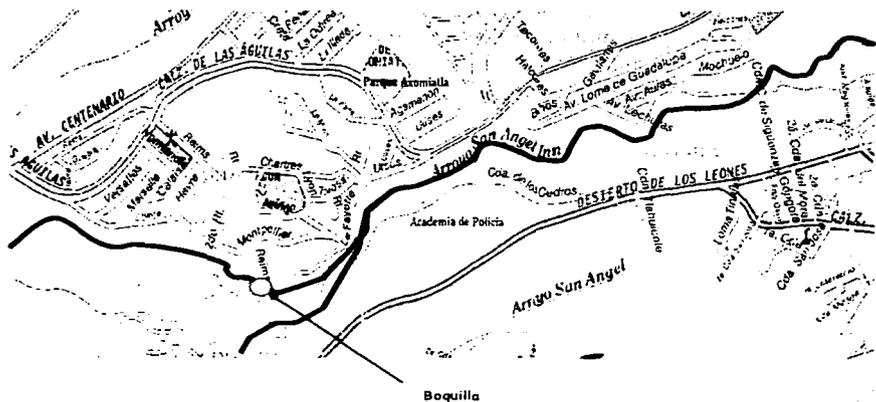


Fig. 5.12 Localización de la Barranca de Guadalupe.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



# CONCLUSIONES

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## CONCLUSIONES

Con la realización de esta tesis se concluye que el tema de las inundaciones es un problema que en la actualidad representa un serio peligro, aunque las autoridades no le dan la debida importancia, por la deficiencia de las mismas.

Una población bien informada disminuiría el impacto de los desastres naturales, y por lo tanto esta podría tomar parte activa en las labores y decisiones de las autoridades relacionadas con la prevención de daños.

Asimismo los planes de Protección Civil deben ser de conocimiento de toda la población, aportando un enfoque socio-cultural y ambiental, puesto que después de que sucede la catástrofe, la población no sabe que hacer en su momento y puede acrecentar el problema.

Los sistemas de Protección Civil desgraciadamente se actualizan después de un desastre, sobre todo los provocados por fenómenos excepcionales y extraordinarios.

La falta de planificación en los nuevos asentamientos populares se suman a las características topográficas e hidráulicas de la ciudad, dando como resultado una mayor vulnerabilidad al peligro que corren los seres humanos y las viviendas construidas en zonas de alto riesgo de inundación, falta de infraestructura hidráulica, por mencionar algunas de las deficiencias.

Por otro lado, la investigación científica sobre los riesgos no debe estar únicamente orientada a analizar aquellos fenómenos que son de mayor interés por ser catastróficos.

Actualmente existe en el país el riesgo de que se presente un fenómeno de grandes consecuencias, ya que vivimos un período en que el planeta esta sufriendo cambios climáticos, variaciones en la temperatura lo que crea una necesidad de prevenir y proteger a la población ante eventos de gran magnitud.

En estos momentos los sistemas de alerta tienen la capacidad de detectar, seguir y pronosticar las zonas de impacto, pero no todos estos sistemas de alerta están en funcionamiento, por consiguiente, no siempre la población esta avisada de los peligros que la naturaleza puede provocar, así que a nosotros como población afectada, tenemos que tomar las medidas preventivas adecuadas que estén a nuestro alcance y principalmente tomar conciencia de los peligros que una catástrofe representa.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PREVENIR PARA VIVIR

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

HERNÁNDEZ AGUILARABEL E.  
JAQUELINE E. LÓPEZ AVILÉS



CON TU AYUDA  
MEJORAREMOS



# ¿QUE HACER EN CASO DE INUNDACION?

## Antes

SI YA LLEGARON LAS LLUVIAS Y POR TU CASA SE INUNDA TE RECOMENDAMOS



NO tirar basura por las calles, ciérrala en los cestos de basura

Almacenar Agua Potable y Alimentos envasados



Tenga a la mano una linterna, una radio de pilas secas y cargadas pueden ser de gran utilidad y Prepare un Botiquin de primeros auxilios



Prepare algo de ropa por lo menos para algunos días



## Durante

DIREJASE A UN LUGAR SEGURO ANTES DE QUE E L AGUA DE LA INUNDACION INTERRUPTA EL TRÁNSITO NORMAL POR CALLES O AVENIDAS

Avise a las autoridades sus datos personales y personas que le acompañan



Sea solidario y respere a las demás personas, al mismo tiempo no propague rumores exagerados sobre los acontecimientos y tenga a la mano sus documentos personales



No intente Caminar a través de áreas que estén cubiertas por agua o donde el nivel de ésta sobrepase la altura de las rodillas.



ANTES DE EMPEZAR ALGUNA TAREA

Después

Inspeccione su casa por si tiene algun daño y revise las instalaciones eléctricas y de gas.



Comience las labores de limpieza lo antes posible para evitar riesgos a la salud.

No coma alimentos crudos o que hayan estado en contacto con el agua de la inundación.



Hervia el agua antes de beberla

TRIPTICO

FALTA DE ORIGEN  
FESIS CON



# BIBLIOGRAFÍA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## BIBLIOGRAFÍA.

Aparicio Mijares, Francisco J., "Fundamentos de Hidrología de Superficie", Editorial Limusa, México 1992.

Ven Te Chow, R. Maidment David, W. Mays Larry, "Hidrología Aplicada", Editorial Mc. Graw Hill, Colombia 1994.

Comisión Nacional del Agua, "Manual de Ingeniería de Ríos", Obras de Protección para el Control de Inundaciones. Capítulo 15, México 1996.

Comisión Nacional del Agua, "Manual de Ingeniería de Ríos", Estudio Hidrológico para Obras de Protección, Capítulo 3, México 1996.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Subsecretaría de Infraestructura. "Métodos Hidrológicos para la Previsión de Escurrimientos", Dirección General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones, México 1992.

Domínguez Mora, Ramón., "Las Inundaciones en México". Proceso de Formación y Formas de Mitigación, Centro Nacional de Prevención de Desastres.

Dirección General de Protección Civil, "Estado de México". Manual de Protección Civil ¿Qué hacer en caso de? Incendio, Inundaciones, Sismos, Riesgos Sanitarios, Fuga Tóxica.

Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. "Reducción de la Vulnerabilidad a Inundaciones en Cuenca Hidrográficas". Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, México 1995.

Ing. Arroyo Hernández Patrocinio, "Fisiografía de la cuenca hidrológica". Tema para obtener la plaza de profesor de asignatura A definitivo de la asignatura de Hidrología.

Domínguez Mora, Ramón, "Reflexiones Sobre Inundaciones en México". Sistema Nacional de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Coordinación de Investigación, Área de Riesgos Hidrometeorológicos. Cuadernos de Investigación número 4.

Fuentes Mariles, Oscar Arturo, "Modelo Matemático de Áreas de Inundación", Coordinación de Investigación, Área de Riesgos Hidrometeorológicos. Cuadernos de Investigación número 41, CENAPRED.



CENAPRED, "Que Hacer en Caso de Desastres", Huracanes, Inundaciones, Sismos, Incendios, Heladas, medidas Preventivas.

Memorias Técnicas, "XIV Congreso Nacional de Hidráulica", Tomo 1, Acapulco, Gro. 1996.

A. A. Idama, J. Aparicio, M. Berezowsky, C. Cruiskhank, R. Domínguez, R. Fuentes, J. A. Maza, C. Menéndez, D. Pérez-Franco, G. Sotelo, "XVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica", Memorias de Avances en Hidráulica 2, Oaxaca, México, Octubre, 1998.

F. J. Aparicio, F. I. Arreguín, M. Berezowsky, D. Campos, B. de León, R. Domínguez, A. Hansen, J. Hidalgo, H. Marengo, P. Martínez, R. Medina, A. I. Ramírez, M. Rosengaus, C. Servin, "XVI Congreso Nacional de Hidráulica", Memorias de Avances en Hidráulica 6, Michoacán, Noviembre, 2000.

Martín, Rubén, "Siglo XXI", Jalisco 24 de octubre de 1992, pág. 6

Suárez, Gerardo; Zenón Jiménez, "Efecto de los sismos de 1985 en la Ciudad de México", Atlas de la Ciudad de México, pág. 16

## HEMEROGRAFÍA

Medio Ambiente, "Tlaloc Revista Trimestral de la Asociación Mexicana de Hidráulica", Ejemplar número 19, Julio/Septiembre 2000.

Fenómenos Extremos, "Tlaloc Revista Trimestral de la Asociación Mexicana de Hidráulica", Ejemplar número 20, Octubre/Diciembre 2000.

Comunidades Rurales, "Tlaloc Revista Trimestral de la Asociación Mexicana de Hidráulica", Ejemplar número 21, Enero/Febrero 2001.

Colegio de Ingenieros Civiles de México, "Ingeniería Civil", Prevención de Desastres, Ejemplar número 370, Febrero 2000.

La Jornada "Solidaridad internacional contra los desastres", 1 octubre de 1991, pág. 16.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PAGINAS Web.

Centro Nacional de Prevención de Desastres.  
Instituto Nacional de Ecología.  
Secretaría de Gobernación.  
Secretaría de Marina y Recursos Naturales.  
Servicio Meteorológico Nacional.