



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL-HIDRÁULICA.**

**INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS. MEDIDAS  
PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS, ACCIONES  
ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES.**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

P R E S E N T A :

**HÉCTOR GIOVANNI RODRÍGUEZ VÁZQUEZ**

TUTOR.

**DR. NAHÚN HAMED GARCÍA VILLANUEVA**

**INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA.**



2013

**JURADO ASIGNADO.**

Presidente : **M. I. Gutiérrez Ojeda Carlos.**

Secretario : **Dr. Alcocer Yamanaka Víctor Hugo.**

Vocal : **Dr. García Villanueva Nahún Hamed**

1<sup>er</sup> Suplente : **M. I. Valencia Vargas Juan Carlos.**

2<sup>do</sup> Suplente : **Dr. Arroyo Correa Víctor.**

Cuernavaca, Morelos, UNAM, Campus Morelos.

**TUTOR DE TESIS.**

**DR. NAHÚN HAMED GARCÍA VILLANUEVA**

---

FIRMA

## **Dedicatoria.**

En primer lugar se lo dedico a Dios, por haberme permitido cumplir un sueño más. A mi futuro bebé Héctor que espero con tanta ansia y amor, a Olga por llenarme de amor y cariño todos los días y los que quedan.

A mi mamá Reyna y mi hermana Diana, por apoyarme incondicionalmente en todas las decisiones que he tomado.

A mi papá, ya que lo extraño demasiado todos los días.

A mi familia por que siempre han estado cuando los he necesito.

Al Dr. Nahún por su apoyo, consejo y guía para poder realizar este trabajo, así como el aprendizaje que me deja para ser mejor persona.

A mis profesores de la maestría ya que cada materia me ha permitido aprender y comprender cosas que yo ignoraba en temas de la hidráulica.

## **Agradecimientos.**

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por darme la oportunidad de realizar un logro más en mi carrera profesional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por permitirme realizar los estudios de maestría y cumplir un sueño más.

A mis sinodales: Dr. Nahún H. García, Dr. Víctor H Alcocer, Dr. Víctor Arroyo, M.I Carlos Gutiérrez y M.I Juan Carlos Valencia. Por sus comentarios y observaciones realizadas en esta tesis.

A mis profesores de la Maestría en Hidráulica, Dr. Javier Aparicio, Dr. Heber Saucedo, Dr. Nahún García, Dr. Felipe Arreguín, Dr. Víctor Alcocer, Dr. Víctor Arroyo, M.I Carlos Gutiérrez, M.I. Juan Carlos Valencia, M.I. Edmundo Pedroza y M.I. Víctor Vourguet, por su enseñanza con lo que me permiten desarrollarme profesionalmente y ser mejor persona.

Al personal administrativo de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Campus Morelos (DEPFI-Morelos), Lic. Olga Guzmán, Dr. Octavio y Omar por su apoyo en los trámites de la maestría.

A mis compañeros y amigos de maestría: Javier, Joyce, Mirce, Juan, Gilberto, y Antonio. Así como a mis compañeros de otras generaciones: Claudia, Héctor, Pedro, Vladimir, Ernesto, Rafael y Rodrigo por el apoyo y convivencia.

## Índice.

	Pág.
1. Introducción.....	1
1.1. Objetivo.....	2
1.1.1. Objetivos específicos.....	2
2. Antecedentes.....	3
2.1. Urbanización.....	3
2.2. Inundaciones.....	6
2.2.1. Tipos de inundación.....	7
2.3. La hidrología en el medio urbano.....	10
3. Panorama histórico.....	16
3.1. Inundaciones en el mundo.....	16
3.2. Inundaciones en México.....	19
3.3. Acciones exitosas.....	22
4. Daños por inundación.....	28
4.1. Daños humanos.....	29
4.2. Daños materiales.....	31
5. Evaluación de daños.....	35
5.1. Daños directos.....	38
5.2. Daños indirectos.....	38
5.3. Daños totales.....	40
6. Acciones no estructurales.....	45
6.1. Medidas preventivas.....	45
6.1.1 Políticas de actuación.....	45
6.1.1.1. Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007-2012.....	46
6.1.1.2. Programa Nacional de Protección Civil 2008-2012.....	48
6.1.1.3 Programa Nacional Hídrico (PNH) 2007-2012.....	50
6.1.1.4. Programa Nacional de Salud 2007-2012.....	52
6.1.1.5. Programas de Ordenamiento Ecológico.....	53
6.1.1.6. Programa de Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos (PRAH).....	57
6.1.1.7. Fondo para la Prevención de Desastres Naturales.....	61
6.1.1.8. Ley General de Protección Civil.....	64

6.1.1.9. Ley General de Asentamientos Humanos. ....	65
6.1.1.10. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente .....	67
6.1.1.11. Ley de Aguas Nacionales.....	68
6.1.1.12. Leyes estatales de desarrollo urbano y de asentamientos humanos.....	72
6.1.1.13. Leyes estatales de protección civil.....	75
6.1.1.14. Competencias de colaboración.....	77
6.1.2. Pronostico de ríos y sistemas de alerta temprana.....	91
6.1.3. Sistemas de alerta hidrometeorológica en México.....	94
6.1.3.1. Relación lluvia-escorrentamiento.....	98
6.1.3.2. Umbrales de gasto y precipitación.....	100
6.1.3.3. Sistema de alerta caso Acapulco.....	101
6.1.4. Generación de mapas de riesgo.....	107
6.1.4.1. Estimación del escurrimiento a la salida de la cuenca.....	108
6.1.4.2. Determinación del área requerida o permisible.....	114
6.1.4.3. Determinación del área geométrica de las Secciones transversales y comparación entre el área hidráulica requerida.....	114
6.1.4.4. Determinación de las zonas inundables.....	115
6.1.4.5. Identificación de la vulnerabilidad.....	117
6.1.4.6. Evaluación del riesgo.....	123
6.1.5. Modelos computacionales para la simulación de Inundaciones.....	127
6.1.6. Metodología para evaluar el peligro de contaminación del agua subterránea.....	13
6.1.7. Delimitación de zonas federales.....	139
6.1.8. Seguros contra inundaciones.....	144
6.1.9. Comunicación y participación social.....	147
6.1.9.1. Programa municipio seguro, resistente a los desastres.....	150
6.2. Medidas Correctivas.....	153
6.2.1. Fondo de desastres naturales (FONDEN).....	153

7. Acciones estructurales .....	159
7.1. Medidas preventivas .....	160
7.1.1. Sistema de drenaje urbano.....	160
7.1.1.1. Descripción e importancia del drenaje urbano.....	161
7.1.1.2. Diseño de redes de drenaje pluvial. ....	165
7.1.1.3. Estanques de detención. ....	178
7.1.1.4. Sistemas de drenaje urbano sostenible. ....	180
7.1.2. Estructuras de protección. ....	184
7.1.2.1. Bordos.....	186
7.1.2.2. Muros de encauzamiento. ....	199
7.1.2.3. Desvíos permanentes en cauces .....	201
7.1.2.4. Desvíos temporales en cauces .....	203
7.1.2.5. Corte de meandros .....	206
7.1.2.6. Presas de almacenamiento. ....	212
7.1.2.7. Presas rompe-picos.....	221
7.1.2.8. Presas retenedoras de azolves .....	224
7.1.2.9. Canalización o entubamiento de un cauce. ....	225
7.1.2.10. Sistemas de bombeo y desencharcamiento en puntos permanentes .....	228
7.1.2.11. Reforestación, control y restauración de suelos .....	232
7.1.2.12. Edificaciones a prueba de inundaciones.....	246
7.1.2.13. Combinaciones más usuales de acciones estructurales.....	248
7.1.2.14. Selección del tamaño óptimo de una obra de protección.....	249
7.2. Medidas correctivas. ....	250
7.2.1. Construcción de bordos temporales. ....	250
7.2.2. Suministro de agua potable. ....	256
7.2.3. Desencharcamiento y drenaje de zonas inundadas .....	266
7.2.4. Reubicación de la población. ....	269
7.2.5. Construcción de vías de acceso .....	272
7.2.6. Albergues temporales .....	278
8. Nuevas tecnologías en materia de protección de zonas urbanas ante inundaciones. ....	284

8.1. Equipos y dispositivos de apoyo ante inundaciones.....	284
8.1.1. Potabilizador de agua de inundaciones.....	284
8.1.2. Nuevas herramientas para llenar sacos de arena .....	285
8.1.3. Bombas flotantes. ....	288
8.1.4. Vehículos de rescate en zonas inundadas.....	289
8.1.4.1. Autobús anfibio .....	289
8.1.4.2. Lanchas.....	290
8.1.4.2. Helicópteros .....	291
8.1.5. Dispositivos hidrométricos .....	292
8.1.6. Estaciones meteorológicas.....	294
8.2. Materiales de construcción y sistemas de defensa para el control de inundaciones. ....	295
8.2.1. Barreras semifijas Aquabarrier .....	295
8.2.2. Barreras temporales Floodstop .....	296
8.2.3. Sistemas modulantes AquaCell.....	297
8.2.4. Sistema de defensa BB95 .....	299
8.2.5. Sacos de arena instantáneos. ....	300
8.2.6. Los geosintéticos .....	301
8.2.7. Casas flotantes.....	303
8.3. Tecnologías informáticas y de comunicación.....	305
8.3.1. Percepción remota .....	305
8.3.2. Imágenes satelitales. ....	305
8.3.3. Tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging) .....	309
8.3.4. El RADAR meteorológico.....	310
8.3.5. Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	312
8.3.6. Herramienta RAS Mapper de HEC-RAS.....	312
8.3.7. Sistemas de comunicación y teléfonos móviles. ....	313
8.3.7.1. Comunicación por radio.....	314
8.3.7.2. Antenas WiMax.....	315
8.3.7.3. Redes sociales en internet. ....	315
8.3.8. Proyecto IMPRINTS en Europa.....	316
8.3.9. Juego de simulación ¡Alto a los desastres! .....	316
9. Acciones para mejorar la gestión, manejo y control de las Inundaciones. ....	319

10. Conclusiones.....	328
11. Referencias.....	331
12. Glosario y Abreviaturas.....	345

## Índice de Figuras

	Pág.
Figura 2.1 Urbanización en México.....	4
Figura 2.2. Efecto de la urbanización en el escurrimiento superficial. ....	12
Figura 2.3 Efectos hidrológicos de la urbanización. ....	13
Figura 3.1. Número de desastres naturales 1900-2010.....	17
Figura 3.2. Desbordamiento del Río Santa Catarina ocasionado por el huracán Gilberto 1988.....	19
Figura 4.1. Ruptura del Túnel Emisor Poniente Ciudad de México en el 2009 .....	33
Figura 4.2. Inundaciones del Valle de México febrero del 2010. ....	34
Figura 5.1. Vista inundación en la ribera del río Carrizal, al oeste de Villahermosa.....	42
Figura 6.1. Ubicación de centros CRAE 2008. CONAGUA .....	52
Figura 6.2. Proceso de ordenamiento ecológico .....	56
Figura 6.3. Componentes indispensables de un sistema de alerta temprana.....	95
Figura 6.4. Medición del fenómeno hidrometeorológico. ....	96
Figura 6.5. Sistema de medición y alerta.....	97
Figura 6.6. Hidrograma de escurrimiento directo obtenido por HUI.....	98
Figura 6.7. Diagrama general de un sistema de alerta Hidrometeorológica .....	102
Figura 6.8. Estaciones para el SAT de Acapulco. ....	103
Figura 6.9. Definición de cuencas en la primera etapa .....	104
Figura 6.10. Si $A_G < A_h$ , se presenta inundación .....	116

Figura 6.11. Mapa de peligro por inundaciones en Mezquital del Oro, Zacatecas .....	116
Figura 6.12 Función de vulnerabilidad para vivienda Tipo I .....	121
Figura 6.13 Función de vulnerabilidad para vivienda Tipo II. ....	121
Figura 6.14. Función de vulnerabilidad para vivienda tipo III. ....	122
Figura 6.15. Función de vulnerabilidad para vivienda Tipo IV. ....	122
Figura 6.16. Función de vulnerabilidad para vivienda tipo V.....	123
Figura6.17. Definición de la zona de pasaje de la avenida.....	141
Figura 6.18. Zona de reglamentación de la zona inundable .....	143
Figura 7.1. Sistemas de drenaje pluvial.....	162
Figura 7.2. Sistema de drenaje combinado. ....	163
Figura 7.3. Modelo perpendicular. ....	172
Figura 7.4 Modelo Radial. ....	172
Figura 7.5. Modelo de interceptores .....	173
Figura 7.6. Modelo en abanico.....	174
Figura 7.7. Superficie permeable, zanja de infiltración, deposito de infiltración y cubierta vegetal.....	181
Figura 7.8. Drenes filtrantes y cunetas verdes. ....	181
Figura 7.9. Franjas filtrantes, depósitos de detención, estanques de retención y humedales artificiales .....	181
Figura 7.10 Plano de infiltración con trinchera de filtración.....	182
Figura 7.11. Sistema de retención en la ciudad de Porto Alegre, Brasil.....	183
Figura 7.12. Esquema de bordos y muros de protección en la ciudad de Nueva Orlands.....	190
Figura 7.13. Drenaje de las áreas protegidas con bordos perimetrales .....	191
Figura 7.14. Ejemplo de bordo longitudinal en Motozintla Chiapas .....	192

Figura 7.15. Localización de los bordos longitudinales en un río con meandros.....	194
Figura 7.16. Posibles localizaciones de los bordos.....	194
Figura 7.17. Drenaje de corrientes tributarias .....	197
Figura 7.18 Drenaje en de planicies con bordos longitudinales.....	198
Figura 7.19. Tipos de muros de encauzamiento .....	199
Figura 7.20. Muro de encauzamiento .....	200
Figura 7.21 Bordos longitudinales y cauces de alivio.....	201
Figura 7.22. Arreglo general para un desvío temporal.....	203
Figura 7.23. Desvío antes de tiempo.....	204
Figura 7.24. Aprovechamiento de un desvío temporal.....	205
Figura 7.25. Corte de un meandro y sus consecuencias .....	207
Figura 7.26. Protección marginal. ....	207
Figura 7.27. Gráfica de Shields.....	210
Figura 7.28. Corte de un meandro.....	211
Figura 7.29. Presa hidroeléctrica. ....	213
Figura 7.30. Boquilla de una presa de materiales graduados.....	215
Figura 7.31. Boquilla de una presa de arco.....	215
Figura 7.32. Curvas de áreas capacidades de una presa.....	216
Figura 7.33. Corte geológico de la boquilla de una presa.....	216
Figura 7.34 Perfil de exploraciones geológicas para una cortina .....	218
Figura 7.35. Propiedades mecánicas de los suelos.....	219
Figura 7.36. Localización de un sitio para la construcción de una presa.....	219
Figura 7.37. Clasificación de las cortinas de una presa.....	220
Figura 7.38. Presa rompe-picos del río Santa Catarina, Monterrey.....	222

Figura 7.39. Alternativas de presas rompe-picos .....	223
Figura 7.40. Esquema de una presa retenedora de azolves .....	225
Figura 7.41. Canalización de un cauce.....	226
Figura 7.42. Entubamiento de un cauce .....	227
Figura 7.43. Representación esquemática del funcionamiento de varias bombas .....	231
Figura 7.44. Componentes del proceso integral de reforestación .....	234
Figura 7.45. Presas de malla electro-soldada o ciclónica .....	235
Figura 7.46. Presa de morillo. ....	236
Figura 7.47. Presas de ramas.....	237
Figura 7.48. Presas de piedra acomodad.....	238
Figura 7.49. Partes que constituyen una presa de piedra acomodada.....	239
Figura 7.50. Presas de geocostales. ....	240
Figura 7.51. Recubrimiento de una cárcava.....	241
Figura 7.52. Estabilización de talud con piedra. ....	241
Figura 7.53. Obras de protección y conservación de caminos forestales .....	242
Figura 7.54. Terrazas de muro vivo .....	243
Figura 7.55. Terraza de formación sucesiva o paulatina.....	244
Figura 7.56. Terrazas individuales .....	245
Figura 7.57. Zanjas trinchera .....	246
Figura 7.58. Viviendas a prueba de inundaciones en Veracruz.....	247
Figura 7.59. Selección de la magnitud óptima de una obra de protección .....	249
Figura 7.60. Llenado de un saco de arena .....	251
Figura 7.61. Máquina tipo araña para el llenado de sacos de arena. ....	252

Figura 7.62. Apilamiento de sacos de arena .....	253
Figura 7.63. Dirección del flujo y escombros.....	253
Figura 7.64.Recomendacion de USACE, para la altura de bordos construidos con sacos de arena .....	254
Figura. 7.65. Sellado del bordo con costalera .....	255
Figura 7.66. Planta potabilizadora portátil .....	266
Figura 7.67a. Bomba centrífuga con impulsor helicoidal.....	267
Figura 7.67b. Bomba de diafragma o tipo pistón.....	268
Figura 7.68. Puentes tipo Mabey .....	275
Figura 7.69. Puentes de pontones.....	275
Figura 7.70. Puente de soporte seco.....	276
Figura 7.71. Puente transbordador .....	277
Figura 8.1 Potabilizador portátil de agua de inundación. ....	285
Figura 8.2. Herramienta GoBagger.....	286
Figura 8.3. The Sand Master.....	287
Figura 8.4. Bomba flotante ETec. ....	288
Figura 8.5. Bomba Flotante AquaFast. ....	289
Figura 8.6. Autobús anfibio. ....	290
Figura 8.7. Lancha de rescate de inundación TK1.....	291
Figura 8.8. Helicóptero de rescate EC-725 Cougar. ....	292
Figura 8.9. Caudalímetro de efecto doppler. ....	293
Figura 8.10. PIV de gran escala. ....	294
Figura 8.11. Estación meteorológica portátil. ....	295
Figura 8.12. Barreras semifijas Aquabarrier.....	296
Figura 8.13. Barreras temporales Floodstop. ....	297
Figura 8.14. Sistemas modulantes AquaCell.....	298

Figura 8.15. Sistema de defensa BB95 .....	299
Figura 8.16. Deventer, Holanda (2011) .....	300
Figura 8.17. Sacos de arena instantáneos.....	301
Figura 8.18. Geotubos para el control de inundaciones.....	303
Figura 8.19. Casa flotante.....	304
Figura 8.20. Inundaciones en Tabasco, Noviembre 2007.....	306
Figura 8.21. Morfología del río Verde, aguas debajo de la presa Ricardo Flores Magón.....	307
Figura 8.22. Estimación de lluvia con satélite a tiempo real. ....	308
Figura 8.23. Modelo digital del terreno LIDAR Chiapas.....	309
Figura 8.24. Radar meteorológico ubicado en Acapulco Guerrero.....	311
Figura 8.25. Red Nacional de Radares Meteorológicos.....	311
Figura 8.26. Herramienta RAS Mapper de HEC-RAS.....	313
Figura 8.27. Juego de simulación ¡Alto a los desastres!.....	317

## Índice de tablas.

	Pág
<u>Tabla 3.1</u> Eventos que han generado las mayores inundaciones en el mundo.	18
<u>Tabla 3.2</u> Eventos que han generado las mayores inundaciones en México.....	20
<u>Tabla 5.1</u> Fenómenos Meteorológicos ocurridos durante la temporada de lluvias en 1999, en el estado de Tabasco .....	41
<u>Tabla 5.2</u> Resumen de daños ocasionados por las lluvias torrenciales en Tabasco en 1999.....	43
<u>Tabla 6.1.</u> Criterios y requisitos de elegibilidad para municipios. ....	58
<u>Tabla 6.2.</u> Criterios y requisitos de elegibilidad para proyectos .....	58
<u>Tabla 6.3.</u> Tipos de apoyo .....	59
<u>Tabla 6.4.</u> Montos de Apoyo. ....	60
<u>Tabla 6.5.</u> Aplicación de Plan DN-III-E (2006-2011). ....	83
<u>Tabla 6.6.</u> Plan DN-III-E (2006-2011). ....	84
<u>Tabla 6.7.</u> Nombres de las subcuencas y sus características .....	105
<u>Tabla 6.8.</u> Valores para el coeficiente de escurrimiento.....	111
<u>Tabla 6.9.</u> Factores de resistencia al flujo sobre el terreno.....	112
<u>Tabla 6.10.</u> Materiales en muros de vivienda .....	117
<u>Tabla 6.11.</u> Materiales comunes usados en el techo de las viviendas .....	118
<u>Tabla 6.12.</u> Combinaciones para los diferentes tipos de vivienda de a cuerdo con los materiales usados en el techo y en los muros.....	119
<u>Tabla 6.13</u> Clasificación de vulnerabilidad de viviendas .....	120
<u>Tabla 6.14.</u> Índice de vulnerabilidad de la vivienda ante inundaciones. ....	120

<u>Tabla 6.15.</u> Función de peligro $P(i)$ .....	125
<u>Tabla 6.16.</u> Algunos sistemas computacionales disponibles para la simulación y análisis de inundaciones. ....	132
<u>Tabla 7.1.</u> Periodos de retorno $T_r$ en años de las crecientes de diseño en diversos tipos de obras hidráulicas .....	169
<u>Tabla 7.2.</u> Velocidad máxima permisible .....	175
<u>Tabla 7.3.</u> Clasificación de los desastres en función de la tasa de mortalidad .	258
<u>Tabla 7.4.</u> Relación de parámetros fisicoquímicos .....	264

# 1. Introducción.

Entre las diversas amenazas naturales que con frecuencia impactan las áreas urbanas, destacan las de origen hidrometeorológico, sobre todo precipitaciones intensas, de corto tiempo y las provocadas por los ciclones tropicales, las cuales al vincularse con la dinámica del proceso de ocupación urbana, favorecen el riesgo de desastre por inundaciones. Cabe señalar que el problema aumenta rápidamente y sus consecuencias se manifiestan en pérdidas económicas, daños materiales y humanos.

Las inundaciones no son un fenómeno reciente. Por ejemplo, se tiene registro del diluvio universal, que más allá de tintes religiosos ha sido estudiado científicamente, generando varias teorías para su explicación. Sin embargo, es lógico pensar que la información sobre inundaciones es más abundante y está mejor documentada en los últimos años, lo cual no es así.

Dentro de la búsqueda de acciones que intentan disminuir el impacto de las inundaciones, se han realizado innumerables investigaciones. Sin embargo, la mayoría de éstas se ven disgregadas entre las instituciones que llevan a cabo dichas investigaciones, de acuerdo con el área del conocimiento en la que se encuentra ubicada, además pocas veces se conjuntan los resultados haciendo que sea difícil obtener un documento sólido e integral que ayude a cumplir dicho objetivo.

Este trabajo surge de la necesidad de integrar un conjunto de acciones que ayuden a los tomadores de decisiones en el manejo y control de las inundaciones. En el trabajo se presentan definiciones sobre cómo es que se ve afectada la hidrología en el medio urbano y la consecuencia que acarrea en forma de inundación. También se presentan diferentes acciones estructurales y no estructurales que pueden ser de forma preventiva o correctiva. Se incluyen igualmente, nuevas tecnologías que ayudan en el control de inundaciones, además de un conjunto de acciones que pueden ser implementadas por los tomadores de decisiones, y finalmente se presenta un conjunto de propuestas que pueden ser emprendidas como futuros temas de investigación.

## **1.1. Objetivo**

Elaborar un documento que integre acciones estructurales y no estructurales para el control y manejo de inundaciones en zonas urbanas.

### **1.1.1. Objetivos específicos.**

- Armar un documento con base técnica, que sirva de ayuda al análisis de inundaciones, y con éste plantear acciones para la prevención y atención de inundaciones en las regiones urbanas más susceptibles
- Describir los factores generadores de inundaciones en zonas urbanas.
- Especificar las diferentes acciones estructurales y no estructurales que sirven como ayuda para la protección y control de inundaciones.
- Mencionar nuevas tecnologías estructurales y no estructurales que sirven para el control de inundaciones.
- Con base en información y experiencia derivada de los objetivos anteriores, proponer un conjunto de acciones que ayuden a mejorar la gestión, manejo y control de las inundaciones

## **2. Antecedentes.**

### **2.1. Urbanización.**

La urbanización es un proceso por el cual una sociedad cambia su forma de vida de rural a urbana; es decir, consiste en la acción de convertir una porción de terreno, o prepararlo para ello, tranzando calles y plazas, dotándolas de alumbrado, alcantarillado y demás servicios municipales. En este sentido se explica la urbanización como el proceso mediante el cual, un gran número de personas se concentra permanentemente en áreas relativamente pequeñas, formando ciudades alrededor de todo el mundo. Estas concentraciones, según la Organización de las Naciones Unidas, debe ser de 20,000 habitantes, pero según la forma de organizarse en cada nación, este número puede variar. En Estados Unidos y México, por ejemplo, se puede hablar de un lugar urbano, si cuenta con por lo menos 2,500 habitantes. (CICEANA, 2012)

El desarrollo urbano se ha acelerado en la segunda mitad del siglo XX con gran concentración de población en pequeños espacios, impactando en el ecosistema terrestre, acuático y en la propia población a través de inundaciones, enfermedades y pérdida de calidad de vida. Este proceso ocurre debido a la falta de control del espacio urbano que produce efectos directos sobre la infraestructura del agua (abastecimiento, sistemas sanitarios, drenaje urbano, inundaciones y residuos sólidos). La urbanización representa una de las manifestaciones más significativas de la actividad humana. La explosiva urbanización del mundo y los problemas que trae aparejada esta situación en los grandes conglomerados urbanos constituye una de las temáticas más importantes de investigación. (Tucci, 2007)

El crecimiento urbano en los países en desarrollo ha sido realizado de manera insustentable con deterioro de la calidad de vida y del medio ambiente. Este proceso es todavía más significativo en América Latina donde 77% de la población es urbana (47.2% a nivel mundial). Existen 44 ciudades en América Latina con población superior a un millón de habitantes. Cerca de 16 megaciudades se han formado a finales del siglo XX (Superiores a 10 millones de habitantes), lo que representa 4% de la población mundial, y por lo menos cuatro de éstas ciudades están en América Latina lo cual representa más del 10% de la población de la región. (Tucci, 2007)

En México entre 1900 y 2010 la población urbana se multiplicó 55 veces al pasar de 1.4 a 79 millones de habitantes. El comportamiento de urbanización mostró mayor pendiente durante el periodo 1940-1980, por lo que éste periodo se caracterizó por el mayor avance en la urbanización.

En 1950, poco menos de 43% de la población de México vivía en localidades urbanas, en 1990 era el 71% y para el 2010, esta cifra aumento a casi 78%(INEGI, 2012)

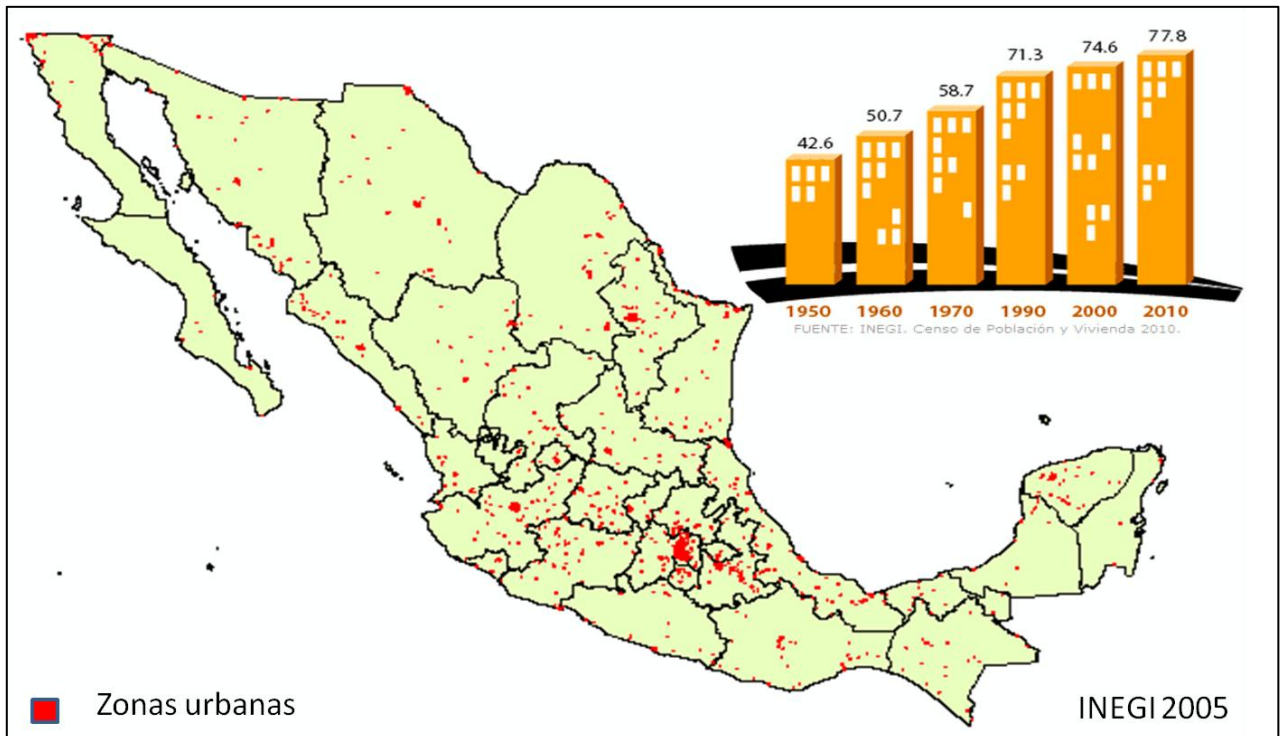


Figura 2.1 Urbanización en México. (INEGI, 2005)

El Distrito Federal y las ciudades de Monterrey, Guadalajara, Tijuana y Ciudad Juárez son las de mayor población y por ello presentan grandes problemas en relación con el agua, tanto para su abasto como para su desalojo, sea residual o procedente de las tormentas. Las capitales de los estados, comienzan a tener problemas similares, aunque en menor magnitud y existen casi 200 ciudades con más de 50,000 habitantes que requieren obras hidráulicas urbanas. (Campos, 2010)

Los principales problemas relacionados con la infraestructura y la urbanización en los países en desarrollo son: gran concentración de población en pequeñas áreas; aumento de la periferia de las ciudades de manera descontrolada; además que la urbanización es espontanea. Como consecuencia del incremento de la población se presenta la

modificación en ciertas características hidrológicas, climatológicas y ecológicas de las cuencas, que modifican también su respuesta ante diferentes fenómenos.

Las áreas que antes contaban con vegetación o suelo natural sobre las cuales se han construido casas, calles, banquetas y estacionamientos que impermeabilizan el área, ha traído como consecuencia un decremento en el índice de infiltración y un incremento en los coeficientes de escurrimiento, impactando, por una parte en una disminución en la recarga de los acuíferos y la disponibilidad de agua para épocas de sequía que ha ocasionando el hundimiento de las ciudades por sobreexplotación de acuíferos, así como el aumento en el volumen de escurrimiento superficial. La velocidad del flujo y los gastos máximos se incrementan, situación que obliga a la construcción de obras que protejan a los habitantes y a sus bienes de daños causados por una inundación.

Asimismo la urbanización tiene efectos indirectos como son la invasión de cauces naturales, planicies de inundación y deforestación de cuencas, lo cual intensifica y acelera el proceso lluvia-escurrimiento. Los problemas de urbanización ocurren por causa de uno o más de estos factores a lo largo del tiempo y éstos se han incrementado en las últimas décadas. Algunos factores que influyen, son debido a las poblaciones que migran hacia las ciudades que generalmente son de bajo perfil económico, no poseen capacidad de inversión y tienden a invadir áreas públicas o comprar áreas precarias sin infraestructura, así como las zonas de urbanización informal (entre éstas se localizan las áreas de riesgo de inundación o deslizamiento). Esta situación va acompañada por factores como, el déficit de empleo, legislaciones equivocadas de control del espacio urbano, incapacidad de las autoridades para planificar y anticipar la urbanización y de invertir en planeamiento de espacios seguros, crisis económica en los países, etc.

Actualmente se puede notar que el crecimiento de las ciudades es permanente y cada vez se construyen más fraccionamientos que convierten amplias zonas de terrenos en estado natural en nuevas zonas pavimentadas, lo cual provoca un cambio en el comportamiento en el ciclo hidrológico, debido a que incrementa el volumen y la velocidad de escurrimiento superficial en el área afectada, tal crecimiento provoca una mayor intensidad del escurrimiento en el área urbana, en corrientes receptoras y en zonas aguas abajo de la cuenca en estudio como ya se ha mencionado.

El escurrimiento pluvial puede producir inundaciones e impactos en áreas urbanas debido a dos procesos, que ocurren aisladamente o combinados: 1) inundaciones de áreas

ribereñas, son inundaciones naturales que ocurren en el lecho mayor de los ríos debido a la variabilidad temporal y espacial de la precipitación y del escurrimiento en la cuenca. 2) inundaciones debido a la urbanización, son las inundaciones que ocurren en el drenaje urbano debido al efecto de la impermeabilización del suelo, canalización u obstrucción del escurrimiento.

En términos generales el manejo efectivo de las aguas urbanas debe estar basado, por una parte en un entendimiento real de los impactos de las actividades humanas en el ciclo hidrológico urbano y en el medio ambiente, y por otra en la mitigación de tales impactos, la cual debe ser evaluada de manera integral. (Campos, 2010)

## **2.2. Inundaciones.**

En lo que respecta a inundaciones, se exponen diferentes definiciones como 1) “ es la circunstancia en que en un momento y en un lugar determinados el agua ocupa una superficie donde su presencia y su cantidad no son habituales”. La OMW(Organización Meteorológica Mundial), de acuerdo con el glosario internacional de hidrología establece que una inundación 2) “es el aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce”; definiendo el nivel normal como el tirante que alcanza el agua en su cauce definido. Por su parte el CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres) en su fascículo de inundaciones se establece como 3) “el evento en que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica resulta en un incremento del nivel de la superficie libre del agua de los ríos o del mar, la cual penetra hacia sitios en donde usualmente no la hay, generando daños en la población, la agricultura, la ganadería y la infraestructura”. (Cruz B. 2009). En éste trabajo se adopta como definición de inundación 4) “al flujo o invasión de agua provocado por el exceso de escurrimiento superficial o por acumulación de agua en los terrenos planos y que puede ocasionar insuficiencia del drenaje natural o artificial”.

Las inundaciones se producen principalmente por la ocurrencia de lluvias intensas prolongadas y por fallas en estructuras hidráulicas, como sucede durante las tormentas tropicales y el paso de huracanes, unido a dificultades locales en el drenaje provocado por diferentes causas, principalmente por la acción negligente de las personas. La magnitud de las inundaciones son función de la distribución espacial y temporal, del tamaño de las cuencas hidrológicas en el que tiene lugar y depende de las características del suelo, la

infiltración, el drenaje natural o artificial de las cuencas y el contenido de humedad en el suelo.

Los daños de las inundaciones se evalúan con base en la susceptibilidad de una comunidad a presentar un alto grado de vulnerabilidad. Esta vulnerabilidad depende de varios factores, como son: físicos, definido por la ubicación, aspecto social, referidos al nivel de bienestar y marginación de la población, económico, que depende de la reserva monetaria, deudas, acceso al crédito y seguros, aspectos ecológicos, protección de la reserva ecológica y la biodiversidad. Ello hace la necesidad de hacer un manejo adecuado de éste conjunto de factores y procesos para anticiparse, hacer frente, resistir y recuperarse de la ocurrencia del peligro. (Cruz, 2009)

Es muy aventurado establecer una metodología de acción única contra las inundaciones para dar respuesta a todas las circunstancias y a todas las regiones, que asegure una protección completa, debido a la complejidad del evento. Por consiguiente, los planes de mitigación se han derivado del resultado de diversos planes de acción tanto estructurales como no estructurales, tratando en primer lugar, como variables principales, a los factores directos que provoca las inundaciones (precipitación, escurrimientos, ciclones tropicales, falla en el drenaje, cambio climático, etc).

### **2.2.1. Tipos de inundaciones.**

Las inundaciones se pueden clasificar de acuerdo a su origen como: (Cruz, 2009; CENAPRED, 2004)

**Inundaciones pluviales.** Son consecuencias de la precipitación, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o días.

Su principal característica es que el agua acumulada es agua precipitada sobre esa zona y no la que viene de alguna otra parte. Normalmente, en el caso de México estas precipitaciones son originadas por diferentes fenómenos hidrometeorológicos, destacando los ciclones tropicales, las lluvias orográficas, las lluvias invernales o frentes fríos, y las lluvias convectivas.

- Para el caso de los ciclones, éstos ocurren entre mayo a noviembre con pico de frecuencia a finales de agosto y durante septiembre, y cuya manifestación

destruccion más conocida es, en intensas precipitaciones, además de fuertes velocidades de viento, oleaje y marea de tormenta.

- Lo que concierne a lluvias orográficas, éstas se originan por las corrientes de aire húmedo que choca con las barreras montañosas generando lluvias del lado del barlovento.
- Las lluvias invernales. Consisten en el desplazamiento de aire frío procedente de la zona del polo norte. En México se presentan en el norte, con lluvias intensas, la vertiente del golfo de México y la península de Yucatán.
- Las lluvias convectivas. Se originan por el calentamiento de la superficie terrestre, en donde el aire que está en contacto con esa zona cálida, llega a calentarse más que los alrededores, dando lugar a corrientes vertientes con las que asciende el aire caliente húmedo. Este tipo de lluvia es la que produce cada año inundaciones en las zonas bajas de la ciudad de México, pese a las obras de drenaje que se tienen.

**Inundaciones fluviales** (Ribereñas). Se tienen cuando el agua que se desborda de los ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos. Son volúmenes de agua de precipitaciones registradas en algún punto de la cuenca tributaria. Las inundaciones fluviales más importantes se pueden dar en los ríos con mayores desarrollos urbanos o que lleguen hasta las planicies costeras.

La causa de los desbordamientos de los ríos y los arroyos se puede atribuir en primera instancia a un excedente de agua, igual que la sequía se atribuye al efecto contrario, (la carencia de recursos hídricos). El aumento brusco del volumen de agua que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, produce lo que se denomina como avenida o riada. Una avenida es el paso por tramos de un río de caudales superiores a los normales, que dan lugar a elevaciones de los niveles de agua causando alteraciones a la morfología de los ríos.

Los cauces de los ríos y arroyos no permanecen siempre inalterados, no son rectos ni uniformes, sino que en general están afectados por los deslizamientos del terreno, los arrastres de sólidos, la acumulación de sedimentos, los meandros, los estrechamientos, los puentes que se construyen para cruzarlos, las represas, las obstrucciones, la deforestación, etc. La cubierta vegetal cumple entonces una función muy destacada al evitar el impacto directo de las gotas de agua sobre el terreno, impidiendo su erosión, al

mismo tiempo que con sus raíces absorbe una parte de ella o dificulta su avance hacia los ríos, prolongando en éstos su tiempo de concentración. Además colabora en la disminución del transporte de residuos sólidos que posteriormente afectan a los cauces.

**Inundaciones costeras.** Tienen presencia cuando el nivel medio del mar asciende a la marea y permite que éste penetre tierra adentro en las zonas costeras, generando el cubrimiento de grandes extensiones de terrenos. Los vientos de los ciclones tropicales sobre la superficie del mar son los causantes de la marea de tormenta. Unido con el nivel de la marea se encuentra el oleaje que, en función de sus características y de la batimetría de la playa, se propaga hacia la costa. Al alcanzar la costa, el oleaje rompe, produciéndose un movimiento de ascenso de la masa de agua a lo largo del perfil de la costa.

**Inundación estuarina.** Es el resultado de la combinación de la elevación del nivel de la marea, causado por fuertes vientos y la inundación ribereña causada por precipitaciones tierra adentro.

**Inundaciones por rotura y operación incorrecta de infraestructura hidráulica.** Otras inundaciones son por fallas de la infraestructura hidráulica, las cuales son poco frecuentes, y tienen su origen por un diseño escaso, mala operación, falta de mantenimiento o término de la vida útil. Se trata de un hecho circunstancial poco probable y no necesariamente relacionado con los fenómenos meteorológicos, sino más bien con los geológicos o con la técnica de operación. Es evidente que la rotura de una presa, por pequeña que sea, puede llegar a causar una serie de estragos no sólo a la población sino también a sus bienes, a la infraestructura y al medio ambiente. La propagación de la onda de avenida en ese caso resulta tanta más dañina cuanto mayor sea el caudal circundante, el tiempo de propagación y los elementos existentes en la zona de afectación.

**Inundaciones repentinas.** Se generan por precipitaciones intensas en cuencas de respuesta rápida (flash floods). Ocurren con frecuencia en la periferia de las grandes concentraciones urbanas, donde el mismo desarrollo favorece los asentamientos humanos, como son barrancas deforestadas. En México han tenido lugar en los ríos del poniente del Valle de México, Monterrey, Veracruz, Puebla, Chiapas y Acapulco.

**Inundaciones de larga duración.** Se presentan en zonas bajas, en áreas extensas y se originan por el volumen acumulado de precipitación pluvial durante varios días o

semanas. No son causantes de pérdidas humanas pero si de importantes pérdidas económicas en zonas urbanas y rurales.

**Encharcamiento.** Tiene lugar en sectores urbanos, con periodicidad anual y duración intermedia, con la consecuencia del retraso en el desarrollo de las actividades productivas de la población. Es un fenómeno causado por la saturación del suelo, caracterizado por la presencia de láminas delgadas de agua sobre la superficie del suelo en pequeñas extensiones y por lo general, presente en zonas moderadamente onduladas o planas. El fenómeno puede durar pocas horas hasta unos pocos días.

Finalmente, dentro de los conceptos relevantes en cuanto a inundaciones se refiere, se tiene:

Llanura de inundación. Es el área aledaña al cauce del río que es periódicamente cubierta por agua, también se puede entender como el área ocupada por el río durante los periodos de máximo nivel, generalmente cubierta, por depósitos aluviales (arenas). Los depósitos arcillosos y limos son el resultado de inundaciones periódicas.

Extensión de la inundación: La extensión de una inundación y la profundidad de la capa de agua están controladas por la magnitud de los gastos y la configuración de la topografía local.

### **2.3. La hidrología en el medio urbano.**

Un concepto fundamental de la hidrología urbana y el manejo de los recursos hidráulicos es el ciclo hidrológico, que también es conocido como el ciclo del agua. Entre sus diferentes definiciones se entiende como ciclo hidrológico al modelo conceptual que describe el almacenamiento y circulación del agua en la biosfera, atmosfera, litosfera e hidrosfera. El agua puede ser almacenada en los océanos, lagos, ríos, suelos, glaciares, nevados y acuíferos. La circulación entre estos depósitos o almacenamientos es causada por procesos como: evapotranspiración, condensación, precipitación, infiltración, percolación y escurrimiento, los cuales son denominados componentes del ciclo hidrológico. (Campos, 2010)

De acuerdo con la definición del Federal Council for Science and Technology (1962), la hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y

distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo los seres vivos (Aparicio, 2010).

Así, la Hidrología Urbana es la disciplina que trata del agua en las ciudades, su ocurrencia, circulación, uso y distribución, sus propiedades físicas y químicas, su relación con los habitantes.

Cuando ocurre una tormenta, la precipitación cae sobre el terreno en cantidades que varían en magnitud e intensidad. La parte de la precipitación que no es interceptada por la vegetación, al llegar al suelo se infiltra o comienza a escurrir. La lluvia que se infiltra es una pérdida de escurrimiento, aunque después puede aparecer como descarga o drenaje de los suelos. El flujo sobre el terreno llega a los riachuelos y éstos posteriormente forman los cauces secundarios los cuales finalmente definen el colector principal de la cuenca. El agua para poder fluir debe tener un tirante, entonces por consecuencia, una parte del escurrimiento es almacenado en la cuenca. Este almacenamiento natural tiene un efecto de atenuación del escurrimiento, es decir que reduce la magnitud de flujo de respuesta de la cuenca. Entre más vegetación tiene una cuenca, más atenuación ocurre en el flujo sobre el terreno y en los cauces. (Campos, 2010)

La urbanización de una cuenca modifica la respuesta hidrológica frente a una determinada lluvia, debido a la construcción de casas, calles, banquetas y estacionamientos que aumentan la impermeabilización. Los efectos de ésta impermeabilización son varios, por ejemplo la lluvia ya no se infiltra y por lo tanto el volumen de escurrimiento se incrementa, la superficie es más lisa, por lo que transporta más eficientemente el flujo y existe menos almacenamiento. Esto conlleva a la alteración de las redes de drenaje natural, como es la construcción de colectores y encauzamientos que aumentan la velocidad del escurrimiento hacia aguas abajo de la cuenca e incrementa las zonas impermeables en la superficie, todo ello con el criterio de drenar lo más eficiente y rápido posible el área urbanizada. Esta dinámica afecta a la hidrología de la cuenca y muy especialmente a las zonas situadas aguas abajo. La urbanización aguas arriba modifica el hidrograma que reciben estas zonas, de forma que se incrementan el volumen de escurrimiento y el caudal máximo. Asimismo es menor el tiempo que transcurre entre el inicio del escurrimiento provocada por la lluvia y el máximo caudal (disminuye el tiempo de concentración). Ver Figura 2.2 y 2.3.

Si se compara los coeficientes de escurrimiento, definidos éstos como el volumen de escurrimiento directo entre el volumen total de la lluvia, para zonas rurales pueden variar desde valores tan bajos como 0.10 hasta valores del orden de 0.30 o 0.35 si los suelos son predominantemente arcillosos, por otro lado en zonas urbanas, cuando la cuenca se encuentra altamente desarrollada los coeficientes de escurrimiento se hallan normalmente en el rango de 0.50 a 0.95, teniendo por lo tanto las cuencas una potencialidad de generar entre dos y tres veces más escurrimiento que en el caso no desarrollado, para una misma lluvia. (Aparicio, 2010).

Otros efectos de la urbanización, que siendo indirectos son muy importantes, como son las invasiones de los cauces naturales y sus planicies de inundación, la deforestación de dichas cuencas y la sobreexplotación de acuíferos.

En la sobreexplotación de acuíferos que a pesar de ser indirecto, ocasiona graves problemas relacionados con las inundaciones ya que normalmente se asocia con la pérdida de capacidad de drenaje natural y artificial debida al hundimiento de las ciudades.

En México, la demanda hídrica debida a la urbanización usualmente no es acompañada por un reacondicionamiento de los sistemas abastecimiento y drenaje, por lo que estos ven superada su capacidad al cabo de su vida útil. En muchas ciudades existe una inadecuada gestión de los residuos sólidos urbanos, que contribuye a la contaminación y la obstrucción de alcantarillas, conductos y canales, reduciendo su capacidad. Además la sobreexplotación de acuíferos ocasiona un hundimiento en las ciudades y con esto se tiene una pérdida de pendiente propiciando la falla en el sistema drenaje que acarrea problemas de inundación mayores.

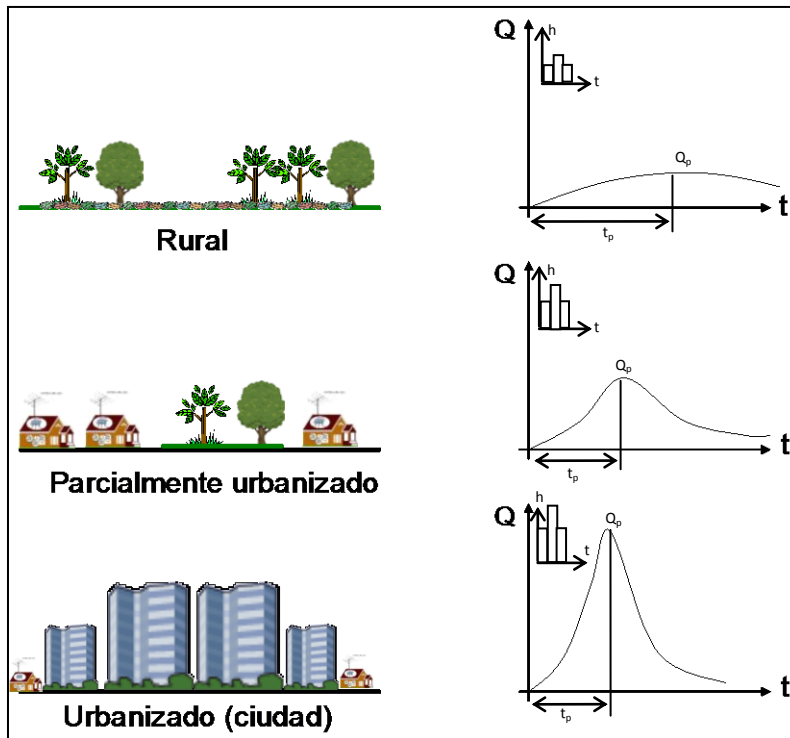


Figura 2.2. Efecto de la urbanización en el escurrimiento superficial. (Ramírez, 2008)

El escurrimiento que originan las tormentas en las áreas urbanas tiene impacto considerable en la población porque debido a su movimiento y almacenamiento temporal, daña las propiedades públicas y privadas, además de alterar o suspender las actividades económicas comunes. Las obras ingenieriles que se usan para coleccionar, transportar y eliminar las aguas de tormenta en ciudades, son muy costosas y frecuentemente su construcción origina la suspensión de todos los servicios en zonas grandes de la ciudad.

Otra afectación en el proceso hidrológico son los efectos de contaminación. Las inundaciones ocasionan graves problemas sanitarios, que no solamente se presenta en el momento de la inundación. Los daños o destrucción de las viviendas dejan a la intemperie a sus ocupantes, a veces en condiciones climáticas que distan mucho de ser favorables, en el mejor de los casos se tienen alberges en centros de emergencia para el alojamiento en masa. A todo esto se le suma las tareas de salud pública cuando se retira el agua de inundación, ya que en este punto la más común es la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua (subterránea y superficial), que crea condiciones favorables para generar epidemias.

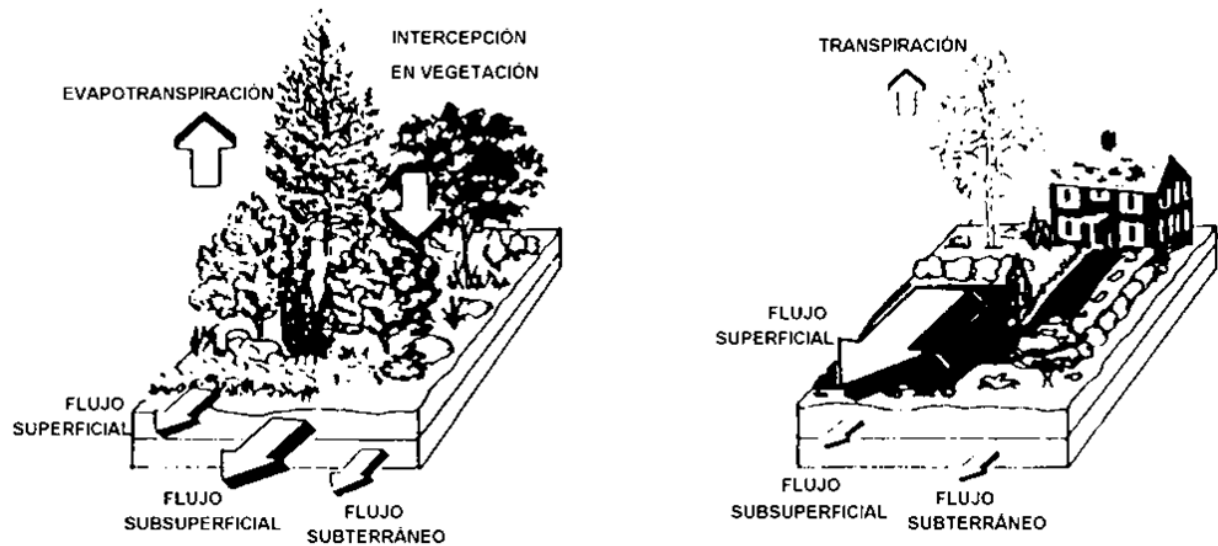


Figura 2.3 Efectos hidrológicos de la urbanización. (Tucci, 2007)

Las actividades que generan contaminación de agua pueden ser debido a: los residuos sólidos urbanos, aguas residuales, actividades agrícolas, ganadería, actividades industriales y nucleares. Estas actividades en conjunto con un proceso de inundación ocasionan graves problemas de contaminación de agua tanto superficial como subterránea y causa graves problemas de salud.

La contaminación del agua superficial se ha tomado en consideración desde siempre, sin embargo, la contaminación del agua subterránea no ha sido reconocida como un problema grave sino hasta los años 80's. En parte porque sus efectos no son visibles de forma inmediata, como sucede con el agua superficial. En la literatura no se ha estudiado los efectos de contaminación que producen las inundaciones en el agua subterránea ya que cuando suceden estas, la principal actividad se centra en la protección de la población, acciones correctivas para desviar el flujo del agua, así como el desalojo lo más rápido posible de las zonas inundadas, lo que ocasiona que no se piense en los efectos de la contaminación del agua subterránea. (Mota, 2012)

Se puede decir entonces que el proceso de urbanización es causante de mayores volúmenes de escurrimiento, inundaciones, contaminación, disminución en la recarga de acuíferos y alteraciones en la ecología de las corrientes. El desarrollo de las áreas rurales también impacta el flujo de los ríos, alterando el ecosistema acuático sobre todo en su habilidad para mantener el hábitat y el balance de los sedimentos. En éste sentido es

necesario entender los cambios en ciclo hidrológico sobre todo en función de los cambios en el uso de suelo producidos por los desarrollos urbanos.

Normalmente es común que los planes de desarrollo urbano de las ciudades no estén ligados a estudios hidrológicos que orienten para evitar zonas de inundación por falta de capacidad del sistema de drenaje ya sea natural o artificial.

Se puede decir de manera general que en vista de la evolución que han tenido las cuencas, además de verse influenciadas principalmente por la acción antropogénica, actualmente se puede hablar del incremento de las inundaciones y con ello de las pérdidas que éstas causan, desde bienes materiales hasta vidas humanas (Ver Capítulo 3). El cambio en el uso de suelo es un condicionante para la respuesta de una cuenca respecto al escurrimiento, y dentro de este ámbito los factores responsables son la urbanización, deforestación, trabajos mal hechos sobre la red de drenaje, el ordenamiento territorial, políticas ambiguas, corrupción, hundimientos de terrenos por extracción de hidrocarburos, agua y minerales, el incremento de la población en áreas marginales con altos niveles de peligro, por mencionar algunas, pueden contribuir a este efecto de incremento de inundaciones.

A pesar de la alta presencia de los fenómenos de inundación alrededor del mundo son pocos los esfuerzos realizados para sintetizar las diferentes acciones que se pueden implementar para la adecuada gestión de las inundaciones, así como su análisis en forma ordenada e integral que permita establecer las acciones necesarias para mitigar las inundaciones. En este trabajo se realiza una recopilación de un conjunto de acciones que permite crear un punto de vista en el personal encargado de tomar las decisiones y permita mitigar dichas inundaciones.

### **3. Panorama histórico.**

#### **3.1 Inundaciones en el Mundo**

Las inundaciones son más antiguas que la existencia del hombre en la tierra. El hombre siempre intentó ubicarse cerca de los ríos para emplearlos como transporte, obtener agua para su consumo y para lanzar sus desechos. Las áreas próximas a los ríos generalmente son planas, propicias para el asentamiento humano, hecho que motivó su ocupación.

Las inundaciones se encuentran entre las fuerzas más poderosas en la tierra. Las sociedades humanas en todo el mundo han vivido y muerto con las inundaciones desde sus orígenes, generando un papel destacado para las inundaciones en las leyendas, las religiones y la historia. Por lo que, geólogos, hidrólogos y los historiadores han estudiado el papel de las inundaciones en la humanidad y sus ecosistemas conexos, dando lugar a una nueva apreciación por el papel de las múltiples facetas de las inundaciones en la configuración de nuestro mundo. Parte de ésta apreciación se deriva de un análisis continuo de las mediciones de caudales a largo plazo, como los registrados por la red del Servicio Geológico los Estados Unidos (USGS) (O'Connor 2004). Pero el reconocimiento del papel importante de las inundaciones en la configuración del paisaje físico y cultural también se debe a una mayor comprensión de la variedad de mecanismos que causan las inundaciones y cómo los tipos y magnitudes de las inundaciones pueden variar con el tiempo y el espacio.

Las inundaciones se pueden clasificar en categorías que correspondan al periodo de retorno, como semestral, anual, de 100 años, de 1000 años y muy rara vez, las "mega-inundaciones", a escala geológica de tiempo de varios millones de años. De igual manera las inundaciones suelen clasificarse en función de los daños humanos o materiales causados, y la amplitud de tales daños, se puede medir como inversamente proporcional a su previsión, y la disposición o preparación para enfrentar el evento. No todas las inundaciones, sin embargo, tienen una connotación negativa, en esta categoría están las inundaciones clásicas del río Nilo, el río Tigris y Éufrates, donde se puede destacar los suelos fértiles, que han hecho posible el inicio de la civilización humana ya hace 10,000 años; lo mismo se aplicaría a la llanura del Ganges y el río Indo en China, así como el río Yangtsé y la parte baja del Río Amarillo, que hizo posible el crecimiento en la economía agrícola. Sin embargo, las grandes inundaciones, son en su mayoría conocidos por su pérdida catastrófica de vidas y bienes, tales como las inundaciones en el río Mississippi

en 1927, el río Columbia en 1948, cuando la ciudad de Vanport fue destruida, y el río Yangtzé en 1931, cuando cerca de 3.5 millones de personas murieron a causa de las inundaciones y la consiguiente hambruna (O’Conor 2004). En todo el mundo, las inundaciones están causando daños considerables año tras año. Según las estadísticas de la Organización Internacional de la Cruz Roja el número medio de personas que han sufrido daños por inundaciones durante el período comprendido entre 1973 hasta 1997 asciende a más de 66 millones de personas. Esto hace que las inundaciones sea la peor de todas las causas de los desastres naturales (terremotos y la sequía incluidos) (Cosgrove y Rijsberman, 2000).

Las inundaciones es el riesgo natural más crónico y costoso en los Estados Unidos, haciendo un promedio de 140 muertes y 5 billones de dólares de daños cada año. A pesar de los avances en el conocimiento de las inundaciones y la aplicación de políticas para la reducción de riesgo, los daños derivados de los mismos siguen aumentando Ver Figura 3.1. Los daños causados por estos fenómenos son resultado de una combinación de la gran potencia del agua que fluye y la concentración de personas y bienes a lo largo de los ríos. En los Estados Unidos, cerca de 3,800 pueblos y ciudades de más de 2,500 habitantes se encuentran en las llanuras de inundación. (O’Conor 2003)

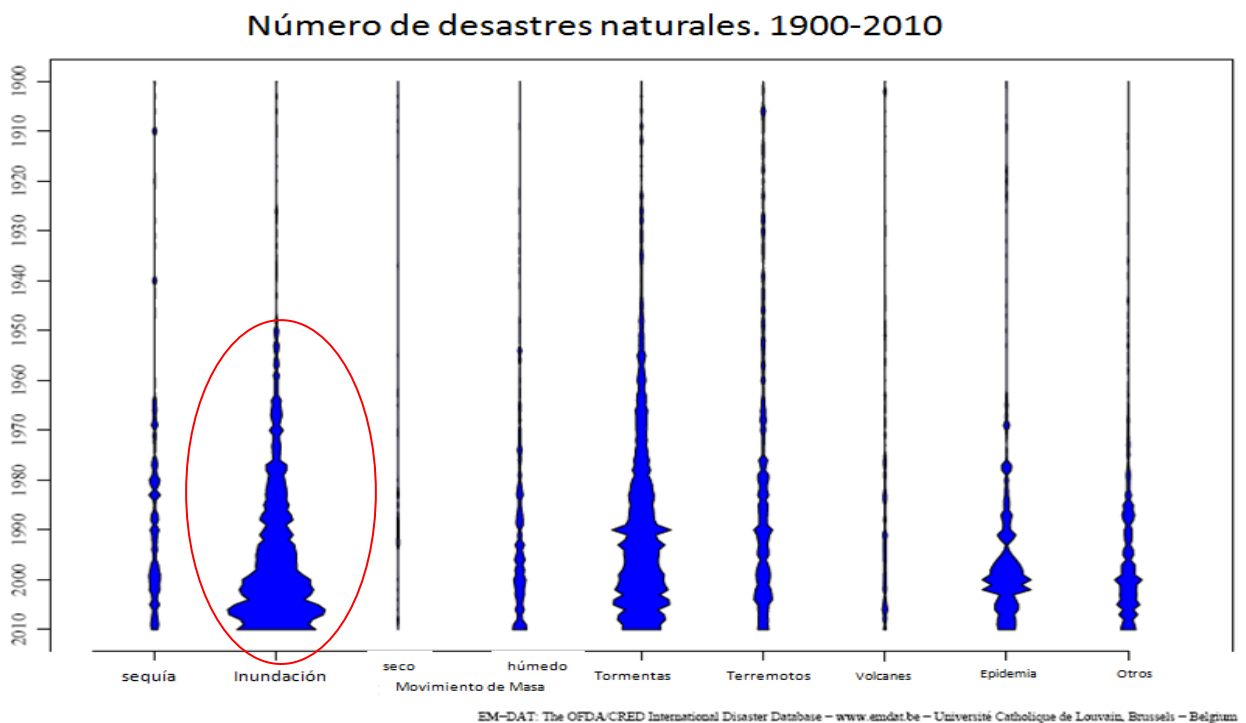


Figura 3.1. Numero de desastres naturales 1900-2010.

En lo que respecta a datos de pérdidas humanas y económicas en el mundo debidas a las inundaciones, se tiene una interminable cantidad, y sería impráctico mencionar todos, por lo que sólo se ejemplifica con algunos de los casos más conocidos Ver Tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Eventos que han generado las mayores inundaciones en el mundo.

<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Muertes</b>	<b>Daños (Millones de dólares)</b>
1570	Holanda	20,00	
1624	Alemania, Dinamarca	15,000	
1887	China, Río Yangtzé	2,000,000	
1927	USA	246	0.23
1931	China	3,700,000	1,400
1935	Río Yangtzé China	142,000	
1937	China	500,000	
1943	India	10,000	
1949	Guatemala	40,000	
1954	China, Río Yangtzé	30,000	
1974	Bangladesh	28,700	579.2
1978	India	3,800	165
1980	China	6,200	160
1987	Bangladesh	2,055	330
1996	China	2,775	12,600
1998	China	3,656	30,000
1999	Venezuela	30,000	3,160
1999	México, (Tabasco y Chiapas )	636	451.3
2002	Alemania	27	11,600
2007	Bangladesh	1,100	100
2007	China	535	4,425.65
2007	México(Chiapas y tabasco)	22	3,000
2010	China	1,691	18,000
2010	Pakistan	1,985	9,500

Datos obtenidos de: [www.emdat.be/search-details-disaster-list](http://www.emdat.be/search-details-disaster-list) (The international Distaster Database)

### 3.2 Inundaciones en México

México no está exento de las inundaciones, ya que se encuentra ubicado en una zona donde se presentan una serie de diversos fenómenos meteorológicos que producen condiciones extremas de precipitación, desde la acción de ciclones tropicales, hasta precipitaciones originadas por fenómenos convectivos. De los casos más catastróficas en México se pueden recordar los daños ocasionados por el huracán Gilberto en 1988 con más de 200 muertes (ver Figura 3.1), así como los provocados por el huracán Pauline en 1997, las inundaciones en Chiapas en 1998, las lluvias de invierno en Baja California y Baja California Sur en 1993, así como en Tabasco en 1999, 2003, 2007 y 2010, con esto se puede observar que todo el territorio nacional ha sufrido los efectos de las inundaciones. En la Tabla 3.2 se presentan algunos de los eventos que han generado mayores inundaciones en México desde 1943 al 2010 (CENAPRED, 2004).



Figura 3.1. Desbordamiento del Río Santa Catarina ocasionado por el huracán Gilberto 1988.

**Tabla 3.2** Eventos que han generado las mayores inundaciones en México.

<b>Año</b>	<b>Evento</b>	<b>Estado</b>	<b>Muertes</b>	<b>Población afectada</b>	<b>Daños (Millones de dólares)</b>
1943	Lluvias de invierno	Sinaloa	27	600	0.14
1949	Lluvias de invierno	Sinaloa y Sonora	10	159,000	10.2
1955	Huracanes Gladys, Hilda y Janet	Veracruz, Tamaulipas, San luís potosí Yucatán y Quintana Roo.	110		7.5
1959	Ciclón de Manzanillo	Colima y Jalisco.	1500	1,600	
1960	Lluvias de invierno	Sonora, Sinaloa y Chihuahua.	3	96,000	18.82
1967	Huracán Beulah	Tamaulipas, Nuevo León, Yucatán y Quintana Roo.		25,000	500
1967	Huracán Katrina	Guerrero, península de Baja California, Sonora y Nayarit.	15	30,000	
1968	Huracán Naomi	Colima, Sinaloa, Durango, Coahuila, Sonora y Chihuahua	10	50,000	
1976	Huracán Liza	Baja California Sur y Sonora	600	10,000	3.10
1982	Huracán Paul	Sinaloa	0	256,800	114.6
1985	Lluvias de invierno	Nayarit	0	47,927	16.4
1988	Huracán Gilbert	Nuevo León, Quintana Roo, Campeche, Yucatán, Coahuila y Tamaulipas.	225	139,374	766
1990	Lluvias de invierno	Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Coahuila		40,000	50.85
1990	Huracán Diana	Veracruz e Hidalgo	139	50,000	90.7
1992	Lluvias de invierno	Nayarit	64	100,000	78
1993	Lluvias de invierno	Baja california y Baja California sur	97	20,000	110
1993	Huracán Gert	Veracruz, Hidalgo, SanLuis Potosí y Tamaulipas	40	97,943	
1995	Huracán Ismael, Opal Roxane.	Sonora, Sinaloa, Baja california Sur, Veracruz, Tabasco, Quintana Roo y Campeche.	223	18,700	418.4
1997	Huracán Pauline	Guerrero y Oaxaca	228	8,500	447.8

<b>Año</b>	<b>Evento</b>	<b>Estado</b>	<b>Muertes</b>	<b>Población afectada</b>	<b>Daños (Millones de dólares)</b>
1998	Lluvias	Chiapas y Baja California	321	31,573	603
1999	Depresión tropical 11	Veracruz, Hidalgo, Chiapas y Tabasco	387	1,904,000	807.5
2000	Huracán Keith	Quintana Roo, Chiapas, Tamaulipas	9		38.78
2001	Huracán Juliette	Sonora y Baja California Sur	9	38,730	184.15
2001	Lluvias	Varios Estados	95	126,954	42.3
2002	Huracán Isidore	Yucatán, Campeche	4	500,000	870.07
2002	Huracán Kenna	Nayarit, Jalisco	2	374,500	122.15
2003	Lluvias de verano	Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit y Zacatecas	14	256,301	194.13
2004	Frente Frío No. 49	Coahuila	38	6,692	13.6
2005	Huracanes ,Emily, Stan Y Wilma	Quintana Roo, Chiapas, Yucatán Oaxaca y Veracruz	149	645,231	4,066.37
2006	Ciclones John, Lane y Paul.	Bajacalifornia sur, Sinaloa Colima y Jalisco	88	521,178	377.44
2007	Frente frío No4, Huracán Dean y Lorenzo	Tabasco, Puebla, DF, Tamaulipas, Guerrero	53	2,906,940	4,499.538
2008	Lluvias	Tabasco, Veracruz, Oaxaca, Tamaulipas	59	778,277	1,218.50
2009	Lluvia severa 31 de octubre	Tabasco, Veracruz, puebla, Chihuahua y Edo. de México.	42	372,518	809.95
2010	Huracán Alex	Nuevo León			245.32
2010	Lluvias en el mes de junio, agosto y septiembre	Chiapas			65.11
2010	Huracán Alex y Karl	Veracruz			107.41

Fuente. CENAPRED, Fascículo de inundaciones 2004; CENAPRED. Serie Impactos Socioeconómicos de los desastres en México 2005-2009; Informes de gobierno (2008-2010)

### 3.3. Acciones Exitosas.

Desafortunadamente en los registros bibliográficos consultados no se identificó una acción que sea totalmente exitosa. Por lo que sólo se mencionan algunas acciones que se han realizado con un beneficio parcial en las ciudades de Brasil, Argentina y México, con el fin de que permitan entender los problemas y las soluciones adoptadas a cada realidad.

Las inundaciones urbanas en Brasil. Actualmente el 82% de la población se encuentra reunida en las ciudades. Dentro de ellas se observa una gran diversidad de casos asociados al drenaje y las inundaciones urbanas. Por ejemplo en la ciudad de Estrela (Estado de Río Grande do Sul, Brasil; cuenca del orden de 2500 km<sup>2</sup>). Una parte de área próxima de la ciudad y las orillas del río no son ocupadas debido al referido riesgo, pero áreas donde el riesgo tiene frecuencia menor se encuentran ocupadas. En 1979, cuando estaba en elaboración el Plan Director Urbano de la ciudad, fue verificada la necesidad de preparar una zonificación de áreas de inundaciones para que fuera incluido en el referido plan. Por lo que se desarrolló un estudio técnico considerando la probabilidad de inundación de la ciudad y pusieron límites para la ocupación urbana en la ciudad. Por lo que para evitar la invasión y la recuperación de las aéreas de inundación ya ocupadas, se estableció en 1983 que el área de inundación podría ser cambiada por un mayor índice urbanístico. Por lo que el resultado de este tipo de planteamiento ha mostrado una reducción de los prejuicios de inundaciones a lo largo del tiempo (Tucci 2007).

En Argentina la frecuencia de inundaciones es muy importante. Las estadísticas indican en término medio, un acontecimiento importante cada diez. El banco mundial ha clasificado las inundaciones en Argentina según cuatro tipos básicos, dependiendo de las regiones geográficas: (a) en el valle de los grandes ríos (b) en el piedemonte de la Cordillera de Los Andes, (c) en ciudades y zonas rurales asociadas a las tormentas severas ("flash flood") y (d) en zonas de llanura, asociadas a la inadecuada gestión de los recursos naturales, particularmente el suelo y la vegetación. Las inundaciones del primer tipo son importantes por su duración y por su grado de afectación, normalmente estas se asocian a los grandes ríos de la cuenca del Plata, la quinta en importancia en el mundo. Ésta importante región produce más del 76 % del PIB del país y aloja al 70% de la población argentina. El constante y no planificado crecimiento de la ciudad de Buenos Aires, la falta de inversiones durante más de medio siglo y la alteración del régimen de precipitaciones, trasformaron en obsoleto un sistema de desagües. (Tucci 2007).

En las últimas décadas la ciudad de Buenos Aires se ha inundado con frecuencia generando serios inconvenientes y daños materiales de consideración. Dos son las causas básicas asociadas a esta problemática (a) Las crecientes naturales de los cursos de agua que atraviesan la ciudad y los problemas estructurales de la red de desagües, cuya capacidad ha sido superada por la ocupación no planificada de los valles de inundación y (b) los fuertes vientos del sector sudeste que producen un crecimiento del río de la Plata por encima de su media normal, inundando las zonas costeras. Desde 1985 hasta marzo de 1998 se produjeron en el área metropolitana de Buenos Aires aproximadamente 26 procesos de inundación por precipitación pluvial y desborde del sistema de desagües. (Tucci 2007).

La ciudad actualmente cuenta con un complejo sistema de desagües que descargan el río de la Plata. Este sistema está conformado por dos subsistemas que abarcan dos grandes áreas: (i) Radio Antigo y (ii) Radio Nuevo. El primero de ellos constituye un sistema mixto pluvial-cloacal que abarca aproximadamente 3000ha, y cuya construcción fue iniciada en 1869. En el sector conocido como Radio Nuevo, el sistema de drenaje pluvial fue construido después del sistema cloacal, hecho que significó que una extensa y poblada región de la ciudad estuviese expuesta por años a los efectos de la inundación que acompañaban los desbordes de los principales arroyos que la atravesaban. Por tal razón dichos arroyos fueron posteriormente entubados, completándose el sistema de drenaje actual con una red de conductos de orden menor. Por lo que puede afirmarse que en la ciudad de Buenos Aires a lo largo de su historia existió un manejo de las inundaciones ligado a una concepción del desastre como producto, esto es, como algo que sólo puede enfrentarse y solucionarse una vez ocurrido. (Tucci 2007).

El problema en el valle de México es añejo, hasta ahora se ha tratado de resolver los problemas de inundaciones sin frenar el crecimiento de la ciudad. Se han hecho varios intentos a través de la historia para resolver el problema de las inundaciones en el valle de México, y por mencionar algunos, se tiene por ejemplo en 1900 la construcción del "Gran canal de desagüe" con una longitud de 39.5km iniciando en el lago de Texcoco y culminando con el túnel de Tequixquiac de 10km, con lo que se pensó que se había dado una solución definitiva a las inundaciones de la ciudad, que por aquellos años albergaba poco menos de un millón de habitantes. El sistema funcionó más o menos bien hasta 1925, año en el que se presentaron nuevamente inundaciones de gran magnitud. En ese entonces se constató por primera vez que los hundimientos diferenciales hicieron perder

su pendiente al sistema de colectores. El crecimiento de la población se hizo explosivo a partir de 1930, para el que se calcula que la ciudad estaba habitada por un millón de personas, que se incrementaron a dos millones en 1940, tres en 1950 y más de cinco en 1960. A lo largo de estos años se construyeron miles de kilómetros de diversos conductos para el drenaje y se inició la construcción del sistema de presas para la regulación de las avenidas en el poniente de la ciudad. A pesar de los trabajos desarrollados en esos años, entre 1941 y 1951 se presentaron inundaciones recurrentes y cada vez mayores. Nuevamente se trabajó en soluciones globales dentro de las que destaca la construcción de grandes plantas de bombeo de los colectores principales al gran canal y el incremento sustancial de la capacidad de éste mediante la ampliación de las secciones y la construcción del segundo túnel de Tequixquiac, que se terminó en 1954. En 1975 se construyó el sistema de drenaje profundo, la operación de éste permite el desagüe por gravedad a través de túneles, desde la Ciudad de México hasta el desagüe del sistema en el río del Salto, cercano a la presa Requena, en Hidalgo (Domínguez 2000). Estos trabajos fueron insuficientes para mitigar las inundaciones, y es provocado principalmente a un problema ya conocido, que es el hundimiento de la ciudad de México, originado por la sobreexplotación de los mantos acuíferos del valle de México.

Actualmente en la ciudad de México se pretende resolver la problemática del sistema de drenaje, con la construcción del Túnel Emisor Oriente (TEO) que culminara en el año 2014, éste tendrá una longitud aproximada de 62 km, siete metros de diámetro y una capacidad de desalojo de 150 metros cúbicos por segundo. Este sistema tiene varios objetivos, los cuales son: principalmente evitar inundaciones en el Valle de México, disminuir el riesgo de fallas del sistema de drenaje e implementar un procedimiento que permita inspeccionar el drenaje sin suspender su funcionamiento (CONAGUA 2011).

Como se puede observar la importancia histórica de las inundaciones en el valle de México, muestra que mientras la ciudad siga creciendo las soluciones no son definitivas, por lo que se debe pensar a largo plazo, que si no se detiene el crecimiento de la población en el valle las soluciones serán cada vez más difíciles y costosas, no sólo en relación con las inundaciones sino con todos los servicios, dentro de los que destaca el abastecimiento de agua potable y el problema de transporte.

En el sureste de México se está trabajando en un plan integral para el manejo de inundaciones en el estado de Tabasco, llamado Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT). Éste se derivó a consecuencia de las inundaciones ocurridas en octubre de 2007, que

combinó la falla de infraestructura de protección, los factores naturales y factores antropogénicos (como la obstrucción y ocupación de zonas federales). El PHIT, contiene una visión de corto, mediano y largo plazo. Para la elaboración del plan, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), realizó un convenio con el instituto de ingeniería de la UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México) para elaborar el PHIT. Durante el 2008 se llevó a cabo una primera fase, cuyos resultados incluyeron la formulación del Plan de Acción Urgente (PAU) y el Plan de Acción Inmediata (PAI). Los resultados de la primera fase para la formulación del PHIT se pueden sintetizar en dos grandes grupos. Por un lado, la definición de las acciones específicas a ser ejecutadas por la CONAGUA para la reparación y reforzamiento de la infraestructura, así como otras acciones complementarias para la protección contra inundaciones a la ciudad de Villahermosa durante las temporadas de lluvias 2008 y 2009 (PAU y PAI). Por otro lado, los insumos técnicos y metodológicos que han derivado de los análisis realizados por el instituto de ingeniería durante la primera fase.

En la segunda fase para la formulación del PHIT el horizonte de planeación se llevará hasta el año 2030, con una referencia intermedia que cubre el periodo de la presente administración Federal (2006-2012), donde es posible incidir en los procesos de programación y presupuestación, especialmente por lo que se refiere a las inversiones prioritarias para el control de inundaciones en la entidad. Además de la problemática asociada al control de inundaciones, la formulación del PHIT se extenderá a la gestión integral de los recursos hídricos, en tanto el aprovechamiento de estos recursos signifique bienestar social y desarrollo económico. La riqueza hídrica de Tabasco permite afirmar que su aprovechamiento efectivo, más que un problema de cantidad, se asocia a un adecuado control de los escurrimientos, junto con los aspectos relacionados con la conservación, manejo y resguardo de los servicios ambientales que prestan los recursos naturales asociados a la gestión integral de los recursos hídricos, así como a la conservación y manejo adecuado de los ecosistemas acuáticos.

La segunda fase de la elaboración del Plan Hídrico Integral de Tabasco, tiene como objetivos: 1) disminuir, hasta donde los límites técnicos y económicos lo permitan, las condiciones de riesgo y vulnerabilidad a que está sujeta la población, sus actividades económicas y los ecosistemas de la entidad frente a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos y posibles efectos del cambio climático; 2) establecer las orientaciones estratégicas de mediano y largo plazos que permitan programar las

acciones estructurales y no estructurales para el manejo, aprovechamiento integral y conservación de la riqueza hídrica del estado y de los recursos naturales asociados, contribuyendo así al desarrollo sustentable de Tabasco.

Conforme a lo antes expuesto, la metodología de trabajo del PHIT se integró por los siguientes componentes y actividades.

- I. Integración de equipos de trabajo, espacios y equipamiento.
- II. Elaboración de programa de trabajo detallado.
- III. Sistema de Información Geográfica del PHIT
- IV. Control de inundaciones.
  - a. Análisis hidrológico.
  - b. Sistema de Monitoreo de Sistemas Convectivos.
  - c. Revisión hidráulica integral, mediante simulación matemática, de las obras principales propuestas en PHIT
  - d. Sistema de Gestión de Crecidas.
  - e. Análisis en modelos físicos.
- V. Temas estratégicos.
  - a. Inventario, evaluación rápida y plan de manejo de humedales.
  - b. Manejo integral de seis subcuencas pertenecientes a las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta.
  - c. Modelación de procesos costeros y obras de protección o mitigación.
  - d. Ordenamiento y desarrollo urbano.
  - e. Agua potable y saneamiento.
  - f. Expansión de las áreas de temporal tecnificado.
  - g. Desarrollo de capacidades.
- VI. Integración del PHIT.
  - a. Línea de Base y construcción de escenarios.
  - b. Estrategias, objetivos y metas.
  - c. Acciones y programas.
  - d. Integración, evaluación e implementación de PHIT.
  - e. Productos entregables.
- VII. Consejo técnico consultivo.
- VIII. Coordinación y administración.

Los alcances del PHIT van más allá del tema que ha focalizado la atención de autoridades y en general, en todos los tabasqueños.

Además de enfrentar los efectos dañinos de las inundaciones, el PHIT tiene por objeto definir estrategias, políticas, y acciones que permitan aprovechar la riqueza hídrica del estado para atender, desde las necesidades básicas de agua potable y saneamiento, hasta la expansión de las áreas con temporal tecnificado. Necesariamente, el PHIT tendrá que incorporar a sus planteamientos el tercer eje de la sustentabilidad, esto es la relación funcional entre los recursos hídricos y los ecosistemas. De ahí que sus planteamientos incluyan el manejo y conservación de los ecosistemas acuáticos, como es el caso de los humedales y las zonas costeras, así como el manejo de las cuencas altas. Todo lo anterior con criterios de equidad y realismo tanto económico como financiero.

## 4.- Daños por inundación.

Como se mencionó las planicies de inundación, han sido desde siempre, los lugares preferidos para las actividades socioeconómicas, como lo demuestran las altas densidades de asentamientos humanos que allí se suelen encontrar. Por tanto, los efectos sociales y económicos de las inundaciones son un problema crítico debido a las cuantiosas pérdidas, incluyendo las vidas humanas que se generan durante estos eventos. De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMW), los principales daños directos de las crecidas son los siguientes: (Durán 2009).

- Pérdidas de vidas humanas y de animales.
- Pérdidas de bienes, como vivienda, infraestructura de producción y servicios.
- Pérdida de medios de subsistencia.
- Disminución de la capacidad productiva y adquisitiva.
- Migración de sectores poblacionales afectados.
- Efectos psicosociales que pueden causar traumas duraderos.
- Obstaculización del proceso de desarrollo.
- Deterioro y destrucción de obras de arte y tesoros arqueológicos.

Desde la perspectiva de la valoración económica, las inundaciones a menudo presentan uno o varios de los siguientes efectos indirectos, cuya medición puede hacerse en términos monetarios.

- Mayores costos de operación derivados de la destrucción.
- Menor producción o prestación de servicios derivados de la paralización total o parcial de servicios.
- Mayores costos derivados de la reorientación presupuestaria.
- Reducción de ingresos por la no prestación o suministro parcial de servicios
- Los costos en los que se incurrió para la atención de la población afectada durante el período o fase de emergencia.
- Las pérdidas de producción o ingresos derivados de efectos en cadena, semejantes a los de una recesión, que pueden ir hacia adelante o hacia atrás.

## 4.1 Daños humanos.

Los efectos relacionados con las inundaciones en los que respecta a daños humanos, se han documentado extensamente en la literatura de salud pública en todo el mundo, particularmente en la República Popular de China, Bangladesh, Brasil, Gran Bretaña, Holanda, Portugal, y Los Estados Unidos de Norte América. Los resultados de esos estudios, describen la mortalidad en números absolutos y también se enfocan en las poblaciones desplazadas por efecto de las inundaciones. Igualmente han demostrado que la mortalidad específica por inundaciones varía de país en país. Por ejemplo en las áreas propensas de Bangladesh, aproximadamente 15,000 personas mueren cada año debido a estos desastres, en Estados Unidos, con más de 20,000 ciudades y comunidades sujetas únicamente a inundaciones repentinas, por lo que el promedio anual de muertes se ha estimado entre 46.7 y 140, en China, donde se estima que más de 40 millones de personas se han visto afectadas por las inundaciones. (Malilay 2000).

La mayor parte de la mortalidad ocurre en las inundaciones repentinas y tienen que ver con las circunstancias del evento mismo. Un estudio de estas muertes en los Estados Unidos de 1969 a 1981, mostró que 1,185 muertes se atribuyeron a 32 inundaciones repentinas y violentas, con un promedio de 37 muertes por evento. En estos casos, debido primordialmente a la ruptura de diques asociadas con las lluvias intensas, el ahogamiento causó un estimado de 93 % de esas muertes. En general, la mortalidad debida al deshielo se observa frecuentemente en los incidentes de inundaciones repentinas y violentas, por ejemplo de los cuales ocurrieron en Nmes, Francia, en 1988, Puerto Rico en 1992, Missouri en 1993 y Georgia en 1994, cuando grandes corrientes de agua inundaron las comunidades con gran velocidad e intensidad. (Malilay 2000).

Después de cada desastre natural, entre las autoridades públicas y de salud normalmente surge el temor de potenciales epidemias de enfermedades transmisibles. Se piensa que los trastornos en los sistemas de purificación del agua y de disposición de excretas tornan más susceptibles a las comunidades ante las infecciones por agua y alimentos (Ver Sección 7.2.2). La vigilancia de las entidades transmitidas por el agua y otros vectores, de las enfermedades endémicas y de las lesiones durante las actividades de limpieza, ha sido recomendada e implementada durante los períodos de respuesta y recuperación en las comunidades afectadas. Aunque no se notaron incrementos de muertes significativas debidas a las enfermedades transmisibles después de varias inundaciones en el mundo,

en ciertos casos se han notado incrementos aislados de las enfermedades endémicas. Por ejemplo después de las inundaciones durante un deshielo en 1993, se detectó una epidemia de diarrea relacionada con giardiasis en Utah, después de fuertes y extensas inundaciones en Sudán en 1988, los niveles endémicos de hepatitis E y de malaria resistente a la cloroquina subieron y se esperaba que aumentaran con el tiempo. En Bangladesh 1988, los epidemiólogos atribuyeron la mayoría de las muertes y de las enfermedades a un proceso diarreico inespecífico después de una extensa inundación. (Malilay 2000).

En una inundación, existe el potencial para la exposición a agentes químicos o biológicos peligrosos. Las tuberías subterráneas se pueden romper, los tanques de almacenamiento se pueden vaciar, los desechos tóxicos pueden fluir y los químicos almacenados en terreno se pueden escapar. Los riesgos se exacerban cuando las áreas industriales o agrícolas quedan sumergidas. Por ejemplo la planta química de Spolana Neratovice, que se encuentra cerca de Praga admitió que una sustancia carcinogénica fue filtrada en el río Elbe durante la inundación en agosto de 2002, la planta filtró cerca de 80 toneladas de cloro y algunas decenas de toneladas de otra sustancia química durante la peor inundación vivida en la República Checa. El jefe de la comisión investigadora de los daños por inundación mencionó que el cloro filtrado de la fábrica puede compararse con el desastre nuclear de Chernóbyl en 1986. (Gautam 2003).

Luego del impacto de una inundación, las lesiones probablemente ocurra cuando los residentes retornan a sus viviendas para limpiarlas y remover los desechos. Se han presentado electrocuciones por líneas caídas de alto voltaje, cables eléctricos o manejo inapropiado de herramientas húmedas. Las lesiones por fuego y explosiones de gas también ocurren cuando se usan fósforos para inspeccionar los daños en estructuras oscuras. Además el hábitat natural de muchos animales salvajes se puede ver alterado por las inundaciones. Como resultado, algunos animales, como las serpientes, se pueden ver forzadas a buscar refugio en las áreas que pueden estar habitadas o que son usadas por los humanos. Otro efecto en la salud de las personas a causa de las inundaciones se debe al estrés físico y emocional, particularmente relacionado con los grandes esfuerzos en la evacuación del área inundada y en las actividades de limpieza, después de casi todos los desastres naturales. Muchas muertes relacionadas con las inundaciones se han atribuido a este estrés y esfuerzo extra, lo cual incrementa la probabilidad del infarto del miocardio y del paro cardíaco en personas con condiciones preexistentes.

## 4.2. Daños materiales.

Los desastres tienen consecuencias negativas que van más allá del corto plazo y en ocasiones, producen cambios irreversibles en las condiciones económicas, sociales y ambientales. La gravedad de los daños infringidos a la economía por un desastre natural depende de la intensidad del fenómeno, de la proximidad de los asentamientos humanos y de la actividad económica respecto al lugar en que ocurrió. Influye también el nivel socioeconómico de la población afectada, que se refleja en el tipo de construcciones y en la existencia o no de algún tipo de medidas de prevención o de preparación para enfrentar eventos de esta naturaleza. En cuanto a los efectos generalizados de una inundación se puede mencionar los siguientes: disminución importante de la disponibilidad de vivienda e instalaciones de salud y enseñanza, con lo que se puede aumentar los déficits anteriores al desastre, reducción temporal de los ingresos de los estratos sociales menos favorecidos e incremento de las tasas de desempleo, interrupciones temporales de los servicios de suministro de agua y saneamiento, electricidad, comunicaciones y transportes, escasez temporal de alimentos y de materias primas para la producción agrícola e industrial, contaminación de agua fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, además debe incluirse, que después de los desastres se genera el desplazamiento involuntario de poblaciones culturalmente arraigadas en el territorio de impactado. (Bitrán 1992).

Un ejemplo de los daños ocurridos por inundación son los asociados a las lluvias intensas y las consecuentes inundaciones ocurridas en el estado de Tabasco a consecuencia de los fenómenos meteorológicos que se presentaron en octubre de 2007, que causaron estragos inéditos en el estado. El fenómeno fue de tal magnitud que se estima que en su momento más álgido estaba cubierto de agua el 62 % de la superficie estatal, se vieron afectadas cerca de 1,500 localidades, dejó a casi 1.5 millones de damnificados, casi 6,500km de carreteras y caminos afectados y 132 puentes, 570 mil hectáreas agrícolas siniestradas y 123 mil viviendas con afectación. En conjunto los daños y pérdidas ascendieron a 3,100 millones de dólares. Esta es una cifra que tiene pocos precedentes en la historia reciente de México, sólo superada por las que a dólares actuales ocasionaron el sismo en la ciudad de México en 1985 y los efectos acumulados de los huracanes Wilma y Stan ocurridos en el año 2005 (3,800 millones de dólares) que afectaron 7 estados del sureste de México. Su monto resulta aun más significativo si se considera que se refiere a los impactos sufridos por un sólo estado: Tabasco. El impacto

del desastre representó el 29.31 % del PIB estatal. No hay memoria en México de un desastre que haya comprendido una proporción tan grande de la economía estatal. En cifras acumuladas, el mayor impacto monetario se registró en los sectores productivos (61.05%). Los sectores sociales considerados en conjunto siguieron de cerca con un monto de 5.97 miles de millones de pesos (18.74% del total). Dentro de este grupo, la vivienda fue el rubro que por sí solo acumuló las mayores pérdidas, con 2.54 mil millones de pesos debido a las inundaciones y afectación que sufrieron en mayor o menor grado más de 123 mil viviendas. Cabe destacar asimismo el impacto del fenómeno en el sector salud tanto por los daños en la infraestructura como los mayores desembolsos, que dio origen a la atención de la población durante la emergencia. También en el sector educativo los daños superaron los mil cien millones de pesos por el gran número de aulas afectadas. Destacan los daños en las carreteras por 3.9 miles de millones de pesos y los desembolsos realizados por concepto de obras hidráulicas, mismas que hasta la fecha en que se realizó la misión sumaban más de 1,200 millones de pesos. Más allá de los montos anotados y las dudas que surgen respecto a la dinámica de recuperación en los estratos más vulnerables, el desastre ocurrido en Tabasco plantea una compleja problemática para hacer frente y reducir el riesgo severamente incrementado por el evento. (CEPAL 2008).

Otro ejemplo es el ocurrido en la ciudad de México en septiembre de 2009, en el norponiente del valle de México donde cayó una precipitación atípica, estimada en 109.5 mm. Esta tormenta inundó aproximadamente tres mil viviendas en seis delegaciones del Distrito Federal y tres municipios conurbados. Los mayores daños fueron localizados en el municipio de Tlalnepantla, donde la presión del agua reventó el túnel Emisor Poniente Ver figura 4.1, inundando la colonia Valle Dorado. Las autoridades calculan que el agua cubrió un radio de 1.5km, afectó 1,945 viviendas y dañó 1,700 automóviles, en aproximadamente 50km, el agua alcanzó hasta 1.5 metros de altura. Al no existir una normatividad para definir el monto de las indemnizaciones a los afectados, había confusión y decepción con respecto a lo ofrecido por los gobiernos federales y mexiquense. Por otra parte al no ser una zona de riesgo evidente, es decir identificada como inundable, las personas afectadas fueron sorprendidas por la magnitud del desastre. (González 2011)



Figura 4.1. Ruptura del Túnel Emisor Poniente Ciudad de México 2009

Igualmente en febrero de 2010 se presentaron lluvias atípicas en el Valle de México. Por lo que llevó al colapso en una de las paredes de contención del Canal de la Compañía en una extensión aproximada de 70 metros. Por lo que de inmediato se generó una inundación de aguas negras de hasta dos metros de altura, cortando la circulación en la autopista México-Puebla y cubriendo las zonas habitacionales aledañas. Se estima que el desastre afectó a 11 mil familias y 1,600 viviendas Ver Figura 4.2. A dos días de la ruptura del canal, se presentó una segunda avenida de aguas negras, haciendo ceder el dique formado por 20 mil costales de arena y provocando una segunda inundación. Por lo que las autoridades reconocieron que las lluvias de principios de febrero, en pleno periodo de estiaje, sorprendieron a la ciudad de México con el Emisor Central cerrado por trabajos de mantenimiento. (González 2011)



Figura 4.2. Inundaciones del Valle de México febrero del 2010.

Los ejemplos presentados en los párrafos anteriores exponen qué, los daños humanos y materiales debidos a las inundaciones pueden llegar a ser muy grandes, y que, a pesar de contar con infraestructura para el control de inundaciones, se siguen y seguirán presentado, por lo que es necesario implementar acciones preventivas, como: el ordenamiento territorial, planes de desarrollo urbano que incluyan estudios de áreas inundables, lineamientos de operación de infraestructura de control de inundaciones, sistemas de alarma temprana y reaseguros, además de implementar un conjunto de acciones estructurales proyectadas de manera integral, el objetivo es evitar o al menos disminuir los daños materiales y sus pérdidas económicas ocasionadas por las inundaciones.

## 5. Evaluación de daños.

Las inundaciones se convierten en un problema sólo cuando se ven involucrados los asentamientos humanos o zonas de actividad productiva, porque es entonces cuando quedan expuestas las vidas humanas y propiedades. Por tanto las inundaciones tienen un efecto negativo sobre las condiciones de vida de la población, el desempeño económico de los países o regiones en que ocurren, además de que perjudican el acervo y los servicios. Las secuelas de las inundaciones se prolongan más allá del corto plazo y en ocasiones, provocan cambios irreversibles tanto en las estructuras económicas, sociales como en el ambiente.

En el caso de los países industrializados las inundaciones afectan gravemente las considerables existencias de capital acumulado, en tanto que las pérdidas de vidas humanas son limitadas gracias, entre otros factores a la disponibilidad de sistemas eficaces de alerta temprana y evacuación, así como a una mejor planificación del desarrollo urbano y a la aplicación de estándares y códigos de construcción más estrictos.

En los países en desarrollo, en cambio, el número de muertes suele ser elevado debido a su mayor vulnerabilidad, uno de cuyos componentes es la ausencia o ineficacia de los sistemas de pronóstico y evacuación. Si bien en estos casos las pérdidas de capital son menores en términos absolutos comparadas con las de los países desarrollados, su peso relativo y su impacto económico general suelen ser significativos, e incluso afectan su sustentabilidad.

La ocurrencia de las inundaciones no sólo es muy frecuente en todo el mundo, sino que parecería que su incidencia e intensidad se han incrementado en años recientes. De ahí la importancia de disponer con metodologías sistematizadas para evaluar, con los mismos criterios, los daños de los desastres que tienen lugar, tanto en países desarrollados como en países en desarrollo. Para realizar dicha evaluación se tiene el *Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres*, elaborado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en el 2003. El manual se divide en cinco secciones. La primera se refiere a los aspectos conceptuales y metodológicos generales de la evaluación. La segunda sección describe los métodos para la estimación de los daños y las pérdidas en los sectores sociales y se divide en los capítulos de vivienda y asentamientos humanos, educación, cultura y salud. La tercera sección se concentra en la infraestructura de servicios, desglosados en los sectores de

transporte y comunicaciones, energía, agua y saneamiento. La cuarta sección trata sobre los daños y las pérdidas entre los sectores agropecuario, industrial, comercial y turístico. La quinta sección se enfoca en los aspectos globales, efectos transversales a distintos sectores y efectos macroeconómicos y se exponen en capítulos dedicados a los daños ambientales, los efectos diferenciales de los desastres entre las mujeres, el empleo y el ingreso.

En términos económicos, se considera que una inundación representa lo contrario de la ejecución de un proyecto de inversión. Es decir, los proyectos, en la mayor parte de las ocasiones, se materializan en obras físicas, implican decisiones sobre el uso de recursos para incrementar, mejorar o mantener la producción de bienes o la prestación de servicios. En cambio, las inundaciones ocasionan daños en los acervos, es decir, provocan desinversiones. Por lo que también alteran los flujos de producción de bienes y servicios, mermando su disponibilidad y su eficiencia. Si se sigue el esquema de evaluación de proyectos y ampliando a sectores económicos específicos, para medir los daños económicos de una inundación es preciso conocer tres parámetros: a).- el monto de pérdidas del acervo (desinversiones); b).- la afectación en precios y cantidades, del flujo de bienes y servicios que componen el sector, y c).- el período en que se dio la alteración de los mercados.

Es importante mencionar que existen dos tipos de evaluación de proyectos: la privada y la social. En la primera, los beneficios anuales provienen de la venta de los productos o servicios, y comparados con los costos de la compra de insumos y pago de factores. En la segunda, los beneficios sociales anuales se obtienen del aumento en el ingreso nacional que la ejecución de un proyecto provoca, mientras que los costos corresponden al ingreso sacrificado por ejecutar ese proyecto en lugar de otro. Es de notar que la evaluación social y privada usa criterios similares para estudiar la viabilidad de un proyecto, estas se dan en la valoración de las variables determinantes de los costos y beneficios. En el caso de los bienes privados destruidos o dañados se emplea el valor de mercado de los mismos. En cambio en el caso de los bienes sociales se emplean los *precios sombra*. O sea los efectos indirectos o externalidades que se generan sobre el bienestar de la sociedad. Y, los tres factores que se valoran con este criterio son: el de la divisa, el de la mano de obra y la tasa social de descuento.

Desde el punto de vista formal se suele dividir el ciclo de postdesastre en tres diferentes fases, aunque la evolución tras un evento catastrófico no es lineal ni claramente

diferenciable en etapas acotadas. La división más utilizada distingue las siguientes: a).- Emergencia, b).-rehabilitación y recuperación, llamada también de transición, y c).-reconstrucción.

La fase de emergencia arranca inmediatamente después de ocurrida la inundación y se refiere a las acciones para salvar y proveer suministros de carácter esencial a las personas más afectadas. Incluye actividades como búsqueda, rescate, evacuación, provisión de albergues, primeros auxilios, socorro y protección médica de emergencia; reposición transitoria de vías de transporte y comunicación; reparaciones preliminares de los servicios esenciales de utilidad pública, y las primeras acciones destinadas a empadronar damnificados y registrar daños a la propiedad pública privada (Ver sección 7.2). Esta fase tiene una duración relativamente breve, aunque varía en función de la gravedad de la inundación.

La fase de rehabilitación o transición abarca todas aquellas actividades que tienen el propósito de devolver la normalidad a las zonas y comunidades afectadas. Se efectúa la reparación no definitiva de viviendas y edificios, además de que se procede al restablecimiento temporal del transporte y las comunicaciones, y a la provisión de servicios de utilidad pública (energía eléctrica, agua potable, etc). Durante esta fase se debe revisar el problema de la recuperación emocional y psicológica de los habitantes de las regiones que impactó el desastre. Entre las medidas de recuperación se cuentan la vuelta al trabajo, la creación de nuevos empleos, la disponibilidad de crédito y recursos financieros, proyectos como la provisión de vivienda temporal y otros servicios de salud pública de iniciación inmediata.

Por último, la fase de reconstrucción comprende las actividades que reordenan el espacio físico y el medio ambiente con el fin de asignar recursos de acuerdo con las nuevas prioridades sociales surgidas del desastre, restablecen la funcionalidad de las actividades económicas y restauran el tejido social. El objetivo de esta fase es incrementar la capacidad local y la resistencia de las infraestructuras físicas, económicas, y sociales ante la amenaza de nuevas inundaciones, a partir de decisiones sobre el grado de protección que se desea y la definición de eventos-diseño (el límite en cuanto a fuerza y recurrencia del tipo de evento que se consideró causa del desastre).

Las actividades de evaluación preferentemente se realizan cuando las actividades de la fase de emergencia han sido completadas o están por finalizar y tienen por objeto identificar las necesidades y prioridades para la fase de reconstrucción.

### **5.1. Daños directos.**

Desde el punto de vista de la apreciación rápida de los daños, los efectos directos son relativamente más claros al momento de identificarse y evaluarse. Y son aquellos que sufren los activos inmovilizados, construidos o dañados, y los infligidos a las existencias (tanto de bienes finales como de bienes en proceso, materias primas, materiales y repuestos). Se trata en esencia, de los perjuicios que sufrieron los acervos durante el siniestro. Entre los principales rubros de esta categoría se cuentan la destrucción total o parcial de infraestructura física, edificios, instalaciones, maquinaria, equipos, medios de transporte y almacenaje, mobiliario, perjuicios en las tierras de cultivo, en obras de riego, embalses, etc.

Es conveniente distinguir entre los daños al sector público y daños al sector privado, con el propósito de determinar donde recaerá el peso de la reconstrucción. Así mismo, se debe diferenciar entre reparaciones, construcciones totalmente destruidas, equipos y existencias. De igual manera es muy útil, al cuantificar los daños directos, estimar el componente importado que se juzgue necesario para la restitución del activo dañado o destruido, ya que esto puede repercutir en la balanza de pagos y el comercio.

### **5.2. Daños indirectos.**

Estos daños se refieren básicamente a los bienes y servicios que se dejan de producir o de prestar durante un lapso que se inicia después de acaecida la inundación y que puede prolongarse durante la fase de rehabilitación y reconstrucción. El cálculo del efecto debe extenderse el tiempo que sea necesario para alcanzar la recuperación parcial o total de la capacidad productiva.

Su ocurrencia se deriva de los daños directos que han afectado la capacidad productiva y la infraestructura social y económica. Los daños indirectos incluyen también las erogaciones o costos mayores requeridos para la producción de bienes y la prestación de los servicios a causa del desastre, así como los menores ingresos que se recibirán debido a la imposibilidad o dificultad de realizarlos (que a su vez reflejan los indicadores macroeconómicos). Ejemplos de daños indirectos son, la pérdidas de producción

industrial por daños en las plantas o por falta de materia prima; los mayores costos de transporte originados por la necesidad de utilizar vías o medios alternos de comunicación que son más largos o costosos, los menores ingresos en las empresas de servicios por la interrupción o reducción de estos, etc.

Las inundaciones generan también algunos efectos indirectos importantes que son difíciles de identificar e imposibles de cuantificar. Son efectos “intangibles”, como el sufrimiento humano, la inseguridad, el sentimiento de admiración o de rechazo por la forma en que las autoridades han enfrentado las consecuencias del desastre, la solidaridad, la participación desinteresada, los efectos sobre la seguridad nacional y muchos otros factores del mismo tenor que inciden en el bienestar y la calidad de vida. El encargado de la evaluación no siempre dispondrá de tiempo o la información necesaria para determinar el valor monetario de estos importantes efectos, pero debe estar consciente de que una apreciación completa de estos debería contener una evaluación o, al menos, una discusión global sobre los daños o beneficios intangibles que puedan afectar las condiciones de vida de una población.

Por último existen efectos indirectos que podrían medirse a partir de un valor monetario pero cuyo cálculo difícilmente podrá intentarse debido al poco tiempo de que se dispone para la evaluación. Pertenecen a esta categoría la estimación de las oportunidades no realizadas al impacto de la inundación en la estructura y el funcionamiento de las actividades económicas, los efectos distributivos y redistributivos, las pérdidas en capital humano que significan las víctimas y los damnificados, etc.

Es indispensable estimar los daños indirectos en estrecha colaboración con las autoridades respectivas y los expertos. Así se tienen que determinar, por ejemplo, los periodos necesarios para restablecer los servicios, los volúmenes de producción pérdida, los mayores costos en que habrá de incurrirse para prestar los servicios, y las correspondientes reducciones en los ingresos de los factores. También se impone analizar los resultados operativos de las empresas de servicios para estimar sus posibles pérdidas mientras dure la rehabilitación, así como los precios y rendimientos perdidos de los productos agropecuarios e industriales.

### **5.3. Daños totales.**

Al juntarse las dos categorías de daños –directos e indirectos- se obtienen la estimación del monto total de las pérdidas materiales atribuibles a una inundación.

Es necesario igualmente evaluar los efectos macroeconómicos, referentes a la incidencia de la inundación sobre el comportamiento de las principales variables económicas. Por consiguiente, estos efectos reflejan las repercusiones de los daños directos e indirectos, por lo que no deben agregarse a aquellos. Su medición es complementaria a la de los daños directos e indirectos, ya que se realiza desde una óptica diferente. Aunque la cuantificación de estos efectos tiene pleno sentido cuando se realiza para el conjunto de la economía, es indispensable que los especialistas sectoriales proporcionen los elementos necesarios para que el macroeconomista integre los efectos del desastre a los grandes agregados económicos. La unidad de análisis macroeconómico en general será el país, pero en determinados eventos localizados en zonas muy específicas y en países de mayor tamaño, puede resultar importante practicar este análisis a nivel de provincia, estado, departamento, municipio, etc; siempre y cuando se cuente con la información de base necesaria. Otro requisito para que tenga sentido la presentación de los efectos macroeconómicos es calcular el comportamiento que habría tenido cada una de las variables si no se hubiese producido el desastre. Éste es el punto de partida para apreciar hasta qué grado la inundación frustró las metas que se habrían alcanzado y la medida en que el deterioro que se registra en las principales variables condiciona la capacidad del país para afrontar las tareas de rehabilitación y reconstrucción; así, es posible que se planteen nuevas necesidades de cooperación internacional, especialmente en el terreno financiero.

Los efectos macroeconómicos más relevantes de una inundación son los que se proyectan sobre el nivel y la tasa de crecimiento del producto interno bruto global y sectorial; sobre el balance sectorial; el nivel de endeudamiento y las reservas monetarias; y finalmente las finanzas públicas y la inversión bruta. Dependiendo de las características de la inundación, suelen ser también pertinente estimar los efectos secundarios sobre el incremento de precios, el nivel de empleo y el ingreso familiar. Además, la clasificación de riesgo crediticio, la liquidez y las tasas de interés domésticas también pueden verse afectadas y deben analizarse.

Para estimar adecuadamente los daños totales causados por una inundación se recomienda consultar el manual de evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres naturales elaborado por la CEPAL ya referenciado en este capítulo, en virtud a que son tantos los conceptos, criterios, secciones, divisiones y subdivisiones, categóricas y sub-categóricas, que se tienen que definir y evaluar, y que son de particular importancia para el lector analista especializado.

Un ejemplo de evaluación de daños por inundación es el que ocurrió debido a las lluvias torrenciales en Tabasco en el año de 1999 (Bitrán 2001), Las lluvias iniciaron a mediados del mes de septiembre y se prolongaron hasta por 77 días. Esto fue resultado de sucesivas ondas tropicales y aire húmedo proveniente de ambos océanos. Las intensas y continuas lluvias generadas por estos fenómenos, particularmente en la Sierra y en la cuenca del río Mezcalapa, afectaron la mayoría de los ríos de la región, principalmente el río Carrizal y el río Samaria, causando elevaciones en el nivel de los mismos que saturaron las partes bajas de sus riberas y las zonas de regulación. Ver Tabla 5.1

Tabla 5.1 Fenómenos Meteorológicos ocurridos durante la temporada de lluvias en 1999, en el estado de Tabasco. (Bitrán 2001).

<b>Fenómeno</b>	<b>Fechas de Ocurrencia</b>
Onda tropical No 32	Mediados de Septiembre
Frente Frio No. 4	29 Septiembre al 1 de Octubre
Onda tropical No 32	29 Septiembre
Onda tropical No 32	4 al 16 de Octubre
Depresión Tropical No11	19 al 21 Octubre
Frente Frío No 7.	

A principios de octubre, las aguas de la presa Peñitas (ubicada en el estado de Chiapas, en la parte más alta del sistema hidrológico de Tabasco), habían sobrepasado el nivel máximo ordinario de la misma obligando al desalojo de gastos de hasta 2,323 metros cúbicos por segundo. Debido a lo anterior, y al hecho de que los ríos habían alcanzado niveles extraordinarios, el proceso natural de desalojo hacia el mar se dificultó generando inundaciones en áreas urbanas, suburbanas y de uso agropecuario. El estancamiento de las aguas por tan prolongado tiempo ocasionó pérdidas importantes en la infraestructura económica y social, así como en los sectores productivos del estado, al haberse detenido

o entorpecido sus actividades y trastornado la vida de importantes segmentos de la población. Dadas las características de la región afectada que semeja una planicie Ver Figura 5.1, las inundaciones se presentaron de manera paulatina, y relativamente lentas, lo que permitió a la población mantenerse a salvo de las crecidas. A esta característica orográfica se debe que no se reportara la pérdida de vidas humanas durante las inundaciones, aunque hubo dificultades para el desalojo de bienes, entre menajes de casa, maquinaria, equipo y productos almacenados en bodegas que no pudieron rescatarse de la inundación.



Figura 5.1. Vista inundación en la ribera del río Carrizal, al oeste de Villahermosa.

Las pérdidas económicas alcanzaron algo más de 2,500 millones de pesos, monto que equivale a más del 4% del PIB del estado. El presupuesto de egresos de Tabasco para el ejercicio fiscal de 1999, que incluye fondos de Ramo general 33, ascendió a 11,359 millones de pesos. De manera que los 2,558.3 millones estimados como pérdidas por las inundaciones, fueron equivalentes al 23% de los recursos asignados ese mismo año por el gobierno del estado para atender las necesidades de inversión y desarrollo de la entidad. En términos de la producción petrolera del estado, el desastre fue equivalente a perder los recursos de 303 días de extracción. Los recursos aportados por el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) para este desastre ascendieron alrededor de 1.3 mil millones de pesos, de los cuales el gobierno federal contribuyó con 1.1 mil millones de pesos y el resto fue sufragado por el gobierno estatal. Los sectores con mayores afectaciones fueron en este orden, los siguientes: vivienda, agua y saneamiento, ganadería, transporte y comunicaciones e industria manufacturera. También tuvieron

importantes efectos en la producción agrícola, comercio y cuidado de la salud. En la Tabla 5.2 se resumen los daños totales provocados por la inundación.

Tabla 5.2. Resumen de daños ocasionados por las lluvias torrenciales en Tabasco en 1999.

<b>Millones de pesos</b>			
<b>Sector/Concepto</b>	<b>Daños</b>	<b>Daños</b>	<b>Total</b>
	<b>Directos</b>	<b>Indirectos</b>	
<b>Sectores Sociales</b>	<b>876.3</b>	<b>59.1</b>	<b>935.4</b>
<b>Vivienda</b>	708.8	-	708.8
<b>Infraestructura urbana</b>	41.2	-	41.2
<b>Educación</b>	113.6	1.9	115.5
<b>Salud</b>	12.7	57.2	69.9
<b>Infraestructura y Servicios</b>	<b>784.7</b>	<b>69.3</b>	<b>854</b>
<b>Agua y Saneamiento</b>	509.5	40	549.5
<b>Energía</b>	47.8	24.8	72.6
<b>Transporte y comunicaciones</b>	227.4	4.5	231.9
<b>Sectores Productivos</b>	<b>344.8</b>	<b>358.1</b>	<b>702.9</b>
<b>Agropecuario, Pesca y forestal</b>	172	228.1	400.1
<b>Agricultura</b>	10	131	141.1
<b>Ganadería</b>	158	93.3	251.3
<b>Forestal</b>	1	1.3	2.3
<b>Pesca</b>	3	2.5	5.5
<b>Industria, Comercio y Turismo</b>	<b>172.8</b>	<b>130</b>	<b>298.8</b>
<b>Industria</b>	85	65	150
<b>Comercio</b>	55.3	53	98.3
<b>Turismo</b>	28.5	22	50.5
<b>Medio Ambiente</b>	<b>0.4</b>	-	<b>0.4</b>
<b>Atención a la emergencia</b>	-	<b>65.6</b>	<b>65.6</b>
<b>Total de daños</b>	<b>2006.2</b>	<b>552.1</b>	<b>2558.3</b>

En resumen a los capítulos anteriores, se puede decir que las inundaciones han presentado un incremento en la cantidad de eventos cada año, igualmente se ha visto un incremento en los daños materiales y se ha presentado una disminución en la pérdida de vidas humanas por los efectos de las inundaciones, demás se ha identificado los agentes que provocan las inundaciones y se ha presentado una metodología para evaluar económicamente los efectos de las inundaciones. En los capítulos 6 y 7 se presentan un conjunto de acciones estructurales y no estructurales que sirven de guía para los tomadores de decisiones con el objetivo de mitigar los efectos que causan dichas inundaciones.

## **6. Acciones no estructurales**

### **6.1 Medidas preventivas**

Las principales acciones no estructurales son generalmente del tipo preventiva como son: programas y planes políticos para prevenir desastres naturales, sistemas de prevención y alerta de inundación, zonificación de las áreas de riesgo de inundación, seguro y protección individual contra inundación y la realización de mapas de riesgo de inundación en las ciudades.

Las acciones estructurales no son proyectadas para dar una protección completa. Esto exigiría la protección contra la mayor crecida posible, por lo que esta protección es físicamente y económicamente inviable en la mayoría de las situaciones. Además las acciones estructurales pueden crear una falsa sensación de seguridad, permitiendo la ocupación de las aéreas inundables, que en el futuro pueden resultar en daños significativos. Las acciones no estructurales, en conjunto con las acciones estructurales, pueden minimizar significativamente los perjuicios con un costo menor. El costo de protección de un área inundable por acciones estructurales, en general, es superior a aquel correspondiente a las acciones no estructurales. (Tucci,2007)

#### **6.1.1 Políticas de actuación para prevenir inundaciones en México.**

México se sitúa en el cinturón de fuego, sobre las placas tectónicas del pacífico, de Cocos, la Norteamericana y del Caribe, siendo en esta zona en donde ocurre el 80% de la actividad sísmica y volcánica a nivel mundial. Además se ubica dentro de los cuatro de las seis regiones generatrices de ciclones del mundo, las cuales influyen en el territorio Tehuantepec, Región Oriental del Mar Caribe, Sonda de Campeche y Región Oriental del Atlántico. En total, son 17 entidades las ubicadas en zonas de peligro, donde habita casi la mitad de la población mexicana. (ONU, 2011)

En México, la gestión del riesgo inicia su institución y fuerza política luego del terremoto ocurrido en la ciudad de México el 19 de septiembre de 1985. Ese día, y los siguientes, se vivió una de las catástrofes que marcó la historia del país. Posteriormente en el año de 1988 casi tres años después del terremoto, se presento el huracán Gilberto, que impacto en las costas del Golfo de México. El estado de Yucatán fue el centro de los destrozos, perdiendo la infraestructura de más del 50 % de las playas y provocando pérdida de

actividades agrícolas (ONU,2011). Desde entonces las políticas de actuación se han implementado, en forma de leyes, planes y programas que han ido tomando importancia en materia de prevención, por lo cual, en éste documento se presentan las políticas de actuación vigentes para prevenir inundación en México, donde se menciona de manera general las disposiciones más importantes de cada ley, plan y programa.

#### **6.1.1.1 Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007-2012.**

En cumplimiento con lo dispuesto en el Artículo 26 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos así como en los Artículos 4 y 20 de la Ley de planeación, el gobierno federal tiene como obligación presentar el Plan Nacional de Desarrollo (PND) que habrá de regir las acciones del ejecutivo federal. Por lo que el Plan Nacional de Desarrollo (PND) del presente sexenio 2007-2012, se toma como base para el quehacer gubernamental.

En el primer capítulo del PND se define el desarrollo humano sustentable como premisa básica para el desarrollo integral del país, esto es, el proceso de ampliación permanente de capacidades y libertades que permita a todos los mexicanos tener una vida digna sin comprometer el patrimonio de las generaciones futuras. La segunda parte, consta de cinco capítulos que corresponden a los cinco ejes rectores de la política pública de dicho Plan, los cuales son: (Gobierno Federal, 2007)

- 1) Estado de derecho y seguridad.
- 2) Economía competitiva y generadora de empleos.
- 3) Igualdad de oportunidades.
- 4) Sustentabilidad ambiental.
- 5) Democracia efectiva y política exterior responsable.

En cada uno de los ejes rectores del PND se presenta información de la situación del país en el aspecto correspondiente y a partir de ello se establecen sus respectivos objetivos y estrategias de actuación.

Como ya se mencionó el PND asume como premisa básica la búsqueda del desarrollo humano sustentable, que servirá como motor de la transformación de México en el largo plazo y al mismo tiempo como un instrumento para que los mexicanos mejoren sus condiciones de vida. En dicho plan se establecen objetivos nacionales, estrategias

generales y las prioridades de desarrollo. Por lo que dicho Plan se toma como base para el quehacer político y con la finalidad de alcanzar el desarrollo integral de la nación.

En lo referente a prevención de desastres naturales se pueden mencionar los siguientes ejes y sus respectivas estrategias propuestas.

En su Eje No. 1.- Estado de derecho y seguridad, en su Objetivo No. 13 (garantizar la seguridad nacional y preservar la integridad física y el patrimonio de los mexicanos por encima de cualquier otro interés) se propone como estrategia 13.2 en el marco del Sistema Nacional de Protección Civil, fortalecer la concurrencia de las fuerzas armadas y de los gobiernos estatales y municipales en la preparación, ejecución y conducción de los planes de auxilio correspondientes. En corresponsabilidad con los gobiernos locales, el gobierno federal seguirá dando prioridad a los programas de Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), como el Plan DN-III y el plan de Marina, para acudir con la mayor celeridad a los lugares azotados por las fuerzas naturales. Se revisarán los procedimientos para asignar los recursos del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) a las autoridades correspondientes y la entrega de apoyos a la población con la agilidad que ésta materia requiere. De forma complementaria se mejorará el registro y la divulgación oportuna de información sobre los fenómenos meteorológicos, con el fin de alertar a la población y evitar la pérdida de vidas humanas.

En el Eje 3.- Igualdad de Oportunidades, en el Objetivo 3 (Superación de la pobreza) se intenta lograr un patrón territorial nacional, que frente la expansión desordenada de las ciudades, provea suelo apto para el desarrollo urbano y facilite el acceso a servicios y equipamientos en comunidades tanto urbanas como rurales. Las estrategias más relevantes son: En la estrategia 3.1 (Promover el ordenamiento territorial), donde se señala la certeza jurídica de la tenencia de la tierra en las zonas marginadas de las ciudades. También se señala que se trabajará estrechamente con las autoridades estatales y municipales para acelerar la regulación de los predios y el uso del suelo; En la estrategia 3.3 (prevenir y atender los riesgos naturales), se pretende sensibilizar a las autoridades y a la población, de la existencia de riesgo y la necesidad de incorporar criterios para la prevención de desastres en los planes de desarrollo urbano y en el marco normativo de los municipios, tiene como fin el orientar a la prevención de desastres y la gestión de riesgo, una política de desarrollo sustentable y fortalecer las prácticas de cooperación entre la federación, estados, municipios y sociedad civil, que permitan atender con mayor oportunidad a la población afectada por fenómenos naturales. Lo

anterior implica diseñar e implementar nuevos programas estratégicos, dirigidos a mitigar la exposición de la población frente a amenazas de origen natural, fortalecer los instrumentos jurídicos para dotar de los tres órdenes de gobierno a fin de evitar la concentración y proliferación de asentamientos humanos en zonas de riesgo; y reducir los efectos del calentamiento global con políticas públicas transversales que permitan, en corto plazo, reducir el riesgo de la población más vulnerable; de igual manera en la estrategia 3.4 Se intenta fortalecer el marco institucional federal en materia de desarrollo urbano creando los instrumentos financieros, técnicos y normativos que requiere la problemática actual de las ciudades.

En el Eje 4.- Sustentabilidad ambiental, en el Objetivo 11 (impulsar medidas de adaptación a los efectos del cambio climático) del cual se desprenden las siguientes estrategias: Estrategia 11.1 (Promover la inclusión de los aspectos de adaptación al cambio climático en la población y quehacer de los distintos sectores de la sociedad). En este sentido se busca preservar y fortalecer las funciones de amortiguamiento que existen en las cuencas hidrológicas y ecosistemas costeros, restaurar cuerpos de agua que permitan mantener las capacidades de almacenamiento de agua, fortalecer al Servicio Meteorológico Nacional y al Sistema Nacional de Protección Civil, desarrollar estrategias de conservación de suelo; Estrategia 11.4 (Promover la difusión sobre los impactos, vulnerabilidad y medidas de adaptación al cambio climático). La educación y la sensibilización de la sociedad desempeñan un papel muy importante en la reducción de los riesgos que supone el cambio climático, particularmente en aquellos sectores de la población que son más vulnerables a sus efectos. Por ello se requiere desarrollar recursos educativos a una amplia gama de usuarios, así como proporcionar capacitación a los diversos actores sociales a fin de que puedan enfrentar los efectos del calentamiento global.

#### **6.1.1.2 Programa Nacional de Protección Civil 2008-2012.**

En términos generales el Plan Nacional de Desarrollo define a la protección civil, a la prevención y a la atención de desastres como una política prioritaria de desarrollo nacional, y para ello se establece el Programa de Protección Civil 2008-2012 como uno de los programas para ser instrumentados en el país. De este modo, el Programa Nacional de Protección Civil está sustentado en tres de los cinco ejes rectores del Plan

Nacional de Desarrollo, en tres de sus objetivos nacionales, y en seis de sus estrategias nacionales como se mencionó anteriormente en la sección 6.1.1.1.(SINAPROC, 2008)

El nuevo enfoque de la Protección Civil es orientado hacia el manejo integral de riesgos. Donde se plantea renovar la concepción vigente de la protección civil en el país, para atender las necesidades de desarrollo con un enfoque que minimice el riesgo y para actualizar los instrumentos de organización y funcionamiento acorde con la realidad de México. Éste nuevo enfoque intenta reconocer en los riesgos no sólo como producto de las manifestaciones de la naturaleza, sino también un fenómeno expuesto a factores institucionales, culturales, sociales, económicos y políticos, que en conjunto crean condiciones de vulnerabilidad en la población desde la propia gestación de los riesgos. Además se agrega los efectos del cambio climático en fenómenos hidrometeorológicos que ponen en peligro la vida humana y las condiciones para el desarrollo sustentable. Éste nuevo enfoque reconoce el riesgo como un proceso en permanente construcción, y con ello se permite márgenes de acción para neutralizar su potencial de daño y para diseñar las políticas que reduzcan la vulnerabilidad.

De esta manera visto desde la protección civil, se pretende que el manejo integral de riesgo sea un conjunto de acciones encaminadas a la identificación, análisis, evaluación y reducción de los riesgos, las cuales apoyan de manera sistemática la toma de decisiones para la creación e implementación de políticas, estrategias y procedimientos que combatan las causas estructurales y fortalezcan las capacidades de resistencia de la sociedad. Éste enfoque se compone de cuatro elementos fundamentales: (SINAPROC, 2008)

- 1) Definición del contexto,
- 2) Identificación de riesgos,
- 3) Análisis de riesgos, y
- 4) Tratamiento y reducción de riesgos.

La definición del contexto consiste en identificar la naturaleza de los riesgos, su dimensión, tipo y origen.

La identificación de riesgos se refiere a la definición de los riesgos, el establecimiento de escenarios sobre lo que puede ocurrir, en qué momento ocurrirá, de qué forma se manifestaría y dónde.

Por su parte, el análisis de riesgo se refiere al proceso de evaluación sobre el nivel de riesgo al que se está expuesto, sus posibles consecuencias y la revisión de controles dispuestos para la mitigación del impacto.

El tratamiento y reducción de riesgos se refiere al conjunto de acciones y mecanismos que permiten la identificación de opciones de prevención y mitigación, la valoración de estas opciones y la preparación de acciones prioritarias como obras de protección, mecanismos de alertamiento, educación, generación e implementación de normas.

Con base en los elementos de manejo integral de riesgos antes expuesto, el *Programa Nacional de Protección Civil 2008-2012* tendrá un nuevo enfoque y se incorporarán principios, conceptos y criterios para establecer en forma sistemática la integridad en la prevención y mitigación de los riesgos y desastres, así como la institucionalización de la continuidad de operaciones, de gobierno y del desarrollo nacional.

#### **6.1.1.3 Programa Nacional Hídrico (PNH) 2007-2012.**

Como ya se mencionó el PND asume como premisa básica la búsqueda del desarrollo humano sustentable, es decir, que todos los mexicanos tengan una vida digna sin comprometer el patrimonio de las generaciones futuras. Acorde a ésta premisa surge el programa Nacional Hídrico (PNH) 2007-2012 en el cual se pretende que la nación cuente con agua en cantidades y calidad suficiente, reconozca su valor estratégico, la utilice de manera eficiente y proteja los cuerpos de agua, para garantizar un desarrollo sustentable y preservar el medio ambiente. Por lo que para lograr éstos propósitos, en el PNH se establecen los siguientes objetivos: (CONAGUA-PNH-, 2007)

- 1) Mejorar la productividad del agua en el sector agrícola.
- 2) Incrementar el acceso y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.
- 3) Promover el manejo integrado y sustentable del agua en cuencas y acuíferos.
- 4) Mejorar el desarrollo técnico, administrativo y financiero del sector hidráulico.
- 5) Consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura del agua.
- 6) Prevenir los riesgos derivados de fenómenos meteorológicos e hidrometeorológico y atender sus efectos.
- 7) Evaluar los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico.

- 8) Crear una cultura contributiva y de cumplimiento a la Ley de Aguas Nacionales en materia administrativa.

En materia de prevención de inundaciones se tiene el objetivo número seis del PNH para el cual se han establecido estrategias y metas, así como los retos a superar para alcanzar dichas metas. Estos se resumen en:

- I. Promover la reubicación de los asentamientos humanos en zonas de riesgo.
- II. Proporcionar al Sistema Nacional de Protección Civil y a la población, la información oportuna y confiable sobre la ocurrencia y evolución de los eventos meteorológicos e hidrometeorológico severos.
- III. Transformar, renovar y modernizar el Servicio Meteorológico Nacional y ampliar su cobertura de monitoreo.
- IV. Fortalecer la cultura de prevención asociada a la ocurrencia de los fenómenos meteorológicos e hidrometeorológico.
- V. Definir las zonas más vulnerables en relación con los fenómenos causantes de inundaciones.
- VI. Lograr el ordenamiento territorial en zonas de alto riesgo.
- VII. Promover programas de ordenamiento ecológico territorial en regiones que se encuentren en riesgo por eventos hidrometeorológico.
- VIII. Involucrar a la población en las acciones asociadas al manejo de suelo y agua en las partes altas de las cuencas, así como en el mantenimiento y cuidado de las obras que se realicen.
- IX. Fomentar en la población una cultura de prevención y atención de emergencia que incluya información sobre las causas y efectos del cambio climático
- X. Incrementar la participación económica de los gobiernos estatales y municipales en los proyectos y obras, así como lograr una mayor participación en la solución de los problemas sociales y políticos asociados a la protección de los habitantes y la construcción de infraestructura.

En lo relativo a las acciones a realizar por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en coordinación con las entidades municipales y dependencias federales, para atender los daños ocasionados por las inundaciones son:

- Restablecer y normalizar el suministro de los servicios de agua y saneamiento.

- Desalojar los volúmenes de agua en exceso en las poblaciones inundadas.
- Vigilar el comportamiento de la infraestructura hidráulica, incluidas las presas de almacenamiento.
- Evitar la ocurrencia de posibles brotes epidemiológicos.
- Proporcionar agua potable de manera emergente en los albergues, hospitales, centros de salud y a la población en general.

Para apoyar estas acciones, la CONAGUA operará los trece Centros Regionales para la Atención de Emergencias (CRAE) e incorporará otros siete, los cuales contarán con plantas potabilizadoras móviles, equipos de bombeo, plantas de generación de energía eléctrica y camiones pipa. Ver Figura 6.1



Figura 6.1. Ubicación de centros CRAE 2008. CONAGUA, <http://www.conagua.gob.mx/atlas/#>

#### 6.1.1.4 Programa Nacional de Salud 2007-2012.

En el programa Nacional de Salud 2007-2012 dentro de las acciones de promoción de la salud y prevención y control de enfermedades se tiene la acción de atender los efectos de los desastres y las urgencias epidemiológicas, a través de mecanismos que permitan: a)

establecer una regionalización operativa del país, en coordinación con las áreas de protección civil, acorde a los riesgos a los que está sujeto el territorio nacional y brindar atención oportuna a la población afectada en caso de desastres provocados por fenómenos naturales o por el hombre; b) Fortalecer el sistema de vigilancia epidemiológica de brotes y desastres en los estados y jurisdicciones sanitarias, así como la capacidad de respuesta ante las enfermedades emergentes y re-emergentes y atender de manera oportuna las urgencias epidemiológicas y los efectos de los desastres. La meta es alcanzar una cobertura de atención y seguimiento de brotes y atención de los efectos de los desastres del 80%. (SALUD, 2007)

#### **6.1.1.5 Programas de Ordenamiento Ecológico.**

El proceso de ordenamiento ecológico se concibe como un proceso de planeación cuyo objetivo es encontrar un patrón de ocupación del territorio que maximice el consenso y minimice el conflicto entre los diferentes sectores sociales y las autoridades en una región. A través del proceso de ordenamiento ecológico se generan, instrumentan, evalúan y, en su caso, modifican las políticas ambientales con las que se busca lograr un mejor balance entre las actividades productivas y la protección al ambiente. (SEMARNAT,2006)

Al hablar del proceso de ordenamiento ecológico del territorio es conveniente mencionar la totalidad de las modalidades en las que se pueden presentar éstos, así como sus características más sobresalientes y la distribución de competencias, esto mediante los programas de ordenamiento ecológico, que son mencionados en seguida:

- Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (OEGT). Será formulado por la SEMARNAT, en el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática y tendrá por objeto: 1) La regionalización ecológica del territorio nacional y de las zonas sobre las que la nación ejerce soberanía y jurisdicción, a partir del diagnóstico de las características, disponibilidad y demanda de los recursos naturales, así como de las actividades productivas que en ellas se desarrollen y de la ubicación y situación de los asentamientos humanos existentes; 2) Los lineamientos y estrategias ecológicas para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como para la localización de actividades productivas y de los asentamientos humanos. (SEMARNAT, 2009)

- Programa de Ordenamiento Ecológico Marino (OEM). Deberá contener por lo menos: 1) la determinación precisa del área que abarcará el programa; 2) La determinación de las zonas ecológicas a partir de las características, disponibilidad y demanda de los recursos naturales en ellas comprendidas, así como el tipo de actividades productivas que en las mismas se desarrollen, y 3) los lineamientos, estrategias y demás previsiones para la preservación, protección, restauración y aprovechamientos sustentable de los recursos naturales así como la realización de actividades productivas y demás obras o actividades que puedan afectar los ecosistemas.
- Programa de Ordenamiento Ecológico Regional (OER). Los gobiernos de los Estados y del Distrito Federal, en términos de leyes locales aplicables, podrán formular y expedir programas de ordenamiento ecológico regional, que abarquen la totalidad o una parte del territorio de una entidad federativa. Y deberá contener por lo menos: 1) La determinación del área o región a ordenar, describiendo sus atributos físicos, bióticos y socioeconómicos, así como el diagnóstico de sus condiciones ambientales y las tecnologías utilizadas por los habitantes del área; 2) la determinación de los criterios de regulación ecológica para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que se localicen en la región de que se trate, así como para la realización de actividades productivas y la ubicación de asentamientos humanos; y 3) los lineamientos para su ejecución, evaluación, seguimiento y modificación.
- Programa de Ordenamiento Ecológico Local (OEL) Donde serán expedidos por las autoridades municipales, y en su caso del Distrito Federal, de conformidad con la leyes locales en materia ambiental, y tendrán por objeto: 1) Determinar las distintas áreas ecológicas que se localicen en la zona o región de que se trate, describiendo sus atributos físicos bióticos y socioeconómicos, así como el diagnóstico de sus condiciones ambientales, y de las tecnologías utilizadas por los habitantes del área de que se trate; 2) Regular fuera de los centros de población, los usos del suelo con el propósito de proteger el ambiente y preservar, restaurar y aprovechar de manera sustentable los recursos naturales respectivos, fundamentalmente en la realización de actividades productivas y la localización de asentamientos humanos; y 3) Establecer los criterios de regulación ecológica para la protección, preservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales dentro de los centros de población, a fin de que sean

considerados en los planes o programas de desarrollo urbano correspondientes.  
(SEMARNAT,2009)

El proceso de Ordenamiento Ecológico tiene las siguientes fases para cualquiera de sus modalidades: Ver Figura 6.2. (SEMARNAT, 2006)

- a) *Formulación.* Donde se establecen los mecanismos e instrumentos necesarios que darán inicio y seguimiento al proceso de ordenamiento ecológico. Entre ellos se destacan: la celebración de un convenio de coordinación (A1), la instalación de un órgano responsable denominado comité responsable (A2), estudio técnico que sustentará la propuesta del programa de ordenamiento ecológico (A3) y el diseño y construcción de la bitácora ambiental (F), entendida como la herramienta para el registro del proceso de ordenamiento ecológico que inicia en ésta fase, y que se ejecuta a lo largo de todas sus fases. .
- b) *Expedición.* Es el procedimiento legal que deberá seguir la autoridad competente para decretar el Programa de Ordenamiento Ecológico; Tiene dos propósitos: 1) que los sectores que participaron en la formulación validen o manifiesten lo que a su derecho convenga, respecto de la propuesta final del programa que habrá de decretarse para su posterior ejecución y 2) cumplir con las disposiciones jurídicas que establezcan las leyes en la materia para que el programa de ordenamiento ecológico se decrete en los órganos de difusión oficiales que correspondan.
- c) *Ejecución.* Acciones técnicas, administrativas y financieras por parte de las autoridades responsables para su aplicación y seguimiento. Entre las acciones se incluye: apoyar y asesorar a la sociedad en general en la toma de decisiones sobre los usos adecuados del suelo y del manejo de los recursos naturales, así como en la localización de las actividades productivas y los asentamientos humanos, es decir, definir los lineamientos y estrategias generales de planeación para que otros instrumentos que inciden en el uso y manejo del territorio, definan sus políticas y estrategias específicas a la escala que corresponda (como los planes de desarrollo urbano, evaluación del impacto, riesgo ambiental, los programas de manejo de áreas naturales protegidas, entre otros); así como asesorar y capacitar a cuadros técnicos en los gobiernos locales y difundir el programa y sus resultados.

- d) *Evaluación.* Se valora el grado de cumplimiento tanto de los acuerdos asumidos como del programa de ordenamiento ecológico, es decir, la efectividad de los lineamientos y estrategias ecológicas en la solución de los conflictos ambientales;
- e) *Modificación.* Modificación de los lineamientos y las estrategias del programa después de ajustar o reorientar el proceso. Esto se debe dar en base a la retroalimentación de experiencias y resultados, así como el comportamiento de los indicadores, señala el sentido de la adecuación, ya sea a través de la adaptación o la creación de nuevas estrategias y lineamientos, en función tanto de los gobiernos y sectores.

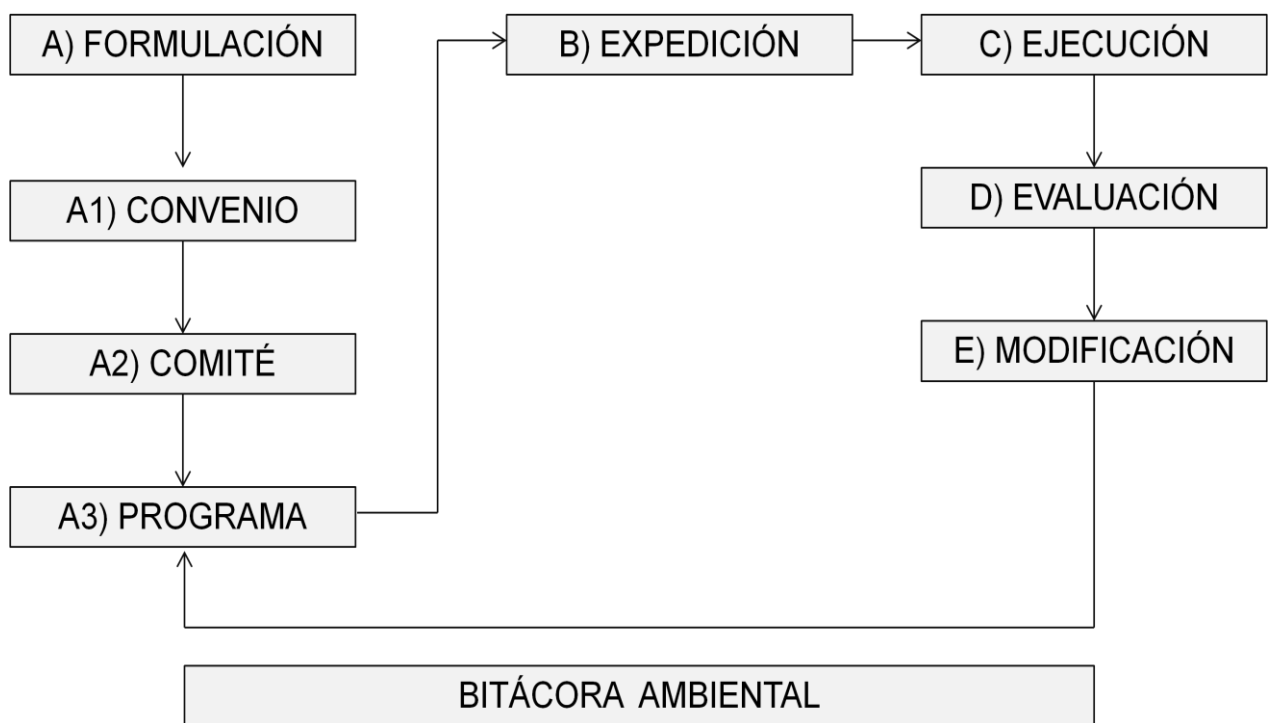


Figura 6.2. Proceso de ordenamiento ecológico. (SEMARNAT, 2006)

Se puede notar que en lo referente a asentamientos humanos los programas de ordenamiento ecológicos en sus diferentes modalidades, se intentan determinar las actividades productivas y localización de asentamientos humanos de esta manera, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) debe trabajar en conjunto con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL); esto se establece en el artículo 23 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) donde se menciona que para contribuir al logro de los objetivos de la

política ambiental, la planeación del desarrollo urbano y la vivienda, además de cumplir con lo dispuesto en el artículo 27 de la constitución en materia de asentamientos humanos, debe considerar los planes o programas de desarrollo urbano, se deberán tomar en cuenta los lineamientos y estrategias contenidas en los programas de ordenamiento ecológico, así como en la determinación de usos de suelo, en la determinación de las áreas para el crecimiento de los centros de población y el aprovechamiento de agua para usos urbanos y se deberá incorporar de manera equitativa los costos de su tratamiento, además de que la política ecológica debe buscar la corrección de aquellos desequilibrios que deterioren la calidad de vida de la población y a la vez prever las tendencias de crecimiento de los asentamientos humanos. Con esto a través de programas de ordenamiento ecológico, se pretende lograr un equilibrio entre los asentamientos humanos y el medio ambiente, y los efectos causantes de desequilibrio debida a una inundación por medio de programas de ordenamiento ecológico y la planeación del desarrollo urbano.

#### **6.1.1.6 Programa de Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos (PRAH).**

El programa se encuentra enmarcado en el Eje 3 del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 donde se establece, como ya se mencionó la importancia de prevenir y atender riesgos naturales, con el cual se pretende sensibilizar a las autoridades y a la población de la existencia de riesgos y la necesidad de incorporar criterios para la prevención de desastres en los planes de desarrollo urbano y en el marco normativo de los municipios, además de hacer de la prevención de desastres una política de desarrollo sustentable, dirigida a mitigar la exposición de la población frente amenazas de origen natural.

El objetivo general del programa es el de contribuir a la disminución de los efectos negativos ocasionados por los desastres tanto en la población como en el territorio nacional, esto mediante acciones y obras de protección y mitigación en los asentamientos humanos. (SEDESOL –PRAH-, 2010).

El programa tiene cobertura a nivel nacional, y va dirigido a las personas que habitan en los municipios y las delegaciones el Distrito Federal susceptibles al efecto destructivo de fenómenos hidrometeorológico y geológicos.

Los municipios susceptibles a ser apoyados por el programa deberán cumplir con lo siguiente: (Ver tabla 6.1).

Tabla 6.1. Criterios y requisitos de elegibilidad para municipios.

Criterios	Requisitos
Aquellos municipios en riesgo de desastre, ocasionados por fenómenos geológicos e hidrometeorológico	Presentar oficio de intención, con la finalidad de iniciar el proceso de autorización, considerando que el proyecto cumpla con lo estipulado en la Tabla 6.2

(SEDESOL –PRAH-, 2010)

Tabla 6.2. Criterios y requisitos de elegibilidad para proyectos.

Criterios	Requisitos
<p>I. Que responda a necesidades de prevención y mitigación de desastres, cumpliendo con la normatividad aplicable y con los criterios técnicos establecidos por las dependencias competentes.</p> <p>II. Que cuenten con objetivos claros y descripción detallada de las características técnicas de acuerdo al tipo de proyecto.</p> <p>III. Cumplir con la normatividad federal y local aplicable y en su caso con los criterios técnicos establecidos por las dependencias competentes relacionados con la prevención de desastres.</p> <p>IV. Que la obras y/o acciones no hayan sido apoyadas por otros programas para el mismo fin</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expediente técnico, el cual deberá estar integrado por la documentación que lo respalde, desde su programación hasta su conclusión.</li> <li>• Capturar la información del Anexo técnico (que se encuentra en las reglas de operación PRAH, PP01); disponible en el sistema de control en línea, el cual contendrá la información básica del proyecto.</li> <li>• Documento que detalle en máximo tres cuartillas la necesidad de realizar las obras de protección.</li> <li>• Manifestación bajo protesta de decir verdad que no se duplican recursos federales para acciones apoyadas por otros programas de prevención.</li> </ul>

(SEDESOL –PRAH-, 2010)

En cuanto a los criterios de selección, se le da prioridad a los proyectos que: 1) Demuestren ser urgentes e impostergables para la prevención de riesgos; 2) Se ubiquen en municipios con un índice de riesgos global alto y muy alto; 3) Se enfoquen a la identificación de riesgos (elaboración de atlas de peligros o de riesgos); 4) Sean obras o acciones que se deriven de un atlas de riesgos.

El programa apoya con subsidios federales la ejecución de obras y acciones, que deberán ser complementados con los recursos aportados por los gobiernos locales, de conformidad con lo establecido en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Tipos de apoyo

Tipos de Apoyo	Características
Acciones para desincentivar la ocupación de suelo en zonas de riesgo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboración de atlas de peligros o de riesgos.- donde se identifiquen los peligros, los riesgos y la vulnerabilidad derivada de los fenómenos naturales que afectan a los asentamientos humanos.</li> <li>• Estudios que permitan conocer con mayor detalle algún fenómeno de interés, ya sea hidrometeorológico o geológico de una zona en particular o de todo el municipio con fines de prevención.</li> <li>• Elaboración y/o actualización de reglamentos de construcción, que promuevan la prevención de desastres a través de establecer la tipología y técnica constructiva de acuerdo al peligro o riesgo de la zona.</li> </ul>
Obras y acciones para la reducción y mitigación de riesgos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obras de prevención y mitigación.- son todas aquellas acciones cuyo propósito es contribuir a reducir la vulnerabilidad de los asentamientos humanos ubicados en zonas de riesgo ante amenazas naturales.</li> <li>• Cursos, talleres y estrategias de difusión de educación y sensibilización para la prevención de desastres dirigidos a autoridades locales y la población.</li> </ul>
Acciones para la conservación de los sistemas naturales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reforestación. Acciones que permitan evitar la erosión de las laderas y con ello su deslizamiento, lo anterior con fines de prevención de desastres y de contribuir al mejoramiento ambiental.</li> </ul>

(SEDESOL –PRAH-, 2010)

La aportación del gobierno federal está en función del recurso aportado por los gobiernos locales, la coparticipación se enlista en la Tabla 6.4

Tabla 6.4. Montos de Apoyo.

Objeto del Subsidio	Monto total máximo (Millones de pesos)	Porcentaje de aportación máxima federal	Porcentaje de aportación mínima local
<b>a) acciones para disminuir la ocupación de suelo en zonas de riesgo.</b>			
Elaboración de atlas de peligros o riesgos naturales.	1.5	80	20
Actualización de atlas de peligros o riesgos naturales.	1.0	80	20
Elaboración de estudios especiales para la identificación, evaluación, análisis de peligros, vulnerabilidad y riesgos derivados de un atlas	1.0	50	50
Elaboración de reglamentos de construcción que establezcan la tipología y técnica constructiva de acuerdo al peligro o riesgo de la zona	1.0	50	50
Actualización de reglamentos de construcción que establezcan la tipología y técnica constructiva de acuerdo al peligro o riesgo de la zona	0.7	50	50
Estudios para la reubicación de asentamientos humanos hacia zonas aptas	1.0	50	50
<b>b) obras y acciones para la reducción y mitigación de riesgos.</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilización de taludes y laderas</li> <li>• Pavimentación de rutas de evacuación en zonas de riesgo.</li> <li>• Presas de gavión.</li> <li>• Bordos.</li> <li>• Construcción, ampliación o rehabilitación de drenaje pluvial y sanitario.</li> <li>• Obras de protección costera.</li> </ul>	10.0	50	50
	10.0	50	50
Cursos talleres y estrategias de difusión, de educación y sensibilización para la prevención de desastres	0.1	50	50
<b>c) Acciones para la conservación de los sistemas naturales.</b>			
Reforestación con fines de prevención.	1.0	50	50

(SEDESOL –PRAH-, 2010)

Se puede aplicar porcentajes de participación federal distintos a los señalados en la Tabla 6.4, previa autorización del Comité de Prevención de Riesgos, en los siguientes casos.

- I. Hasta un 90% del monto total de la propuesta presentada para la elaboración de atlas de peligros naturales o de riesgos, siempre y cuando:
  - El municipio o delegación, demuestre inversiones en la prevención de desastres en periodos anteriores.
  - El atlas se vincule con los usos del suelo establecidos en los planes o programas de desarrollo urbano.
- II. Hasta un 70% del monto total presentado en la propuesta de obras de mitigación de riesgos, si éstas se derivan de un atlas de peligros o de riesgos.
- III. Hasta un 80% del monto total presentado en la propuesta de obras de mitigación de riesgos, si las sustentan y justifican, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) o el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) o si los municipios cuentan con atlas de peligro o de riesgo vigentes y que su contenido se haya incorporado a su programa de desarrollo.

#### **6.1.1.7 FOPREDEN (Fondo para la prevención de desastres naturales).**

Ante los índices de incremento de la exposición a los fenómenos naturales perturbadores, así como un incremento de la vulnerabilidad física y social que se registra en México, se propone como instrumento para la gestión integral de riesgo el Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) en el cual, se pretende que la ejecución del programa tenga orientación preventiva, en el que se establece como objetivo la sensibilización de las autoridades y la población respecto a la existencia de riesgos y la necesidad de incorporar criterios para la prevención de desastres en los planes de desarrollo urbano y en marco normativo de los municipios. (ROFOPREDEN, 2010)

La actividad preventiva deberá orientarse prioritariamente a reducir riesgos, a evitar o disminuir los efectos del impacto destructivo de los fenómenos naturales perturbadores en los términos de la Ley General de Protección Civil. Los recursos de origen del FOPREDEN son subsidios federales, por lo que su aplicación y control, incluyendo los rendimientos financieros, están sujetos a las disposiciones establecidas en las Reglas de operación del FOPREDEN, así como en la Ley Federal de Presupuesto y

Responsabilidad Hacendaria, su Reglamento y demás aplicables. (Artículo 2º . ROFOPREDEN, 2010).

La Gestión integral del Riesgo se basa en una retroalimentación permanente del conocimiento sobre las amenazas naturales y las acciones más pertinentes para reducir la vulnerabilidad de las personas, bienes, infraestructura y medio ambiente, expuestos a un desastre natural, y tiene como finalidad: (Artículo 3º, ROFOPREDEN, 2010)

- i. La reducción, previsión y control permanente y priorizado del riesgo de desastre en la población.
- ii. El combate a las causas estructurales de los mismos, y
- iii. El fortalecimiento de las capacidades de resiliencia de la sociedad.

Lo anterior implica un proceso de planeación, participación y toma de decisiones que permitan evitar el proceso de construcción social del riesgo, a través de la implementación de políticas y estrategias para el fortalecimiento, en los tres niveles de gobierno así como en los diversos sectores de la sociedad, de las capacidades para actuar preventivamente y con oportunidad ante los fenómenos naturales perturbadores.

La gestión integral del riesgo reconoce distas fases de intervención, entre las que se señalan: previsión, identificación de peligros y riesgos, prevención, mitigación, preparación, atención de emergencias, recuperación y reconstrucción.

El FOPREDEN tiene como objetivo la promoción y fomento a la actividad preventiva tendiente a reducir riesgos, y disminuir o evitar los efectos del impacto destructivo originado por fenómenos naturales, bajo los principios señalados en el artículo 3º de ROFOPREDEN, así como promover el desarrollo de estudios orientados a la gestión integral del riesgo para fomentar y apoyar la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico a favor de la prevención de desastres y mitigación de riesgos derivados de fenómenos naturales perturbadores y la adaptación a sus efectos. (Artículo 4º. ROFOPREDEN, 2010)

El FOPREDEN está integrado por: I) El Programa para la Prevención de Desastres Naturales del Ramo General 23 “Provisiones salariales y económicas”, previsto en el presupuesto de egresos de la federación de cada ejercicio fiscal, que funcionará como fuente de financiamiento para transferir los recursos al Fideicomiso preventivo a que se refiere el artículo 32 de la Ley General de Protección Civil a fin de que todos los proyectos

preventivos se aprueben con cargo al patrimonio de este último, y II) el Fideicomiso preventivo a que se refiere el artículo 32 de la Ley General de Protección Civil. (Artículo 5º. ROFOPREDEN, 2010)

El FOPREDEN tiene como finalidad: de financiar proyectos preventivos enfocados a la reducción de riesgos y que contribuyan a evitar o disminuir los daños originados por la presencia de fenómenos naturales perturbadores; promover y replicar proyectos preventivos modelo, y contribuir mediante subcuentas específicas en el fideicomiso preventivo, fondos y reservas financieras con el propósito de asegurar la oportuna asignación y aplicación de recursos dirigidos a proyectos preventivos y a solventar aspectos prioritarios y urgentes relacionados o derivados de fenómenos naturales perturbadores. (Artículo 8º. ROFOPREDEN,2010)

Las acciones preventivas que podrá apoyar el FOPREDEN deberán consistir en:

- i. Acciones orientadas a la identificación y evaluación de peligros, vulnerabilidades o riesgos.
- ii. Acciones orientadas a reducir riesgos y mitigar las pérdidas y daños derivados del impacto de los fenómenos naturales perturbadores, así como evitar los procesos de construcción social en zonas de riesgo.
- iii. Acciones para fortalecer las capacidades preventivas y de autoprotección de la población ante situaciones de riesgo.

Las acciones preventivas deberán tener como sustento técnico y priorización, el conocimiento y análisis previo de las causas que generan los riesgos. Las acciones preventivas estarán dirigidas únicamente a los riesgos asociados a fenómenos naturales. El anexo uno de ROFOPREDEN contiene el listado de los fenómenos naturales perturbadores y las acciones preventivas a las cuales se podrá apoyar con el FOPREDEN. (Artículo 11, ROFOPREDEN, 2010)

El análisis y autorización de los proyectos preventivos estará a cargo del comité técnico. Los miembros del comité técnico, con voz y voto, será a través de los siguientes servidores públicos: (Artículo 13, ROFOPREDEN, 2010).

- i. El titular de la coordinación, quien fungirá como presidente y, tendrá voto de calidad en caso de empate
- ii. Dos representantes de la Secretaría de hacienda y crédito público (SHCP),

- iii. Un representante de la Dirección General del FONDEN.
- iv. Un representante de la Dirección General de Protección Civil, y
- v. Un representante del CENAPRED.

#### **6.1.1.8 Ley General de Protección Civil (LGPC).**

De acuerdo el artículo 9º de la Ley general de protección civil, el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) es 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 diversos grupos voluntarios, sociales, privados y con las autoridades de los estados, el Distrito Federal y los municipios, a fin de efectuar acciones coordinadas, destinadas a la protección contra los peligros que se presenten y a la recuperación de la población, en la eventualidad de un desastre. (Artículo 9º. LGPC, 2000)

Además en el artículo 10. Se menciona que el objetivo del sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) es el de proteger a las personas y a la sociedad ante la eventualidad de un desastre, provocado por agentes naturales o humanos, a través de acciones que reduzcan o eliminen la pérdida de vidas, la afectación de la planta productiva, la destrucción de bienes materiales, el daño a la naturaleza y la interrupción de las funciones esenciales de la sociedad, así como el de procurar la recuperación de la población y su entorno a las condiciones de vida que tenían antes del desastre. (Artículo 10, LGPC, 2000).

Adicionalmente le competará a la federación: i) Realizar acciones de emergencia para dar atención a las necesidades prioritarias de la población, particularmente en materia de protección a la vida, salud, alimentación, atención medica, vestido, albergue temporal, el restablecimiento de las vías de comunicación que impliquen facilitar el movimientos de personas y bienes, incluyendo la limpieza inmediata y urgente de escombros y derrumbes en calles, caminos, carreteras y accesos, así como para la reanudación del servicio eléctrico y el abastecimiento de agua; iii) Destinar recursos del Fondo de Desastres autorizado para la atención de emergencias y desastres, en la realización de acciones preventivas, ante circunstancias que valoraran los órganos administrativos correspondientes. (Artículo 30, LGPC 2000)

En el artículo 32 de la LGPC se menciona que el presupuesto de egresos de la federación, así como las disposiciones administrativas en materia regularán los medios, formalidades y demás requisitos para acceder y hacer uso de los recursos financieros tendientes a la prevención y atención de desastres, atendiendo al principio de inmediatez. Los recursos financieros que se destinen para acciones preventivas a que hace referencia la fracción III del artículo 30, serán tomados en un 20 por ciento del remanente no ejercido del año anterior destinado a la atención de desastres.

Los recursos para la prevención mencionados en el artículo 32, serán administrados en un fideicomiso preventivo a cargo de la Secretaría de Gobernación. Además para efectos de autorización de recursos a entidades federativas, destinadas a la realización de acciones preventivas, la instancia facultada verificará el cumplimiento de los siguientes requisitos: a) la notificación técnica, de la autoridad federal respectiva, que sustente la necesidad y urgencia de la acción o acciones a realizar, y b) que las condiciones que originen la asignación de recursos, no se hayan incorporado a los programas y acciones de prevención, con cargo al presupuesto de las propias entidades federativas.

#### **6.1.1.9 Ley General de Asentamientos Humanos (LGHA).**

De acuerdo con las definiciones de la Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH), el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos es el proceso de distribución equilibrada y sustentable de la población y de las dependencias de las actividades económicas en el territorio nacional. Así mismo los centros de población son las áreas constituidas por las zonas urbanizadas, las que se reserven a su expansión y las que consideren no urbanizables por causas de preservación ecológica, prevención de riesgos y mantenimiento de las actividades productivas dentro de los límites de dichos centros; así como las que por resolución de la autoridad competente se provean para la función de los mismos. (Artículo 2 LGAH, 1993)

Las áreas no urbanizables serán las que se excluyen del desarrollo urbano por ser tierras de alto o mediano rendimiento agrícola, pecuario o forestal; bosques, demás recursos naturales en explotación, o susceptibles de serlo; zonas arqueológicas y demás bienes del patrimonio históricos, artísticos y cultural; los terrenos inundables; los que tengan riesgos previsibles de desastre o pendientes pronunciadas; los que acusen fallas o fracturas en su estratificación geológica; los que contengan galerías y túneles provenientes de labores mineras agotados o abandonados y todas aquellas áreas que

como no urbanizables sean definidas en los planes, en atención a políticas y estrategias de desarrollo urbano. (CONAGUA-Manual para el control de inundaciones-, 2011)

La ley general de asentamientos humanos (LGAH) en lo que refiere a la prevención de inundaciones, se orienta hacia el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos. Con esto se intenta determinar las provisiones, reservas, usos y destinos de áreas y predios que regulen la propiedad en los centros de población así como fijar las normas para planear y regular el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y la función, conservación y crecimiento de los centros de población.

De acuerdo con el artículo 3º el ordenamiento territorial de la ley general de asentamientos humanos y el desarrollo urbano de los centros de población, tenderá a mejorar el nivel y calidad de vida de la población urbana y rural, mediante varias estrategias de las cuales desataca en lo referente a la prevención de inundaciones, la prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales en los centros de población así como la conservación y mejoramiento del ambiente en los asentamientos humanos, la coordinación y concertación de la inversión pública y participación social en la solución de los problemas que genere la convivencia en los asentamientos humanos y el desarrollo y adecuación de la infraestructura, el equipamiento y los servicios urbanos que garanticen la seguridad, libre tránsito y accesibilidad que requieren los centros de población. (Artículo 3 LGAH, 1993)

En el artículo 6º se tiene que las atribuciones en materia de ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y de desarrollo urbano de los centros de población que tiene el Estado, serán ser ejercidas de manera concurrente por la federación, las entidades federativas y los municipios, en el ámbito de la competencia que les determina la Constitución política de México. (Artículo 6 LGAH, 1993)

En el artículo 7º se menciona que corresponde a la federación a través de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) coordinar la planeación del desarrollo regional con la participación que corresponda a los gobiernos estatales y municipales. Así como prever a nivel nacional las necesidades de reservas territoriales para el desarrollo urbano. (Artículo 7 LGAH, 1993)

En el artículo 8º se menciona sobre que, corresponde a las entidades federativas, el de legislar en materia de ordenamiento de los asentamientos humanos y de desarrollo

urbano, así como coordinarse con la federación, otras entidades federativas y con sus municipios, para el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y el desarrollo urbano de los centros de población. (Artículo 8 LGAH, 1993)

En el artículo 9º se menciona que corresponde a los municipios, el formular, aprobar y administrar los planes o programas municipales de desarrollo urbano de centros de población, así como evaluar y vigilar su cumplimiento de conformidad con la legislación local, además le corresponde regular, controlar y vigilar las reservas, usos y destinos de áreas y predios en los centros de población. (Artículo 9 LGAH, 1993)

En el artículo 19, se indica que en los planes o programas de desarrollo urbano se deberán considerar los criterios generales de regulación ecológica de los asentamientos humanos establecidos en el artículo 23 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y en las normas oficiales mexicanas en materia ecológica. (Artículo 19 LGAH, 1993)

Finalmente en el artículo 48 de la LGAH se menciona que la federación, las entidades federativas y los municipios promoverán acciones concertadas entre los sectores público, social y privado, que propicien la participación social en la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población, mediante la prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales y urbanos en los centros de población. (Artículo 48 LGAH, 1993)

Dada esta reglamentación es lamentable que innumerables asentamientos humanos, por su gran crecimiento económico y social, se hayan extendido las manchas urbanas a zonas que potencialmente deberían ser no urbanizables, presentándose grandes riesgos de afectación, como en el caso de asentarse en zonas federales, de cauces de ríos o de vasos de almacenamiento.

#### **6.1.1.10 Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.**

En esta ley se presenta como medida preventiva para mitigar las inundaciones, el ordenamiento ecológico del territorio, y según el artículo 5º de ésta ley donde se menciona que son facultades de la federación, la formulación y conducción de la política ambiental nacional. En los artículos 5º, 7º y 8º se establece de igual manera que la facultad de la federación, entidades federativas y municipios respectivamente, son la adecuada formulación, aplicación y evaluación de los programas de ordenamiento ecológico del

territorio nacional, además de la regulación del aprovechamiento sustentable, la protección y la preservación de las aguas nacionales, la biodiversidad, la fauna y los demás recursos naturales de su competencia. (LGEEPA, 1988)

La definición de ordenamiento ecológico proviene de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), que lo considera como “ Un instrumento de política ambiental cuyo objetivo es regular o inducir el uso de suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias del territorio y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos”. (Artículo 3, LGEEPA 1988)

#### **6.1.1.11 Ley de Aguas Nacionales. (LAN)**

La ley de Aguas Nacionales, en su artículo 9, señala que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es un órgano administrativo desconcentrado de la SEMARNAT, que se regula conforme a las disposiciones de esta ley y sus reglamentos, de la Ley Orgánica de la Administración Pública y de su reglamento interior. Las atribuciones, funciones y actividades específicas en materia operativa, ejecutiva, administrativa y jurídica, relativas al ámbito federal en materia de aguas nacionales y su gestión, se realizarán a través de los organismos de cuenca, con las salvedades asentadas en la citada ley, dentro de sus atribuciones en la fracción XLIII se indica el realizar las declaratorias de clasificación de zonas de alto riesgo por inundación y elaborar los atlas de riesgos conducentes. (Artículo 9 fracción XLII, LAN 1992).

En el artículo 12 BIS 6 se menciona que los organismos de conformidad con los lineamientos que expida la CONAGUA, ejercerán de su ámbito territorial de competencia el fomentar y apoyar el desarrollo de sistemas de control de avenidas y protección contra inundaciones. (Artículo 12 BIS 6, LAN 1992).

La CONAGUA, es la responsable de realizar los proyectos de delimitación y demarcaciones de zonas federales, de acuerdo al Artículo 3º, de la LAN en el cual se establece que: la delimitación de cauce y zona federal se entiende como los trabajos y estudios topográficos, batimétricos, fotogramétricos, hidrológicos e hidráulicos, necesarios para la determinación de los límites del cauce y la zona federal; también se menciona que una ribera o zona federal, se entiende como las fajas de diez metros de

anchura contiguas al cauce de las corrientes o al vaso de los depósitos de propiedad nacional, medidas horizontalmente a partir del nivel de aguas máximas ordinarias. La amplitud de la ribera o zona federal será de cinco metros en los cauces con una anchura no mayor de cinco metros. El nivel de aguas máximas ordinarias se calculará a partir de la creciente máxima ordinaria que será determinada por la CONAGUA o por el Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, de acuerdo con lo dispuesto en los reglamentos de esta ley. En los ríos, estas fajas se delimitarán a partir de cien metros río arriba, contados desde la desembocadura de éstos en el mar. En los cauces con anchura no mayor de cinco metros, el nivel de aguas máximas ordinarias se calculará a partir de la media de los gastos máximos anuales producidos durante diez años consecutivos. Estas fajas se delimitarán a partir de cien metros río arriba contados desde la desembocadura de éstos en el mar. En los orígenes de cualquier corriente, se considera como cauce propiamente definido, el escurrimiento que se concentre hacia una depresión topográfica y forme una cárcava o canal, como resultado de la acción de aguas fluyendo sobre el terreno. La magnitud de la cárcava o cauce incipiente deberá ser de cuando menos 2.0 metros de ancho por 0.75 metros de profundidad. (Artículo 3, LAN 1992).

En el artículo 83 se establece que la CONAGUA, a través de los Organismos de Cuenca, en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, o en concertación con personas físicas o morales, deberá construir y operar, según sea el caso, las obras para el control de avenidas y protección de zonas inundables, así como caminos y obras complementarias que hagan posible el mejor aprovechamiento de las tierras y la protección a centros de población, industriales y, en general de las vidas de las personas y de sus bienes, conforme a las disposiciones del Título Octavo. La CONAGUA en términos del reglamento, y con el apoyo de los Organismos de Cuenca, clasificará las zonas en atención a sus riesgos de posible inundación, emitirá las normas y recomendaciones necesarias, establecerá las medidas de operación, control y seguimiento y aplicará los fondos de contingencia que se integren al efecto. Además los Organismos de Cuenca apoyarán a la CONAGUA, de conformidad con las leyes en la materia, para promover, en su caso, en coordinación con las autoridades competentes, el establecimiento de seguros contra daños por inundaciones en zonas de alto riesgo. (Artículo 83, LAN 1992).

Artículo 84. Se tiene que la CONAGUA determinará la operación de la infraestructura hidráulica para el control de avenidas y tomará las medidas necesarias para dar seguimiento a fenómenos climatológicos, extremos. Promoviendo o realizando acciones preventivas que se requieran; asimismo, realizará las acciones necesarias que al efecto acuerde su Consejo Técnico para atender las zonas de emergencia hidráulica o afectadas por fenómenos climatológicos extremos, en coordinación con las autoridades competentes. (Artículo 84, LAN 1992).

En el artículo 96 BIS 2 se consideran como obras públicas necesarias que competen al ejecutivo Federal a través del la CONAGUA, las que: controlen y sirvan para la defensa y protección de las aguas nacionales, así como aquellas que sean necesarias para prevenir inundaciones, sequias y otras situaciones excepcionales que afecten a los bienes de dominio público hidráulico; sin perjuicio de las competencias de los gobiernos estatales o municipales. (Artículo 96 BIS 2, LAN 1992).

En el artículo 114 se menciona que: cuando por causas naturales ocurra un cambio definitivo en el curso de una corriente propiedad de la nación, ésta adquirirá por ese solo hecho la propiedad del nuevo cauce y su zona federal. (Artículo 114, LAN 1992).

En el artículo 115 se dice que cuando por causas naturales ocurra un cambio definitivo en el curso de una corriente de propiedad nacional, los propietarios afectados por el cambio del cauce tendrán el derecho de recibir, en sustitución, la parte proporcional de la superficie que quede disponible fuera de la ribera o zona federal, tomando en cuenta la extensión de tierra en que hubieran sido afectados. (Artículo 115, LAN 1992).

En el artículo 116, de igual manera se menciona que los terrenos ganados por medios artificiales al encauzar una corriente, pasaran al dominio público de la federación. Los terrenos descubiertos al limitar o desecar parcialmente o totalmente un vaso de propiedad nacional, seguirán en el dominio público de la federación. Las obras de encauzamiento o limitación se considerarán como parte integrante de los cauces y vasos correspondientes y de la zona federal y de la zona de protección respectiva, por lo que estarán sujetas al dominio público de la Federación. (Artículo 116, LAN 1992).

En el artículo 117, donde dice que el ejecutivo federal por sí solo o a través de la CONAGUA podrá reducir o suprimir mediante declaratoria la zona federal de corrientes, lagos y lagunas de propiedad nacional, así como la zona federal de la infraestructura

hidráulica, en las porciones comprendidas dentro del perímetro de las poblaciones. (Artículo 117, LAN 1992).

Artículo 113 se menciona que la administración de las obras de infraestructura hidráulica financiadas por el gobierno federal, como presas, diques, vasos, canales, drenes, bordos, zanjas, acueductos, y demás construidas para explotación, uso, aprovechamiento, control de inundaciones y manejo de las aguas nacionales, con los terrenos que ocupen y con las zonas de protección, queda a cargo de la CONAGUA. (Artículo 113, LAN 1992).

Referente a la clasificación de zonas con riesgo, actualmente varios organismos de cuenca y direcciones locales, realizan ésta actividad cuando los gobiernos estatales o municipales, solicitan dicha clasificación para predios en los que se pretende realizar obras, se realizan trabajos topográficos, hidráulicos e hidrológicos, y se entregan los resultados incluyendo recomendaciones.

Resulta importante aclarar que la clasificación de zonas de riesgo que se lleva a cabo por solicitud, es complementaria al compendio en que cada Organismo de Cuenca identifique los asentamientos humanos ubicados en zonas de riesgo en cuencas federales delimitadas. La identificación del compendio de las zonas de riesgo es información básica para el desarrollo de los programas de atención de emergencias en casos de inundaciones.

Otro elemento relevante es en cuanto a la limpieza de cauces de ríos, arroyos y barrancas, donde no debe permitirse el desarrollo urbano, en laderas con fuerte pendiente, ya que al instalarse los asentamientos humanos en estas zonas se propicia la deforestación, así como la inestabilidad de taludes, además el suministro de servicios municipales se dificulta, y por ello frecuentemente las barrancas y cauces de los ríos son utilizados como tiraderos de basura, lo que constituyen focos de contaminación, además al presentarse escurrimientos, se arrastra la basura aguas abajo.

Finalmente, para el adecuado mantenimiento y conservación de infraestructura, además de la programación y presupuesto, resulta indispensable la asignación de recursos financieros. De lo contrario, de ocurrir una falla por falta de conservación, existe el riesgo potencial de un desastre que indudablemente para su atención requerirá de un presupuesto mayor e inclusive se corre el riesgo de que la infraestructura dañada tenga que ponerse fuera de servicio.

#### **6.1.1.12 Leyes estatales de desarrollo urbano y de asentamientos humanos.**

El análisis de estas leyes se toma del manual para el control de inundaciones de donde se destacan los siguientes aspectos. (CONAGUA 2011,-Manual para el Control de Inundaciones-)

- 1) Las leyes de los estados de Sonora, Quintana Roo y Oaxaca no mencionan el tema de riesgos ni de zonas de riesgo.

El resto de las leyes tiene los siguientes aspectos comunes.

- 2) A los municipios les corresponde establecer, en coordinación con el estado, los mecanismos que permitan prevenir desastres urbanos, a través de la regulación del uso del suelo en los centros de población y evitar el establecimiento de asentamientos humanos en zonas de alto riesgo, en derechos de vía, en zonas de salvaguarda y de desarrollo controlado, contiguas a industrias que realicen actividades altamente riesgosas.
- 3) Los programas municipales de Desarrollo urbano deberán ser congruentes con el Plan Estatal de desarrollo, y deberán contener por lo menos la propuesta de las áreas de crecimiento de los centros de población.
- 4) A los municipios les corresponde formular, aprobar y administrar la zonificación de los centros de población ubicados en su territorio.
- 5) La zonificación debe establecerse en los planes o programas de desarrollo urbano respectivos, en la que se determinaran:
  - i. Las áreas que integran y delimitan los centros de población.
  - ii. Los aprovechamientos predominantes en las distintas zonas de los centros de población.
  - iii. Las densidades de población y de construcción.
  - iv. Las medidas para la protección de los derechos de vía y zonas de restricción de inmuebles de propiedad pública.
  - v. Las zonas de conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población.

- vi. Las reservas para la expansión de los centros de población.
- 6) Para efectos de ordenar y regular los asentamientos humanos en el territorio estatal y en los centros de población, los planes de desarrollo urbano zonificarán el suelo en:
- i. Áreas de aplicación de políticas de ordenamiento y regulación del territorio.
  - ii. Áreas urbanas, urbanizables y no urbanizables;
  - iii. Áreas de provisiones, reservas, usos y destinos.
- 7) Las áreas no urbanizables serán las que se excluyen del desarrollo urbano por ser tierras de alto o mediano rendimiento agrícola, pecuario o forestal; bosques. Demás recursos naturales en explotación o susceptibles de serlo: zonas arqueológicas y demás bienes del patrimonio históricos, artísticos y cultural; los terrenos inundables; los que tengan riesgos previsibles de desastre, pendientes pronunciadas y todas aquellas áreas que como no urbanizables sean definidas en los planes, en atención a políticas y estrategias de desarrollo urbano.
- 8) Se consideran zonas destinadas a la conservación:
- i. Las que por sus características naturales cuenten con bosques, praderas, mantos acuíferos y otros elementos que condicionen el equilibrio ecológico de su entorno.
  - ii. Las áreas abiertas, cerros, colinas y elevaciones o depresiones orográficas que constituyen elementos naturales del territorio del estado.
  - iii. Las áreas cuyo subsuelo presente riesgos geológicos, sean inestables o se localicen en partes bajas con problemas de drenaje y riesgos de inundación.
  - iv. Las acciones de conservación y mejoramiento de los centros de población, prevista en los planes de desarrollo urbano, establecerán disposiciones para la protección ecológica y la prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales y urbanas.
- 9) Los planes de desarrollo urbano y ordenamiento territorial de los centros de población tienen por objeto ordenar y regular el proceso de desarrollo urbano de los centros de población; establecer las bases para las acciones de mejoramiento,

conservación y crecimiento de éstos y definir los usos y destinos del suelo, así como las áreas destinadas a su crecimiento, con la finalidad de lograr el desarrollo sustentable y mejorar el nivel de vida de la población. Dichos planes, deberán ser congruentes en el programa municipal de desarrollo urbano correspondientes y contener, por lo menos lo siguiente:

- i. Evitar los asentamientos humanos en las áreas de mayor vulnerabilidad, en las áreas riesgosas y en las áreas de conservación e incluir criterios de protección civil destacando la constante prevención mitigación y la variable riesgo-vulnerabilidad.
- ii. El ordenamiento del territorio, en donde se incluirá la clasificación del suelo, así como los polígonos que delimitan el suelo urbano y el de conservación, las características que identifican las diversas áreas y las normas de ordenamiento, la estructura propuesta del suelo urbano y de conservación, y las zonas de alto riesgo geológico, hidrometeorológico, físico-químico, sanitario y socio-urbano.
- iii. Las acciones necesarias para mantener el equilibrio ecológico, el mejoramiento del medio ambiente y la reducción de la contaminación del agua, del suelo y de la atmosfera.
- iv. La prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales y urbanas en los centros de población.
- v. La regulación ambiental de los asentamientos humanos y el establecimiento de medidas y acciones que mitiguen los riesgos urbanos de los centros de población.
- vi. La propuesta de medidas y acciones que mitiguen los riesgos urbanos.
- vii. La atención de emergencias y contingencias urbanas, la prevención de desastres urbanos, la protección al ambiente, la preservación del equilibrio ecológico.
- viii. El diagnostico y las proyecciones a futuro del análisis de riesgos urbanos en los centros de población.
- ix. La regulación de la tenencia de la tierra.
- x. Las previsiones y proyecciones futuras sobre el crecimiento y distribución de la población, la distribución de las actividades económicas, desarrollo

de las comunicaciones y transporte, las condiciones ambientales y de riesgo en la entidad.

- xi. La prohibición de establecer asentamientos humanos irregulares, fraccionamientos y condominios al margen de la ley.
- xii. La prohibición del impulso y desarrollo urbano y rural de los asentamientos humanos en zonas vulnerables a las inundaciones.

10) Los programas deberán adecuarse a los requerimientos que se presenten en una emergencia o contingencia urbana, de conformidad con las medidas de seguridad que en materia de protección civil determinen las disposiciones aplicables, así mismo, se identificarán los lugares no aptos para el desarrollo urbano que por su naturaleza representen riesgo para los asentamientos humanos.

11) Los gobiernos estatales y municipales, promoverán la participación social, con la finalidad de lograr el ordenamiento territorial y desarrollo urbano, se traduzca en el mejoramiento de la calidad de vida de la población.

12) Se deberá conceder acción pública para la adopción de medidas de seguridad que prevengan o pongan fin a los riesgos y daños, en materia de regulación del uso del suelo, para denunciar ante las autoridades competentes, la adopción de medidas de seguridad que prevengan o pongan fin a los riesgos y daños a personas y bienes.

#### **6.1.1.13 Leyes estatales de protección civil.**

Se toma el análisis de las 31 leyes de protección civil y el Distrito federal del manual de control de inundaciones donde se encontró lo siguiente: (CONAGUA 2011,-Manual para el Control de Inundaciones-)

- 1) La ley de protección civil del estado de Yucatán cuenta con 144 artículos, siendo la más larga, mientras que la del estado de Morelos es la más corta con tan sólo 44 artículos, seguida de la del estado de México con 53 artículos.

- 2) Prácticamente todos hacen una clasificación de los riesgos que pueden afectar al estado y además se casi todos los estados clasifican regularmente en desastres por fenómenos naturales y desastres por actividades humanas. Sólo el estado de Hidalgo induce la categoría de desastres tecnológicos.
- 3) En todos los casos, el responsable del primer contacto con la emergencia es el municipio.
- 4) En la Ley de Protección Civil se propone realizar una declaratoria de emergencia con el propósito de aplicar las medidas de apoyo para esas circunstancias. En algunas ocasiones no se le llama emergencias sino alerta o algún otro nombre, en otras ocasiones se denominan declaratorias de desastre que indican un nivel mayor de intensidad.
- 5) Aunque algunas de las leyes mencionan los albergues, ninguna llega a plantear la ubicación de los mismos.
- 6) La mayoría de las leyes establecen la posibilidad y en ocasiones la obligación de realizar simulacros, sin embargo no hay una sola ley que especifique que se deba realizar un simulacro específico en el caso de inundaciones.
- 7) La ley de protección civil del estado de Durango, propone que la edad mínima para el responsable de protección civil en el estado sea de 21 años; y para agravar, deberá tener experiencia en el área.
- 8) El estado de Jalisco propone el cobro por la prestación de los servicios de protección civil, siendo que estos servicios son asistenciales a personas que en ocasiones no pueden responder por el estado de salud o de shock en el que se encuentran. Será interesante saber si en la atención a una emergencia, se cobraría el servicio de manera selectiva o sólo se atendería a lo que puedan pagarlo.
- 9) La ley de Quintana Roo propone la contratación de seguros para la infraestructura contra los efectos de desastres, principalmente desastres naturales. Estos seguros

serían complementarios a los que pudieran existir para proteger la infraestructura de algunos sectores como la CONAGUA, la Comisión Federal de Electricidad, etc.

#### **6.1.1.14 Competencias de colaboración.**

- Secretaría de Desarrollo Social. (SEDESOL). La vinculación con el territorio es fundamental, por ello el sector asentamientos humanos es imprescindible, que a través de la SEDESOL, actúa en la planificación de los asentamientos humanos y el desarrollo urbano. Esta secretaría debe reimpulsar los aspectos de prevención y atención de emergencias en los palanes urbanos, al mismo tiempo actuar con rigurosidad en la aplicación y control de normas de construcción de infraestructura y equipamiento en los poblados y ciudades. Los planes urbanos de las ciudades son una herramienta básica para la prevención, que vincula los usos del suelo con los aspectos ambientales y ecológicos, así como con la vivienda, que son los factores sensibles y fuentes de vulnerabilidad en los asentamientos humanos. (Naciones Unidas, 2011).

Esta secretaría tiene la responsabilidad de aplicar la ley general de asentamientos humanos, mediante la cual se impulsa y regula el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos, tiende a mejorar el nivel de vida de la población, mediante, entre otras cosas, la prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales y urbanas en los centros de población.

Esta ley es uno de los principales sustentos legales para la elaboración de los planes y programas de protección civil, principalmente retoma el tema de la prevención mediante el tratamiento de aspectos relacionados con la protección del medio ambiente y con una política de manejo de esta problemática en los tres órdenes de gobierno (Federal, estatal y municipal).

Dentro de este sector se encuentra lo relativo a la construcción de vivienda y equipamientos públicos, privados y sociales, lo cuales, son normados por los Reglamentos de Construcción.

- Secretaría de Salud (SALUD). Tiene un papel fundamental frente a los desastres, tanto desde la prevención de enfermedades y problemas de salud pública en general, como en los servicios que debe prestar para el tratamiento y recuperación de enfermedades y/o para evitar epidemias. Ocurrido un desastre, la salud es un factor primordial de atención, por lo cual la Secretaría de Salud debe ser un ente de impulso para que la coordinación pública funcione antes como durante y después del fenómeno. (Naciones Unidas, 2011).

Es importante la vinculación con los organismos de Naciones Unidas dedicados a atender los asuntos de salud, sobre todo con la organización panamericana de salud, que tiene estudios y protocolos para enfrentar desastres.

La Ley General de Salud establece un amplio campo de acción en prevención y atención de desastres. En el ámbito de la prevención, la Secretaría de Salud debe realizar campañas de prevención de enfermedades, de posibles epidemias, y con relación a los problemas hidrometeorológico debe mantener campañas permanentes sobre enfermedades derivadas de contaminación de aguas residuales o estancadas, especialmente el dengue. Esto es más indispensable luego de una inundación.

Otra acción importante y necesaria es la capacitación de la comunidad en medidas de prevención sobre el manejo de agua y alimentos, sobre todo en áreas rurales o ciudades pequeñas con limitada infraestructura y población en situación de pobreza.

Adicionalmente, la capacitación de grupos especiales para darle continuidad a las labores preventivas, así como a la atención de las personas si ocurriese un fenómeno perturbador. La atención a la salud de las personas cuando ocurre un desastre es prioritaria, para lo cual se debe contar con los equipamientos y recursos técnicos para enfrentar la situación. Por estas razones es que el papel de la Secretaría de Salud, de sus representantes locales en los consejos estatales y/o municipales, es fundamental antes, durante y después de un fenómeno de desastre.

- Secretaria de Defensa Nacional (SEDENA). El estado mexicano ha contado con el apoyo del ejército y la marina para atender los desastres naturales. La experiencia de militares y marinos ha permitido contar con recursos humanos y materiales para estar presente en emergencias y desastres que se han presentado en el país. (Naciones Unidas, 2011).

A través de la Secretaria de la Defensa Nacional en conformidad con lo establecido en el Artículo 1o (donde se establecen las misiones generales del Ejército y Fuerza Aérea Mexicano), Fracción V se menciona que al Ejército y Fuerza Aérea Mexicano, corresponden actividades para prestar ayuda en el mantenimiento del orden, auxilio de personas, sus bienes y la reconstrucción de zonas afectas en caso de desastre. Además en el artículo 38 de la ley general de protección civil se menciona que: Las fuerzas armadas participaran en la atención de situaciones extraordinarias que requieran acciones inmediatas de protección civil dentro de cualquiera de los niveles de la estructura institucional, municipal o estatal, coordinándose con las mismas para tal efecto, realizando las tareas que les competen aun cuando se haya declarado un estado de desastre.

El 18 de septiembre de 1965 se creó el Plan Director de Defensa Nacional No. III, del cual se desprende el anexo E con el título de Plan de Auxilio a la Población Civil en Casos de Desastre, (enfocado principalmente a desastres provocados por guerras), conocido por sus siglas DN-III-E. En el año de 1966 el ejército modificó sus planes de seguridad nacional y se incorporó como situación desastrosa para la seguridad del país los impactos en la población por diversas causas, que no necesariamente tuvieran que ver con guerras, lo que da nacimiento a los Planes de Defensa. Se ha presentado la disyuntiva de darle otro nombre, pero la Secretaria de Defensa Nacional decidió continuar designándolo como PLAN DN-III-E, debido a la identificación que bajo ésta denominación se tienen en las autoridades civiles, medios de comunicación y población en general. Este plan se aplicó por primera vez en 1966 como consecuencia del desbordamiento del Río Panuco. (Naciones Unidas, 2011)

El plan DN-III-E cuenta con tres fases que rigen la participación del personal del Ejército y Fuerza Aérea Mexicanos; siendo los siguientes.

- *Fase de Prevención.* Permite una preparación para reaccionar en forma oportuna y toma de acciones dirigidas a controlar riesgo, evitar o mitigar el impacto destructivo de los desastres sobre la vida y bienes de la población, la planta productiva, los servicios públicos y el medio ambiente al realizar las siguientes acciones: Simulacros, que sirven para verificar la organización de los equipos de trabajo y el estado del material disponible para atender una situación de emergencia. Reconocimiento para verificar el estado de las vías de comunicación, consideradas como rutas principales y alternas de evacuación. Comprobación del estado físico de las instalaciones designadas como centros de acopio, inventario de recursos, albergues y refugios temporales. Actualizar mapas de riesgo, con la finalidad de identificar las posibles afectaciones la población. Enlace con los consejos estatales y municipales del sistema de protección civil.
  
- *Alertamiento.* Se apoya a las autoridades civiles para el alertamiento de la población amenazada.
  
- *Fase de Auxilio.* Son acciones destinadas primordialmente a salvaguardar la vida de las personas, sus bienes y la planta productiva, y a preservar los servicios públicos y el medio ambiente, ante la presencia de un agente destructivo. Estas acciones son:
  - Planes de emergencia. Se ejecutan los planes específicos de emergencia y se establece el enlace con las autoridades estatales y municipales para la atención coordinada de las situaciones de emergencia.
  
  - Coordinación de la emergencia. Se apoya a los sistemas locales de protección civil en la coordinación de las acciones de auxilio a las personas afectadas, tareas de transporte y evacuación preventiva, administración y aprovisionamiento de los refugios temporales

- Evaluación de daños. Se apoya en el reconocimiento físico y el registro de daños sufridos por la población en cuanto a pérdidas de vidas humanas, así como, en la identificación de posibles riesgos.
  - Seguridad. Se coadyuva con las fuerzas de seguridad pública para preservar la actividad económica y los bienes de la población.
  - Búsqueda, salvamento y asistencia. Se apoya en la organización, coordinación y realización de las labores de búsqueda y rescate.
  - Servicios estratégicos, equipamiento y bienes. Se proporciona apoyo con equipos de transporte, de comunicación con recursos humanos para su operación de que se dispone, así como, coadyuvar en las tareas de recuperación básica de los servicios estratégicos.
  - Salud. Se apoya en la organización, coordinación y realización de las labores de salud, asistencia médica y saneamiento proporcionando los recursos humanos y materiales disponibles.
  - Aprovechamiento. Se apoya al sistema de protección civil en las acciones de distribución de bienes y productos básicos y en su caso, de la ayuda humanitaria, entre la población afectada.
- *Fase de Recuperación.* Proceso orientado a la reconstrucción y mejoramiento del sistema afectado (población y entorno), así como, a la reducción del riesgo de ocurrencia y la magnitud de los desastres futuros.

La Secretaría de Defensa Nacional no tiene funciones asignadas en esta fase, sin embargo, a petición de las autoridades civiles, se apoya principalmente en la rehabilitación de los caminos y recuperación de los servicios básicos de salud, agua y energía eléctrica.

Para especializar al personal actuante, se creó en febrero del 2000, Las Fuerzas Armadas de Apoyo para Casos de Desastre (F.A.C.D), como cuerpo permanente de la Secretaría de la Defensa Nacional, compuesto por un agrupamiento de las

armas de tierra y aire. El agrupamiento de tierra se integra por un grupo de ingenieros militares, un cuerpo de servicios, integrado por policía militar, servicios de sanidad, servicios de inteligencia, los cuales apoyados por unidades compuestas por cadetes de los últimos años de los planteles Militares, la fuerza de Tarea del Valle de México y las 4ª y 5ª brigadas de infantería ligera. EL agrupamiento aéreo la componen elementos de ala fija y ala rotativa. Todos bajo el mando director del Secretario de la Defensa. Ambos agrupamientos se traslada a cualquier parte del territorio nacional previa solicitud del mando milita. El personal, material, y equipo con que se cuenta, le permiten actuar inmediatamente desarrollando entre otras, las siguientes actividades: a) Reconocimientos aéreos y terrestres, b) elaboración de un informe sobre la situación existente en el área afectada y un análisis de control de daños, c) búsqueda, rescate y evacuación de la población en el área del desastre, d) proporcionar atención médica y odontológica, así como, distribución de alimentos, y e) en realizar trabajos de remoción de escombros y el restablecimiento de las vías de comunicación.

Actualmente la participación militar durante la aplicación del plan DN-III-E, se realiza para atender tanto fenómenos naturales como antropogénicos, siendo los principales:

Fenómenos geológicos (Volcanes y Sismos).

Hidrometeorológicos (Sistemas Invernales y Tropicales).

Fenómenos químico-tecnológicos (Incendios)

Referente a inundaciones, cada año en nuestro País, la temporada de sistemas tropicales inicia el 15 de mayo y termina el 30 de noviembre y se caracteriza por el registro de precipitación (lluvias) de diversas intensidades. Las categorías de los sistemas tropicales pueden ser (en forma progresiva): onda tropical, disturbio tropical, depresión tropical y huracán. Al presentarse un fenómeno hidrometeorológico, la Secretaria de la Defensa Nacional, por conducto del personal militar procede a aplicar el Plan DN-III-E, en coordinación con las autoridades civiles, ya sea en forma preventiva (labores de evacuación) o auxiliando a la población civil cuando los efectos del fenómeno hidrometeorológico

ya ha causado daños. Las estadísticas de la aplicación del Plan DN-III-E referente sistemas tropicales se presentan en la Tabla No 6.5 y 6.6.

Tabla 6.5. Aplicación de Plan DN-III-E (2006-2011).

Concepto	Dic.06	2007	2008	2009	2010	2011	Total
Nombre del fenómeno	0 huracanes	Huracanes Dean, Lorenzo, Felix, Henriette y Juliette.	Huracanes Norbet Y Dolly	Huracanes Andrés, Jimena y Rick	Huracanes Alex y Karl	Huracanes Jova y Rina	14 huracanes
	0 tormentas tropicales	Tormenta tropical Barbara	Tormenta tropical Julio, y depresión tropical Lowell	Depresiones tropicales No. Uno-E y Olaf.	Depresión tropical Mathew y Georgette	Tormenta tropical Arlen, Harvey y depresión tropical No.8. y 12	5 tormentas tropicales y 7 depresiones tropicales
Eventos de fuertes lluvias	0	63	546	15	125	31	780
Estados afectados por inundaciones	0	17	27	7	19	11	81

([www.sedena.gob.mx](http://www.sedena.gob.mx))

Cuando se presenta la posibilidad de desastres, como la temporada de huracanes, la Secretaria de Defensa Nacional despliega cuatro unidades llamadas agrupamientos de Ingenieros para casos de desastres, los cuales se estacionan en las ciudades de Guadalajara, Monterrey, Mérida y la ciudad de México, con equipamientos compuestos por maquinaria ligera y pesada, cocinas comunitarias y personal especializado.

Tabla 6.6. Plan DN-III-E (2006-2011).

Concepto	Dic 06	2007	2008	2009	2010	2011	Total
Personal militar	0	25,986	17,195	4,190	38,298	6,419	92,088
Personas evacuadas	0	62,351	40,332	7,121	69,596	7,022	186,422
Personas albergadas	0	38,806	9,040	7,450	29,657	2,243	87,196
Albergues	0	100	44	42	95	18	299
Consultas medicas y odontológicas	0	22,060	2,862	1,010	3,411	5,626	34,969
Raciones alimenticias	0	2,065,538	405,239	164,566	522,178	76,481	3,264,002

(www.sedena.gob.mx)

En caso de necesidad por falta de personal, el secretario general puede llamar a servicio a los miembros del Servicio Militar Nacional para lo cual durante su instrucción se le dan las bases para desempeñarse en este servicio.

- Secretaría de Marina (SEMAR). La responsabilidad de atender los asuntos de protección civil recae en la SEGOB, quien a su vez se apoya entre otras dependencias en la SEMAR dentro del marco del sistema nacional de protección civil. La SEMAR ha dispuesto la implementación y actualización permanente de los planes de auxilio a la población en cuatro diferentes niveles: Nacional, del litoral, regional y local cada uno con tres fases de aplicación: prevención, auxilio y recuperación

La fase de prevención tiene una especial importancia, ya que está encaminada a evitar o mitigar los efectos destructivos de un fenómeno perturbador. Antes de que sus efectos impacten en un área geográfica.

De acuerdo al programa de protección civil, la SEMAR elabora su plan de auxilio, considerándolo como el conjunto de acciones de respuesta para proteger a las personas de manera individual y a la sociedad, ante la amenaza ó impacto de agentes destructivos (geológico, hidrometeorológico, químico-tecnológico,

sanitario, ecológico y socio-organizativo). Su misión es auxiliar a la población en casos y zonas de emergencia ó desastre, actuando por si ó conjuntamente con las dependencias federales, estatales y municipales y los sectores privado y social, con el fin de evitar o minimizar el efecto de agentes destructivos o calamidades naturales que se presenten en contra de la población y su entorno.

Finalmente la fase de recuperación tiene por objeto restablecer los servicios básicos. Los mandos navales, coadyuvaran con las autoridades responsables de esta fase (SEGOB, SEDESOL, SHCP, SALUD, SCT, etc), empleando los medios humanos y materiales con que se cuenten.

- Secretaría de Comunicaciones y Transporte- SCT- es otra secretaria que debe invertir ampliamente, porque es la que debe asegurar las comunicaciones con las comunidades afectadas, por las diversas vías existentes: terrestre, telefónicas, radio, televisión y los actuales sistemas electrónicos. Existe la mala costumbre de que esta secretaria se hace presente una vez que ocurrió el desastre y actúa poco en el ámbito preventivo. En municipios y ciudades pequeñas los problemas de intercomunicación terrestre se presentan por daños a las vías, las cuales tenía vulnerabilidades y problemas de construcción que debieron evitarse por esta razón, la SCT debería aplicar con mayor rigurosidad la normatividad técnica para que las vías terrestres, marítimas y de comunicación en general sean hechas a prueba de fenómenos telúricos o hidrometeorológico.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.- SAGARPA- Es la entidad que debería contar con alternativas de alimentación para enfrentar fenómenos dañinos a la población; partiendo por atender a las comunidades de campesinos, ganaderos y pescadores para evitar la pérdida de sus recursos y, en su caso, para resarcirles, con brevedad, por los bienes irrecuperables. Los impactos del cambio climático se verán con mayor fuerza en las áreas productivas del país, por lo cual es necesario que desde la SAGARPA se impulsen programas preventivos al corto plazo, de tal manera que se asegure la capacidad y seguridad alimentarias del país. (Naciones Unidas, 2011)

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales –SEMARNAT- Es un organismo fundamental en la materia de prevención y control de desastres. Toda vez que los fenómenos perturbadores están vinculados a las condiciones del territorio, distribución de la biodiversidad y daños provocados a la naturaleza por malas prácticas productivas y de tecnologías contaminantes.

Los fenómenos hidrometeorológico que se están amplificando por el cambio climático, son resultado de las actividades humanas sobre la naturaleza, sobre la equivocada practica de su aprovechamientos y la falta de preservación, por ello la SEMARNAT juega un papel fundamental en la preservación del equilibrio ecológico de los ciclos ecológicos mediante la aplicación de normas y programas que orienten y controlen la acción humana. La deforestación, desertización, derrumbes, inundaciones y contaminación de recursos básicos deben encontrar en la SEMARNAT una situación solida e irrestricta en la aplicación de las normas técnicas y legales para evitar que se generen vulnerabilidades y peligros para la población y actividad humanas.

- Comisión Nacional del Agua. –CONAGUA- tiene sus responsabilidades principales en la prevención y atención de vulnerabilidades en desastres hidrometeorológico. Esto ha sido probado en los diversos problemas presentados en Chiapas, Tabasco y Veracruz, recientemente como en otros lugares del país. Dado que han presentado insuficiencias en la CONAGUA es necesario que los programas preventivos cuenten con un apoyo científico más profundo, que la realización de obras sean más eficientes y que cuente con una mayor participación de las autoridades locales, sobre todo de los municipios y de la población.

El sector cuenta con un amplio cuerpo legal, que encabeza la Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al Ambiente, que para llevar a cabo sus actividades incorpora, los temas referidos a la prevención y atención de desastres. Aun cuando la diversidad de campos que busca reglamentar esta en materia de reducción de daños al medio ambiente, que son resultado de la actividad económica en el país, su aplicación se ha orientado básicamente a controlar el problema de la contaminación atmosférica, la protección de algunas especies en peligro de extinción y la materia de residuos sólidos, entre otros; pero tiene déficits en los aspectos relacionados con la gestión del agua, el manejo adecuado de las

cuencas hidrológicas, la contaminación del suelo, las acciones para detener el proceso de desertificación de algunas zonas, el control en los bosques para eliminar la tala ilegal y la rigurosidad para evitar el deterioro de los ciclos ecológicos.

Todos los aspectos mencionados inciden directamente en los problemas hidrometeorológico que se presentan en el país, pero el sector descarga su responsabilidad mayormente en el subsector agua, que está regulada por la Ley de Aguas Nacionales y gestionada por la Comisión Nacional del Agua, CONAGUA.

La Ley de Aguas Nacionales, regula este recurso vital para los mexicanos y en cuanto al tema de la prevención y control de desastres fomenta y apoya el desarrollo de los sistemas de control de avenidas y protección contra inundaciones, actividad que el sector hidráulico lleva a cabo en coordinación con los gobiernos estatales y municipales. Esta Ley cuenta con su reglamento que obliga a la CONAGUA a efectuar estudios adecuados para clasificar las zonas vulnerables y de posibles inundaciones asociadas a diversos factores. Al mismo tiempo, la CONAGUA es la responsable de establecer zonas restringidas y, en su caso, generar normas para la ocupación de estas zonas.

Un aspecto importante del sector medio ambiente, en particular de la CONAGUA, es la gestión de las cuencas hidrográficas del país, a partir de integrar los Consejos de Cuencas, en los cuales deben participar las autoridades estatales y municipales que estén territorialmente involucradas. Aunque están integrados estos consejos, en los grandes problemas no aparecen con relevancia y es la Comisión Nacional del Agua la que opera directamente.

Para contribuir a mitigar los riesgos hidrometeorológico es importante la planificación regional y subregional con base en las cuencas y las subcuencas, pues a partir de ellas se conoce el comportamiento de las aguas superficiales y los aspectos climáticos, que concurren en las posibles inundaciones, o la necesidad de manipular los niveles y flujos de las presas. Los desastres ocurridos en el sur y norte del país muestran que falta mucho en esta materia de planificación y cultura

de manejo de cuencas, así como de la participación de los actores locales, públicos, sociales y privados.

- Sistema Nacional de Protección Civil. –SINAPROC- El propósito del SINAPROC es promover la educación para la autoprotección que convoque y sume el interés de la población en general, así como su participación individual y colectiva. Con la finalidad de impulsar la educación en la prevención y en la protección civil, las dependencias e instituciones del sector público, con la participación de organizaciones e instituciones de los sectores social, privado y académico, promoverán: a) la realización de eventos en los ordenes federal, estatal y municipal, en los que se proporcionen los conocimientos básicos que permitan el aprendizaje de medidas de autoprotección dirigidas a la mayor cantidad posible de personas; b) Realizar, con participación y cooperación de los distintos medios de difusión masiva, de campañas de divulgación sobre temas de protección civil, medidas de prevención, autocuidado y autoprotección, que contribuyan en el avance de la educación de la protección civil, así como a fortalecer la disposición de la sociedad para participar activamente en estas cuestiones, c) La construcción de los acervos de información técnica y científica sobre fenómenos perturbadores que afecten o puedan afectar a la población, y que permitan a ésta un conocimiento más concreto y profundo, así como la forma en que habrá de enfrentarlos en caso de ser necesario, d) el desarrollo y aplicación de medidas, programas e instrumentos económicos para fomentar, inducir e impulsar la inversión y participación de los sectores social y privado en la promoción de acciones de prevención, incluyendo los mecanismos normativos y administrativos, e) Llevar a cabo proyectos, los estudios y las inversiones necesarias para ampliar y modernizar la cobertura de los sistemas de medición de los distintos fenómenos naturales y antropogénicos que provoquen efectos perturbadores. Establecer líneas de acción y mecanismos de información y telecomunicaciones especialmente a nivel municipal.

El funcionamiento del Sistema Nacional de Protección Civil, en una emergencia, tiene por objeto inmediato y meta superior el auxilio a la población. Por lo que todas las instancias, canales y estructuras de coordinación de los tres niveles de

gobierno, deben converger para dar cumplimiento a la Ley General de Protección Civil y las demás disposiciones legales y administrativas aplicables. (Ver Sección

Conforme a este ordenamiento de coordinación interinstitucional, la primera autoridad que tenga conocimiento de toda emergencia debe inmediatamente prestar ayuda e informar a las instancias especializadas de protección civil. Por ello, la primera instancia especializada es la autoridad municipal o delegacional, y, si su capacidad de respuesta es superada, entonces la instancia estatal debe encargarse de prestar ayuda. Sucesivamente, las instancias federales prestarán ayuda cuando la respuesta estatal resulte insuficiente y así sea solicitado por la autoridad estatal.

Para el funcionamiento y operación del SINAPROC, la Secretaría de Gobernación cuenta con la Coordinación General de Protección Civil, integrada por la Dirección General de Protección Civil, la Dirección General del Fondo de Desastres Naturales y el Centro Nacional de Prevención de Desastres.

Adicionalmente, la Secretaría de Gobernación suma y coordina sus esfuerzos con los de los 31 gobiernos estatales y el Distrito Federal, los cuales cuentan con sus respectivos Sistemas Estatales de Protección Civil.

- Secretaría de Hacienda y Crédito Público -SHCP- actúa en la propuesta de presupuesto para las tareas del Sistema de Protección Civil en sus diversos instrumentos, requiere tener una presencia mayor que la actual en el tema, tanto para asegurar que la propuesta de presupuesto, que se envía anualmente al congreso de la unión, se vaya incrementando, especialmente para el Fondo Nacional de Desastres Naturales (FONDEN), de tal manera que responda al incremento de fenómenos que provocan desastres en el país.

Al mismo tiempo, es importante que la SHCP contribuya a mantener el patrimonio de las personas. Actualmente los productores y agentes de servicios que son de pequeño capital no cuentan con mecanismos para aseguramiento, debido a lo alto del precio de los seguros y la falta de apoyo del Estado, por ello se debería formar

un Fondo para atender esta necesidad, ya que cada temporada de lluvia pierden sus bienes muchas familias y entes productivos del país.

- CENAPRED. (Centro Nacional de Prevención de Desastres). En el marco del SINAPROC, su principal objetivo es: “Promover la aplicación de las tecnologías para la prevención y mitigación de desastres; impartir capacitación profesional y técnica sobre la materia y difundir medidas de preparación y autoprotección entre la sociedad mexicana expuesta a la contingencia de un desastre”. La responsabilidad principal del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) consiste en apoyar al Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) en los requerimientos técnicos que su operación demanda.

Realiza actividades de investigación, capacitación, instrumentación y difusión acerca de fenómenos naturales y antropogenéticos que pueden originar situaciones de desastre, así como acciones para reducir y mitigar los efectos negativos de tales fenómenos, para coadyuvar a una mejor preparación de la población para enfrentarlos.

Para el estudio y acciones de prevención el CENAPRED cuenta con cuatro subdirecciones enfocadas a cada una a un tipo de riesgo derivado de fenómenos naturales los cuales son la subdirección de riesgos sísmicos, volcánicos, de origen químico y los hidrometeorológicos.

La subdirección de riesgos hidrometeorológico tiene como misión realizar y coordinar investigaciones sobre origen, comportamiento y consecuencias de los fenómenos hidrometeorológico para la prevención y alertamente de posibles desastres, así como emitir recomendaciones, innovar tecnológica y fortalecer la cultura de protección.

Los objetivos de dicha subdirección son: 1) establecer criterios técnicos que apoyen a las autoridades de protección civil en la toma de decisiones con fines de alertamente ante fenómenos hidrometeorológicos extremos; 2) Promover la realización de estudios en la República Mexicana para prevenir desastres provocados por fenómenos hidrometeorológicos y 3) Fomentar la cultura de

prevención de desastres por fenómenos hidrometeorológicos. Sus líneas de investigación son: 1) Análisis de emergencias y desastres de origen hidrometeorológico; 2) Desarrollo e implementación de metodologías para la elaboración de mapas de riesgo; 3) Configuración de redes de alerta hidrometeorológica; y 4) Mejorar la comprensión de los fenómenos de origen hidrometeorológico en México.

### **6.1.2 Pronóstico de ríos y sistemas de alerta temprana.**

La variación del nivel o del caudal de un río depende de las características climatológicas y físicas de la cuenca hidrográfica. Las distribuciones temporal y espacial de la precipitación son las principales condiciones climatológicas. Éstas sólo pueden ser previstas con antelación de pocos días u horas, lo que no permite la previsión de los niveles de crecida con gran anticipación. El tiempo máximo posible de previsión de la crecida, a partir de la ocurrencia de la precipitación, es limitado por el tiempo medio de escurrimiento del agua en la cuenca hasta la sección de interés. (Tucci, 2007)

La previsión de los niveles en un río puede ser realizado a corto plazo o a largo plazo. La previsión de crecidas a corto plazo o en tiempo actual, también llamada de pronóstico en tiempo real, permite establecer el nivel y su tiempo de ocurrencia para la sección de un río con una anticipación que depende del pronóstico de la precipitación y de los desplazamientos de la crecida en la cuenca. Este tipo de previsión es utilizado para alertar a la población ribereña y organismos operadores de obras hidráulicas.

La previsión de crecida a largo plazo cuantifica las probabilidades de ocurrencia de la inundación en términos estadísticos, sin diagnosticar cuándo ocurrirá la crecida. La previsión a largo plazo se basa en la estadística de ocurrencia de niveles en el pasado y permite establecer los niveles de crecida para algunos riesgos elegidos.

Para efectuar el pronóstico de crecida a corto plazo son necesarios: sistemas de colecta y de transmisión de datos y una metodología de estimación. Los sistemas son utilizados para transmitir los datos de precipitación, nivel y caudal durante la ocurrencia del evento. El proceso de estimación es realizando a través del uso de modelos matemáticos que presentan el comportamiento de las distintas fases del ciclo hidrológico. Cuando la crecida alcanza un área habitada es necesario complementar con un plan de protección civil, y en el caso de la operación de presas es necesario un sistema de emergencia y operación.

De acuerdo con el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central CEPREDENAC, se entiende por alerta temprana, a la situación, a través de instituciones, organizaciones e individuos responsables y previamente identificados, que permite la provisión de información adecuada, precisa y efectiva previa a la manifestación de un fenómeno peligroso en un área y tiempo determinado, con el fin de que los organismos operadores de emergencia activen procedimientos de acción preestablecidos y la población tome precauciones específicas para evitar o reducir el riesgo al cual está sujeto.(OEA,2010)

El sistema de pronóstico y alerta temprana tiene la finalidad de anticiparse a la ocurrencia de la inundación, avisando a la población y tomando las medidas necesarias para reducir los perjuicios resultantes de la inundación.

La alerta temprana es uno de los principales elementos en la reducción del riesgo de desastres. La misma evita la pérdida de vidas y disminuye los impactos económicos y materiales de las inundaciones. Para ser eficaces, los sistemas de alerta temprana deben incluir activamente a las comunidades en riesgo, facilitar la educación y la concientización del público sobre tales riesgos, desplegar eficazmente mensajes y alertas y garantizar una preparación constante.(ONU,EWC III, 2006)

Un sistema completo y eficaz de alerta temprana comprende cuatro elementos interrelacionados, que van desde el conocimiento de los riesgos y las vulnerabilidades hasta la preparación y capacidad de respuesta. Dichos elementos son los siguientes: (ONU,EWC III, 2006)

- *Conocimiento de los riesgos.* Los riesgos se deben a una combinación de amenazas y vulnerabilidades en un lugar determinado. La evaluación de los riesgos requiere de la recopilación y de análisis sistemáticos de información, debe tener el carácter dinámico de las amenazas y vulnerabilidades que generan procesos tales como la urbanización, cambios en el uso de suelo, la degradación del medio ambiente y el cambio climático.
- *Servicio de seguimiento y alerta.* Los servicios de alerta constituyen el componente fundamental del sistema. Es necesario contar con una base científica sólida para prever y prevenir amenazas y con un sistema fiable de pronóstico y alerta que funcione las 24 horas del día. El seguimiento de los parámetros y los aspectos que

antecedieron las amenazas es indispensable para elaborar alertas precisas y oportunas.

- *Difusión y comunicación.* Las alertas deben llegar a las personas en peligro. Para generar respuestas adecuadas que ayuden a salvar vidas y medios de sustento se requieren de mensajes claros que ofrezcan información sencilla y útil. El empleo de múltiples canales de comunicación es indispensable para garantizar que la alerta llegue al mayor número posible de personas, para evitar que cualquiera de los canales falle y para reforzar el mensaje de alerta.
- *Capacidad de respuesta.* Es de suma importancia que las comunidades comprendan el significado del riesgo que corren, que respeten el servicio de alerta y sepan cómo reaccionar. Al respecto, los programas de educación y preparación desempeñan un papel fundamental. Asimismo, es indispensable que existan planes de gestión de desastres que hayan sido objeto de prácticas y sometidos a prueba. La población debe estar muy bien informada sobre las opciones en cuanto a una conducta segura, las rutas de escape existentes y la mejor forma de evitar daños y pérdidas de bienes.

Al momento de diseñar y mantener sistemas eficaces de alerta temprana, es necesario tomar en cuenta una serie de aspectos de índole general como:

- *La gobernabilidad y arreglos institucionales eficaces.* Una gobernabilidad y acuerdos institucionales muy bien definidos contribuyen al exitoso desarrollo y a la sostenibilidad de sistemas sólidos de alerta temprana.
- *Enfoque de amenazas múltiples.* En la medida de lo posible, los sistemas de alerta temprana deberán establecer vínculos entre todos los sistemas para diversas amenazas.
- *Participación de las comunidades locales.* Los sistemas de alerta centrados en la población se basan en la participación directa de quienes tiene más probabilidades de estar expuestos a las amenazas. Un enfoque local para la alerta temprana, con la activa participación de las comunidades locales permite desarrollar una respuesta multidimensional ante los problemas y necesidades existentes.

- *Consideración de la perspectiva de género y la diversidad cultural.* Para desarrollar sistemas de alerta temprana es indispensable comprender que cada grupo tienen vulnerabilidades distintas en función de su cultura, género y otras características que inciden en su capacidad de prepararse eficazmente frente a los desastres, prevenirlos y responder ante los mismos.

Hoy en día se reconocen dos tipos de sistemas de alerta temprana ante inundaciones. Los operados por los servicios hidrometeorológicos nacionales, conocidos como SATIs centralizados y los operados por las comunidades, conocidos como SATIs comunitarios.

### **6.1.3 Sistemas de alerta hidrometeorológica en México**

Los sistemas de alerta temprana tienen como objetivo informar a las comunidades expuestas a daños por fenómenos hidrometeorológicos, para que con anticipación a la ocurrencia de sus efectos más severos las personas se alejen de las zonas de peligro y se emprendan acciones para reducir las pérdidas materiales que pudiera provocar. (Fuentes, 2002)

Los sistemas de alerta temprana están formados por varias partes que se complementan entre sí, tales como un *plan operativo contra inundaciones*, un *subsistema de medición y proceso hidrológico* y un *subsistema de información* (Ver Figura 6.3). El plan operativo consiste en el conjunto de instrucciones específicas para realizar de modo eficiente el traslado de las personas a los lugares seguros. Considera que los caminos hacia estos lugares sean cortos y no queden interrumpidos por la ocurrencia de la inundación. Debe formularse antes de la temporada en que suelen presentarse tales fenómenos y haberse realizado simulacros donde participe la población que habita las zonas de riesgo.

Por otro lado, el subsistema de información incluye los procedimientos para enterar a la población de los lugares seguros, las rutas hacia estos sitios desde sus viviendas, el momento de iniciar una evacuación, etc.

El subsistema de medición y procesamiento hidrológico estima los escurrimientos que producirá la lluvia en una región, en los minutos u horas posteriores a la ocurrencia de esta última, para advertir del peligro que podría generarse en algunas zonas de una ciudad. Su objetivo es calcular, de preferencia con base en mediciones de lluvia o niveles de agua en cauces, los eventos que causan daños (escurrimiento, flujos de lodo, etc), para que se actúe anticipadamente con la intención de disminuir sus consecuencias. Este

subsistema se apoya en un estudio de ingeniería que permite obtener la magnitud de los efectos de la lluvia en las zonas que podrían sufrir mayores daños. (Fuentes, 2002)

Se le denominará subsistema de medición y procesamiento hidrológico al componente del sistema de alerta temprana municipal que se encarga de la medición de lluvias o niveles de agua y del cálculo hidrológico que sirve de base para activar una alerta en caso de ser necesario. (Fuentes, 2002)

La observación de los fenómenos hidrometeorológicos será permanente en la zona y servirá para estimar algunos de sus efectos que puedan ser perjudiciales para la población. Se emplea una red de instrumentos que permite tener mediciones en tiempo real en un puesto central para su procesamiento inmediato.



Figura 6.3. Componentes indispensables de un sistema de alerta temprana. (Fuentes, 2002)

Un sistema de alerta hidrometeorológica está basado en un conjunto de estaciones pluviométricas e hidrométricas, ubicadas en las diferentes cuencas hidrológicas en que se divide la región de estudio (Ver Figura 6.4). Estas estaciones miden la precipitación acumulada, la intensidad de lluvia y los niveles de los cauces y envía la información vía radio a un puesto central de registro (Ver Figura 6.5). Allí se procesan los datos con los modelos lluvia-escorrentía para estimar los escurrimientos esperados en las zonas

vulnerables y los pronósticos de los tiempos de ocurrencia de los niveles críticos en los cauces. Al rebasarse ciertos umbrales establecidos, se activan alarmas indicando a los usuarios (generalmente autoridades de protección civil municipal y estatal que son como ya se mencionó los primeros en acudir a una emergencia), sobre el peligro de la posible ocurrencia de flujos e inundaciones que pudiesen provocar daños en una cierta área de la cuenca y con esto poder poner en marcha un plan de emergencia previamente establecido. (Fuentes 2002)

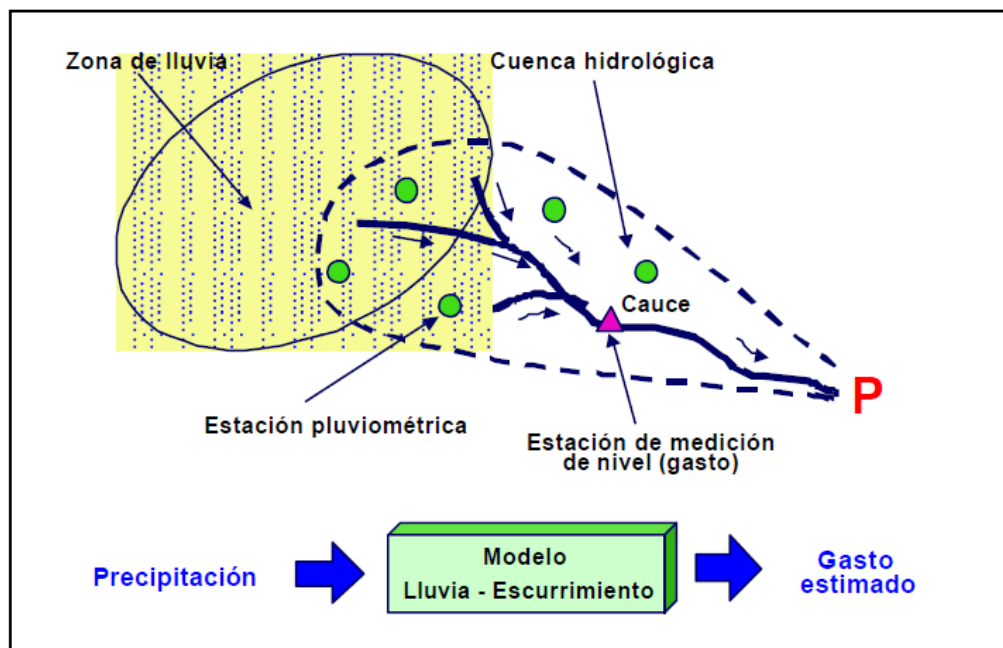


Figura 6.4. Medición del fenómeno hidrometeorológico. (Fuentes, 2002)

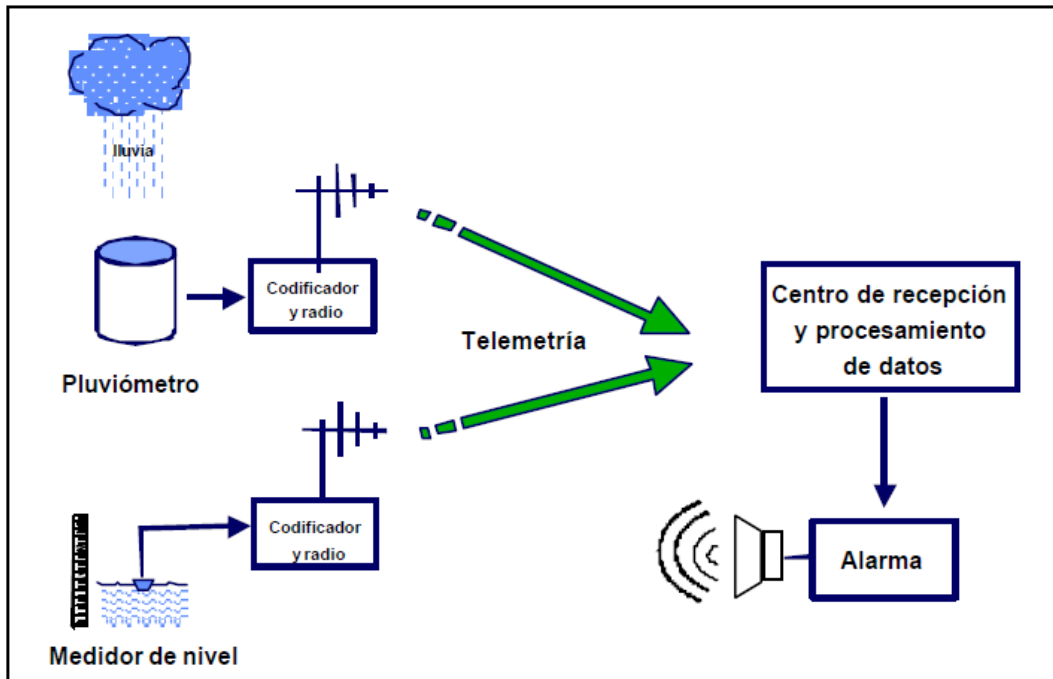


Figura 6.5. Sistema de medición y alerta. (Fuentes, 2002)

Entre los factores importantes que originan las inundaciones pluviales están; la intensidad de la lluvia en distintos puntos de una zona, la humedad del suelo de la región antes de la ocurrencia de la precipitación, la topografía, la pendiente del terreno, la cobertura vegetal, los usos del suelo, el tipo de material, las características físicas de los arroyos y ríos, las formas y longitudes de los cauces, las elevaciones de los bordos de los ríos, la forma y tamaño de los cauces de las corrientes superficiales y la ubicación de presas.

Por otra parte, cuando el escurrimiento es intenso y en los cauces de los ríos se desarrollan tirantes de agua altos, estos pueden exceder la elevación de las márgenes y producir su desbordamiento, provocando la salida de grandes volúmenes de agua que pueden provocar una inundación.

En caso de que, cuando el agua provenga de la precipitación en una región que no es drenada con suficiente rapidez, ésta se acumula sobre la superficie del terreno y puede provocar una inundación pluvial. Ella suele desarrollarse lentamente, pero también su desaparición se realiza en mucho tiempo.

### 6.1.3.1 Relación lluvia-escorrimento.

Para calcular el escurrimiento que produce la lluvia efectiva se pueden utilizar distintos procedimientos. Uno de ellos es el método del hidrograma unitario instantáneo.

El hidrograma unitario instantáneo es un hidrograma de escurrimiento que se produce a la salida de la cuenca, debida a una lluvia de un milímetro, uniforme en toda la cuenca, durante un cierto tiempo. En el componente de telemetría y procesamiento hidrológicos se considera un intervalo de tiempo  $\Delta t$ . Como la lluvia suele tener una duración de varios intervalos de tiempo  $\Delta t$ , es necesario sumar los hidrogramas producidos por la lluvia de cada intervalo, de manera que la suma de estos efectos de cómo resultado el escurrimiento producido en toda la cuenca. En la suma anterior se considera que el escurrimiento se produce después de cada lluvia, por lo que cada uno de estos hidrogramas están desplazados entre sí un intervalo de tiempo  $\Delta t$  (Ver Figura 6.6). (Fuentes, 2004)

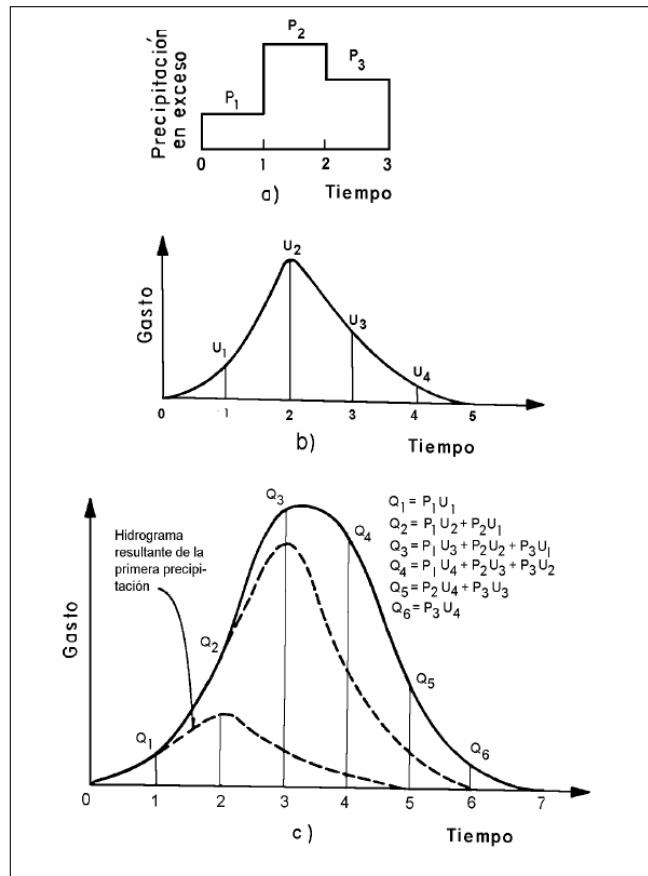


Figura 6.6. Hidrograma de escurrimiento directo obtenido por HUI. (Fuentes 2004)

Cuando no se dispone de datos de precipitación y el escurrimiento que produce, se pueden emplear el hidrograma unitario sintético, propuesto por el Soil Conservation Service de los Estados Unidos (Ver Figura 6.7). Para encontrarlo se necesita calcular el gasto y el tiempo del pico de la avenida.

El gasto se obtiene con la expresión:

$$q_u = \frac{A}{4.878t_p}$$

Donde:

$q_u$  gasto pico, en  $m^3/s$

$A$  área de la cuenca, en  $km^2$

$t_p$  tiempo pico, en hr.

Además el tiempo pico se obtiene a través de la siguiente expresión.

$$t_p = 0.5d + t_r$$

Donde:

$d$  duración efectiva de la tormenta, en hr.

$t_r$  tiempo de retraso, en hr.

El tiempo de retraso  $t_r$  se estima como:

$$t_r = 0.6t_c$$

Donde  $t_c$  es el tiempo de concentración, en hr, y se puede estimar por medio de la formula de Kirpich.

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

$L$  longitud del cauce principal, en m.

S pendiente del cauce principal.

Finalmente

$$t_p = 0.5d + 0.6t_c$$

Si no se conoce la duración de la lluvia efectiva  $d$ , se puede estimar a partir de la siguiente expresión:

$$d = 2\sqrt{t_c}$$

### **6.1.3.2 Umbrales de gasto y precipitación.**

Para disponer de un tiempo de aviso mayor en algunos sistemas de alerta municipal, se puede agregar una fase de estimación de las alturas de lluvia que podrían ocurrir en media hora. Esto se puede hacer mediante la lluvia pronóstico, y se realiza considerando que las alturas de lluvia que se están midiendo en un lapso de 30 minutos corresponden a una fracción de la lámina de lluvia de una hora que suele ocurrir en el lugar. Además, de un análisis estadístico de lluvias medidas en la zona de interés para el subsistema de medición telemétrica, se obtiene aquella que en promedio se presenta una vez cada dos años (Es decir, asociada al periodo de retorno de 2 años). (Fuentes 2004).

Con la lluvia pronostico, se hace una estimación del escurrimiento que produciría y se agregan a los gastos calculados a partir de la lluvia medida, ya que así se tendría un lapso más grande para advertir del peligro, en caso de que los escurrimientos alcancen magnitudes de cierto tamaño. En el programa de procesamiento hidrológico, ello dará lugar a la activación del aviso llamado pre-alarma

En los cauces de los ríos que pueden ser desbordados se puede estimar el gasto más grande que puede tener el escurrimiento que fluye por ellos antes de salirse de los cauces y los niveles del agua que alcanzan tales corrientes.

Para los lugares donde se cuenta con información detallada de la forma de los cauces, su pendiente y elevación de sus bordos, se puede emplear métodos hidráulicos para el cálculo de flujo. Para los lugares donde no se cuente con información se puede estima con base en experiencias pasadas, con la magnitud que tuvo el gasto antes de desbordarse en los ríos, o bien, de acuerdo con los resultados de los modelos lluvia-

escurrimiento, para que a partir de la lamina de lluvia que se presenta en promedio una cada 5 años se obtenga el escurrimiento directo máximo.

Los valores de gasto que se pueden escoger corresponden a los llamados umbrales. Para aquellos casos en que el procesamiento hidrológico, a partir de la lluvia, implique que el escurrimiento alcanza en los minutos subsecuentes una magnitud mayor a la del umbral, se señalará la ocurrencia de desbordamiento y el tiempo en que ocurrirá.

Para cada cuenca de interés del sistema de altera temprana, existe un umbral de gasto. Cuando el flujo de agua excede el umbral con valores de la lluvia pronosticada se activará una pre-alarma. Cuando se superan los umbrales con la lluvia medida por la estaciones se enciende la señal de alarma

Además también se puede incluir valores máximos de lluvia para activar una señal de alarma y así advertir el peligro debido a sus efectos. Ello es recomendable en zonas muy inclinadas y de escasa cobertura vegetal, o en zonas urbanas con una alta impermeabilidad.

#### **6.1.3.3 Sistema de alerta caso Acapulco.**

En la Figura 6.7, se observa cómo está constituido un sistema de alerta, con un cierto número de estaciones remotas, distribuidas en la región de interés, y dos puestos centrales de registro, que es donde se concentran los datos de lluvia y de nivel de agua de los ríos. El puesto central de registro (PCR-1 ó 2) se encarga de interrogar a cada una de las estaciones remotas a intervalos fijos de 10 minutos. Para ello envía un código a la estación en turno, solicitándole el envío de la información recolectada en los 10 minutos anteriores. Una vez que los datos de un intervalo han sido recibidos, decodificados y desplegados en forma tabular, se almacena en un archivo para ser procesados y analizados por las computadoras. Si después del análisis y procesamiento de cada uno de estos archivos los datos resultantes sobrepasan los umbrales preestablecidos, de acuerdo con el estudio hidrológico, se activa una alarma visual en la pantalla y también se acciona una señal auditiva de alerta que da aviso al personal de la guardia y supervisión del sistema, para que de acuerdo con los procesamientos de emergencia establecidos tome las medidas necesarias. (Fuentes 2002).

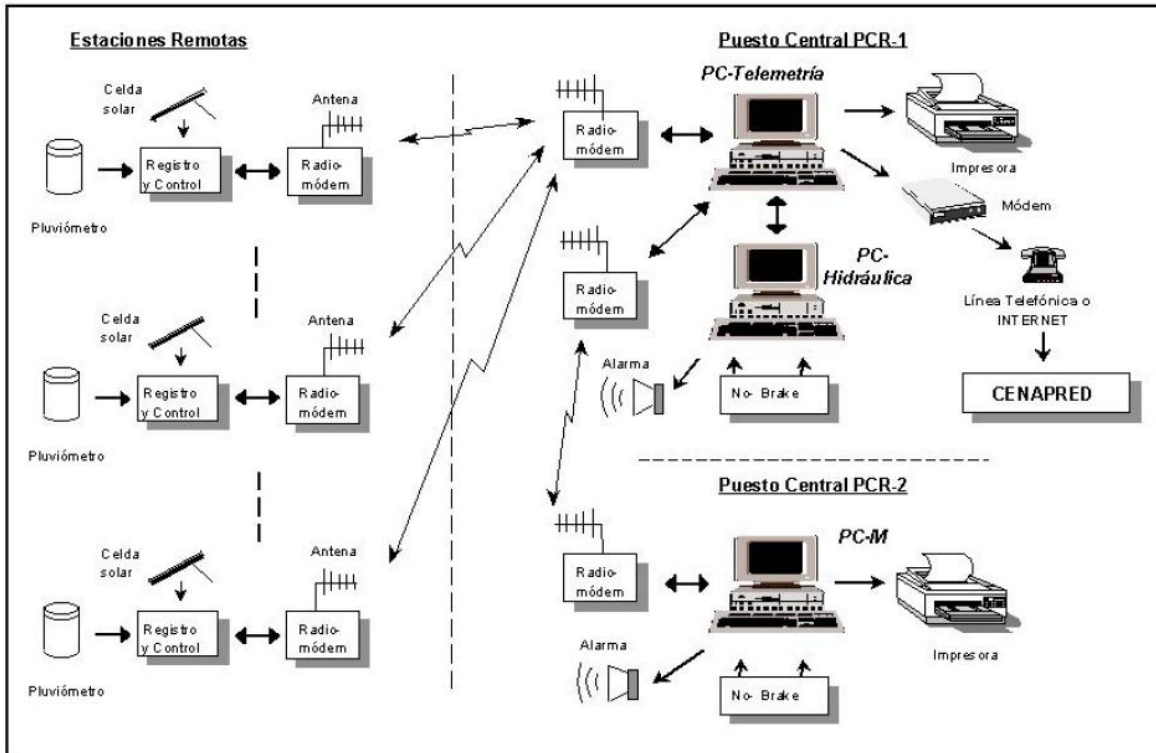


Figura 6.7. Diagrama general de un sistema de alerta hidrometeorológica. (Fuentes, 2004)

El componente del sistema de alerta temprana municipal se basa en la medición y procesamiento hidrológico, fue propuesto por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), considera las lluvias que se están presentando en distintas partes de las cuencas de las zonas de peligro y determina los flujos de agua que se producirán después en laderas, arroyos y ríos. También señala las zonas donde los flujos de agua podrían ocasionar daños.

La forma ordenada y sistemática del cálculo de los escurrimientos se apoya en un estudio hidrológico realizado para la región de interés. Con el cual se obtienen los hidrogramas unitarios instantáneos y coeficientes de infiltración. Además se requiere el cálculo hidráulico de las características de las corrientes, tales como el tirante y la velocidad, para determinar aquellas zonas donde podría desbordarse o que la magnitud de la velocidad sea muy fuerte. Este componente del sistema de alerta temprana se encarga de calcular las lluvias medidas observadas, el escurrimiento que produciría y compara la magnitud del flujo para decidir si los niveles de agua y los gastos excedieron los valores críticos (umbrales).

Con el principio de operación mencionado anteriormente, el sistema de alerta de Acapulco, Guerrero, entró en operación en mayo de 1998, se compone de 15 estaciones remotas para medición de precipitación e intensidad de lluvia y dos puestos centrales de registro Ver Figura 6.8. Las estaciones están distribuidas en la bahía del puerto y en las regiones conurbadas de Pie de la Cuesta, Ciudad Renacimiento, El Coloso y Aeropuerto. Los dos puestos de registro se localizan uno en las instalaciones de la CONAGUA, en el edificio Roberto Posadas en el centro de la ciudad, y el otro en la Unidad Municipal de Protección Civil cerca del Fuerte de San Diego. (Fuentes 2002)

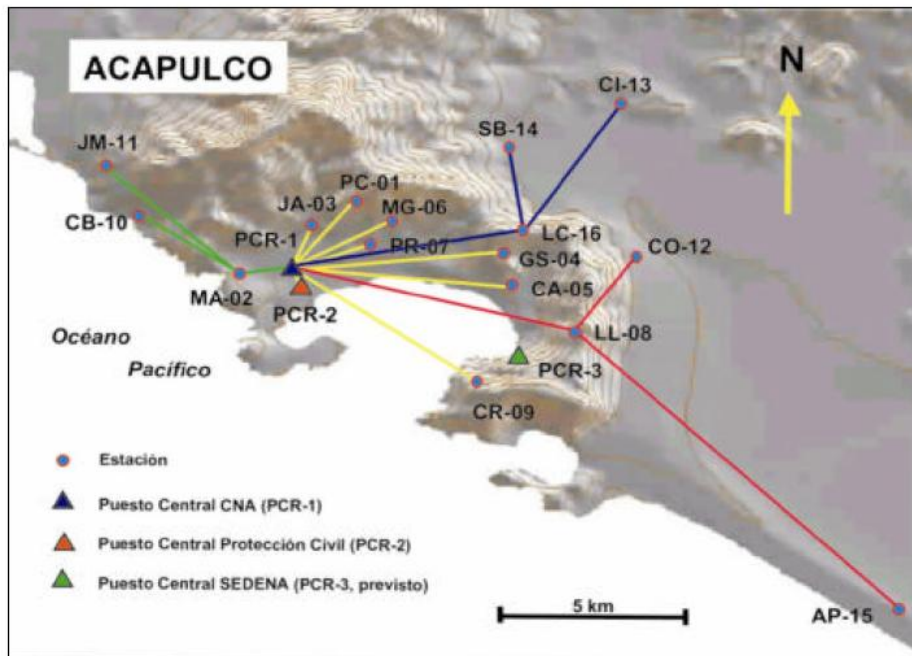


Figura 6.8. Estaciones para el SAT de Acapulco. (Fuentes,2002)

Para la zona de interés se identificaron los ríos que podrían provocar mayores daños debido a su desbordamiento o por la intensidad de las velocidades de sus corrientes. Se procedió a delimitar las áreas de aportación de escurrimiento con la topografía del terreno. De este modo se determinaron las subcuencas en las que se calculará la precipitación media y los sitios de sus cauces donde convendría estimar el gasto de sus escurrimientos a partir del nivel del agua.

En una primera etapa del proyecto se consideraron 13 subcuencas dentro del Anfiteatro una carta topográfica de la bahía de Acapulco. Don en la zona de pie de la cuesta y una cercana a la zona habitacional el Coloso. Ver Figura 6.9.

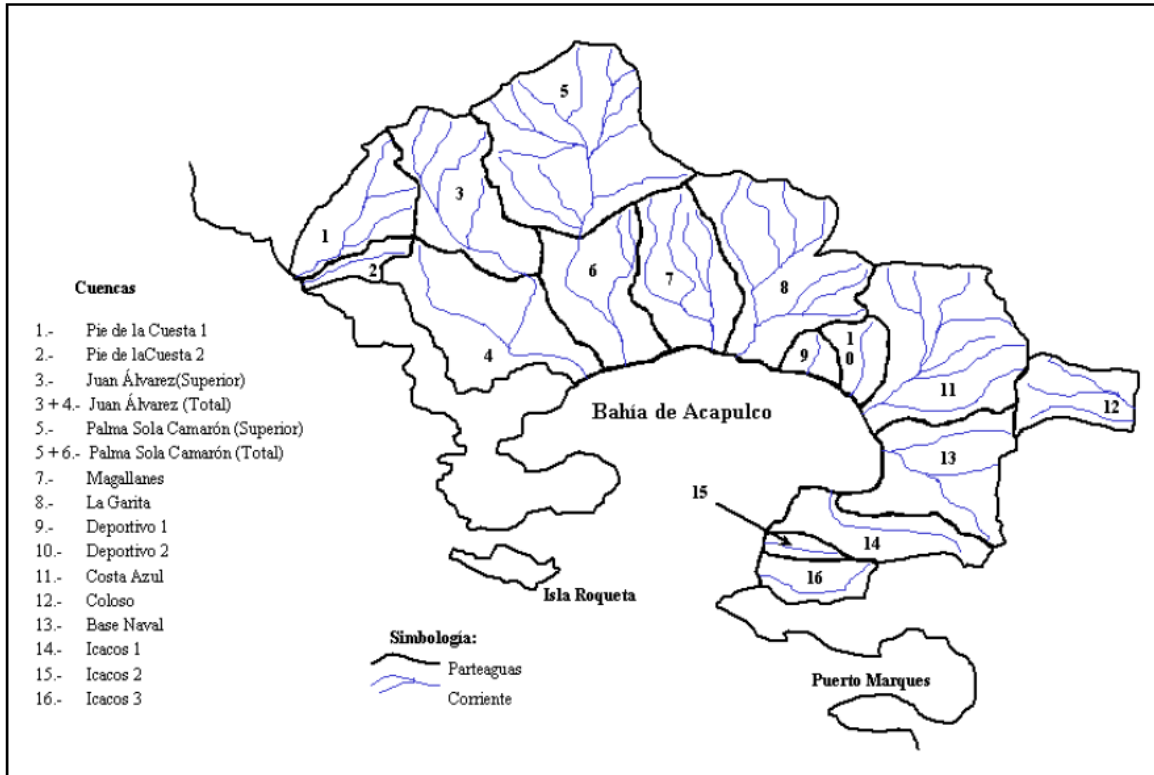


Figura 6.9. Definición de cuencas en la primera etapa.(Fuentes 2002)

En la segunda etapa del proyecto se añadieron 6 subcuencas, de las cuales 3 corresponden a la zona de pie de la cuesta y 3 a la región de El renacimiento.

En la Tabla 6.7 se consignan los nombres de las subcuencas en ambas etapas y algunas de sus características.

Tabla 6.7. Nombres de las subcuencas y sus características. (Fuentes,2002)

No	CUENCA	Área (km <sup>2</sup> )	Cauce principal	
			Pendiente	Longitud
<b>Zona Pie de la Cuesta</b>				
1	Pie de la Cuesta 1	2.811	0.1285	3,325
2	Pie de la Cuesta 2	0.721	0.1530	1,950
<b>Zona del anfiteatro</b>				
3	Juan Álvarez Superior	4.530	-----	-----
4	Juan Álvarez Total	9.750	0.0778	5,800
5	Palma Sola-Camarón	9.180	-----	-----
6	Palma Sola-Camarón (Total)	12.570	0.1136	5,700
7	Magallanes	4.075	0.1490	3,250
8	La Garita	6.675	0.1502	3,350
9	Deportivo 1	0.746	0.3420	800
10	Deportivo 2	1.244	0.1790	1,700
11	Costa Azul	7.089	0.0540	3,450
12	Base Naval	4.826	0.1220	2,400
13	Icacos 1	2.587	0.1570	2,800
14	Icacos 2	0.572	0.2470	1,150
15	Icacos 3	1.345	0.1680	2,100
<b>Zona del Coloso</b>				
16	Coloso	2.264	0.0860	2,350
<b>Zona del Renacimiento.</b>				
17	Carabalin	17.523	0.0497	7550
18	Arroyo Seco	9.11905	0.0521	9250
19	El Quemado	12.7619	0.0252	7900
<b>Zona del Pie de la Cuesta</b>				
20	Cuesta 3	1.14286	0.2074	2,400
21	Cuesta4	1.45238	0.1644	2,700
22	Cuesta 5	1.30952	0.1749	2,250

Finalmente se puede decir que como resultado del sistema de alerta hidrometeorológica se han registrado lluvias importantes durante los años que ha estado funcionando. Los pluviómetros se instalaron para medir la precipitación media en cada una de las 22 subcuencas. Después, mediante un modelo lluvia-escorrentamiento se estima los escorrentamientos de cada subcuenca; previamente se calcula la precipitación media en la subcuenca a partir de las precipitaciones puntuales de las estaciones. De esta manera con software se registran ambas variables diariamente en un archivo. El sistema ha resultado tener una cobertura aceptable. Actualmente incorpora una herramienta multimedia, se puede visitar dicha herramienta en la siguiente dirección electrónica: <http://www.acapulco.gob.mx/proteccioncivil/index.php> donde se puede encontrar mayor información del sistema de alarma hidrometeorológica y su funcionamiento, así como cursos, calendario de simulacros y mapas de riesgos y refugios.

#### **6.1.4 Generación de mapas de riesgos.**

Una de las acciones no estructurares en materia de prevención de inundaciones más utilizadas, es la generación de mapas de riesgos. En dichos mapas se evalúa el peligro asociada a una determinada vulnerabilidad, la sinergia de estos elementos permite la generación de los mapas de riesgos, mediante la delimitación de zonas que representan peligro de inundación. (Cervantes, 2012)

En los mapas de riesgo de inundación, generalmente se basan en la representación de una mancha hidráulica asociada a un periodo de retorno. Sin embargo, características como el tirante y la velocidad son parámetros que sirven para establecer el peligro para una población determinada.

Por otra parte, los tiempos de concentración de los escurrimientos en cada una de las cuencas y sus pendientes, definen si las inundaciones son súbitas o de proceso lento. Las avenidas súbitas se presentan generalmente en cuencas pequeñas ubicadas en zonas con montaña de fuerte pendiente, dónde existen pequeños valles, barrancas y abanicos aluviales al pie de éstas. También pueden presentarse debido al rompimiento de un bordo, presa o represa, o en ciudades cuyo suelo presenta alto coeficiente de escurrimiento, es decir, son muy impermeables. Su característica y peligrosidad más importante es que ocurren de manera imprevista, lo que dificulta alertar con tiempo de antelación. Como consecuencia de ello, este fenómeno puede cobrar una mayor cantidad de vidas humanas, en comparación con una inundación lenta. (Cervantes, 2012)

Dada la importancia de identificar el peligro de inundación, es conveniente considerar la participación de otras instituciones, tales como el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (INEGI), La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). De esta manera, el INEGI colabora a la obtención de cartografía básica, la CONAGUA y sus gerencias regionales y estatales, brindan apoyo técnico en hidrología e hidráulica, y la SEDESOL, junto con sus oficinas regionales, proporcionan el apoyo técnico para la determinación de la vulnerabilidad de la población y la vivienda.

El CENAPRED realizó una metodología para definir la vulnerabilidad de la vivienda en localidades rurales, a nivel predio, la cual se basa en la inspección física de cada una de las viviendas que conforman la localidad en estudio (Eslava et al., 2010). Posteriormente (Salas, 2010) desarrolló una metodología para la elaboración de mapas de riesgo por

inundación en zonas urbanas, la diferencia entre las metodologías se tiene que (Salas 2010) incorpora los sistemas de información geográfica (SIG), así como el empleo de software de libre uso como HEC-RAS, con los que se pueden delimitar las zonas inundadas a partir de simulaciones hidráulicas del fenómeno, auxiliadas por modelos digitales del terreno. A la postre (Cervantes, 2012) creó una metodología para determinar las zonas de inundación a través del empleo del software flo-2D.

Los mapas de riesgo además de permitir delimitar las áreas de inundación, permiten identificar zonas relacionadas a las actividades económicas que están expuestas, evaluar la afectación de daños potenciales debidos a la falla de una obra de control, orientación de la planificación territorial urbana, establecer restricciones de uso y dominio del suelo, definir zonas propensa a deslaves, así como realizar planes de protección civil. (Cervantes, 2012)

- El inicio del procedimiento para estimar el peligro es partir de determinar las características fisiográficas de la cuenca del arroyo que se encuentra cercano o cruza una población con ayuda de mapas topográficos.
- Estimación de los gastos para diferentes periodos de retorno: en caso de no contar con mediciones de descarga se puede hacer uso de los registros de precipitaciones y coeficientes de escurrimiento o en el caso donde no se cuenta con información es factible aplicar técnicas de regionalización.
- Mediante simulación matemática se determina el comportamiento hidráulico del cauce, se espera como resultado las posibles áreas de inundación.
- Se identifica la vulnerabilidad de una población.
- Finalmente la unión del peligro de inundación y la vulnerabilidad de una población se puede generar los mapas de riesgo.

#### **6.1.4.1 Estimación del escurrimiento a la salida de la cuenca.**

Para determinar este escurrimiento se utiliza la llamada formula racional, la cual es uno de los modelos lluvia-escurrimiento más antiguos (1889), y probablemente todavía es uno de los más utilizados. Considera que el gasto máximo o pico (líquido) se alcanza cuando la precipitación se mantiene con una intensidad constante durante un tiempo igual al tiempo de concentración. La fórmula racional es: (Eslava et..al., 2006)

$$Q_p = 0.2778CiA$$

Donde:

$Q_p$  Gasto máximo o pico, en  $m^3/s$

$C$  Coeficiente de escurrimiento (Usualmente entre 0.5 y 0.8, para zonas urbanas  
Ver tabla 1.3)

$i$  Intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración  
de la cuenca, en  $mm/h$

$A$  Área de la Cuenca, en  $km^2$

Por lo anterior, la intensidad  $i$  tiene una duración igual al tiempo de concentración  $t_c$  y corresponde al periodo de retorno de la creciente o gasto máximo que se estima. El cociente entre el producto de la intensidad de lluvia  $i$  por el área de la cuenca  $A$  y el gasto máximo  $Q_p$  que ocurre al llegar al  $t_c$ , se denomina coeficiente de escurrimiento y varía de cero a uno.

En zonas urbanas, las cuencas usualmente tienen áreas o subcuencas con características superficiales diferentes, por ejemplo suelo desnudo, pastos, superficie impermeable, etc. Por ello es necesario un análisis parcial de cada subcuenca  $A_j$  cuyo coeficiente será  $C_j$ , de manera que el gasto pico de la cuenca será: (Campos, 2010)

$$Q_p = 0.2778 i \sum_{j=1}^m C_j A_j$$

Donde  $m$  es el número de subcuencas que se consideraron en la cuenca cuya creciente o gasto máximo se estima.

En realidad el método racional es una descripción muy simple del proceso lluvia-escurrimiento, en la cual los efectos de la lluvia y del área de la cuenca son tomados explícitamente y las consecuencias de las condiciones físicas de la cuenca se consideran de manera indirecta a través del  $t_c$  y del valor  $C$ . La infiltración y otras pérdidas no se toman en cuenta de una manera física real, sino indirecta global en el coeficiente de escurrimiento  $C$ . El almacenamiento temporal del escurrimiento sobre el terreno y en los cauces, así como las variaciones temporales y espaciales de la lluvia son ignoradas completamente, por lo cual el método sólo es válido cuando tales efectos son pequeños.

El coeficiente de escurrimiento es quizá la variable más difícil de estimar cuando se aplica el método racional. Teóricamente varía entre 0 y 1 y refleja la habilidad de la cuenca para convertir lluvia en escurrimiento. En realidad la parte de la lluvia máxima que llega a la salida de la cuenca, depende básicamente del porcentaje de superficie impermeable, de su pendiente y de las características de la superficie ante el encharcamiento. Las superficies impermeables como los concretos y los pavimentos de asfalto, producirán cerca del 100% de escurrimiento cuando están mojados, sin importar su pendiente. Otros factores que influyen en el  $C$  son la intensidad de lluvia, el contenido de humedad del suelo, su grado de compactación, la proximidad del nivel freático, etc. (Campos 2010)

La estimación adecuado del  $C$  requieren juicio y experiencia por parte del hidrólogo, por ello cuando sea posible su calibrado se debe intentar para obtener valores reales. Además la inspección en campo y de fotografías aéreas será de enorme ayuda para caracterizar los tipos y condiciones de la superficie de las subcuencas analizada.

En la Tabla 6.8 se presentan los valores de  $C$  a utilizarse cuando el periodo de retorno  $T_r$  es menor o igual a 10 años; cuando excede se multiplican por el siguiente factor correctivo:  $F_c = 1.10$  si  $T_r = 25$  años,  $F_c = 1.20$  si  $T_r = 50$  años y  $F_c = 1.25$  si  $T_r = 100$  años. (Campos 2010)

Uno de los parámetros importantes a determinar para saber el tiempo de respuesta de la cuenca ante una tormenta es el tiempo de concentración  $t_c$  que se define como el tiempo que transcurre ente el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio y es equivalente al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca.

Una de las formas de estimar el tiempo de concentración  $t_c$ , puede ser el considerado por tres lapsos que ocurren en cada uno de los siguientes componentes: (1) flujo sobre el terreno, (2) flujo concentrado en cauce y (3) flujo en canales revestidos o en conductos cerrados. Generalmente estos tres componentes ocurren secuencialmente como fueron citados, pero en cuencas urbanas sólo existe sólo uno o dos de ellos. (Campos 2010)

Para estimar el tiempo de viaje en el flujo sobre el terreno  $tv_1$  se utiliza la formula de Kerby- Hathaway, propuesta por el primer autor en 1959 y desarrollada con base en los datos de drenaje de aeropuertos publicados en 1945 por el segundo autor, su expresión es: (Campos 2010)

$$tv_1 = \left[ \frac{2.198 n_r L}{\sqrt{S}} \right]^{0.467}$$

Tabla 6.8. Valores para el coeficiente de escurrimiento (Aparicio, 2010)

Tipo de área drenada	Coeficiente de escurrimiento	
	Mínimo	Máximo
Zonas comerciales		
Zona comercial	0.75	0.95
Vecindarios	0.50	0.70
Zonas residenciales:		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares espaciados	0.40	0.60
Multifamiliares compactos	0.60	0.75
Semiurbanas	0.25	0.40
Casas habitación	0.50	0.70
Zonas industriales Espaciado	0.50	0.80
Zonas industriales Compactado	0.60	0.90
Cementerios y parques	0.10	0.25
Campos de juego	0.20	0.35
Patios de ferrocarril y terrenos sin construir	0.20	0.40
Zonas suburbanas	0.10	0.30
Calles Asfaltadas	0.70	0.95
Calles De concreto hidráulico	0.80	0.95
Calles Adoquinadas o empedradas, juntas con cemento	0.70	0.85
Calles Adoquín sin juntar	0.50	0.70
Calles Terracerías	0.25	0.60
Estacionamientos	0.75	0.85
Techados	0.75	0.95
Praderas		
Suelos arenosos planos (pendientes de 0.02 ó menos)	0.05	0.10
Suelos arenosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.10	0.15
Suelos arenosos escarpados (0.07 ó más)	0.15	0.20
Suelos Arcillosos planos (0.02 ó más)	0.13	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.18	0.20
Suelos arcillosos escarpados (0.07 ó más)	0.25	0.35

En la cual  $tv_1$  está en minutos,  $n_r$  es el factor de resistencia al flujo sobre el terreno, sus valores se tiene en la tabla 6.9. Éste es equivalente al coeficiente de rugosidad de Manning, pero en este flujo el impacto de la superficie es mucho mayor pues casi todo el tirante o lámina es afectada y en los canales o cauces únicamente la parte en contacto con las paredes.  $L$  es la longitud del flujo en metros, que debe ser menor de 91.5. Finalmente,  $S$  es la pendiente del terreno en m/m.

Por otra parte, una de las fórmulas empíricas más conocidas para estimar el tiempo de viaje en flujos concentrados  $tv_2$  es la de Kirpich, calibrada en cuencas pequeñas agrícolas y parcialmente boscosas de Tennessee, ésta es:

$$tv_2 = \frac{0.0195 L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde  $tv_2$  está en minutos,  $L$  en metros y corresponde a la longitud del tramo de canalización, cuya pendiente es  $S$ , estimada como el desnivel total de tramo  $H$  en metros entre  $L$ .

Tabla 6.9. Factores de resistencia al flujo sobre el terreno. (Campos, 2010)

Tipo de superficie	$n_r$
Pavimentos lisos	0.020
Asfalto o concreto	0.05-0.15
Suelo desnudo compacto, sin piedras	0.10
Terreno moderadamente rugoso o cobertura de pasto disperso	0.30
Cobertura dispersa de césped	0.20
Cobertura moderada de césped	0.40
Cobertura densa de césped	0.17-0.80
Pasto denso	0.17-0.30
Pasto bermuda	0.30-0.48
Bosque maderable	0.60

Finalmente, el tiempo de viaje en canales revestidos, tuberías o alcantarillados, y cunetas de calles  $tv_3$  se estima como el cociente de la longitud del tramo entre la velocidad de Manning en condiciones de flujo lleno, esto es:

$$tv_3 = \frac{L}{\left(\frac{60}{n}\right) R^{2/3} S^{1/2}}$$

Donde  $tv_3$ , está en minutos,  $n$  es el coeficiente de rugosidad de Manning, adimensional,  $L$  se expresa en metros,  $S$  es la pendiente en m/m y  $R$  el radio hidráulico, el cual se considera de manera aproximada igual al tirante en cauces, cunetas y canales y 0.25 del diámetro en tuberías.

Por tanto el tiempo de concentración es:

$$t_c = tv_1 + tv_2 + tv_3$$

La intensidad de lluvia  $i$  se determina con base en las curvas Intensidad-duración-periodo de retorno ( $i-d-T_r$ ), las cuales representan las características de las tormentas de la zona, seleccionado primero el periodo de retorno  $T_r$  que tendrá el gasto máximo que se estima. La intensidad de lluvia  $i$  debe ser el promedio factible de ocurrir en la subcuenca o cuenca analizada, con el  $T_r$  seleccionado y con una duración igual al tiempo de concentración  $t_c$  estimado para tal área.

Existen básicamente dos métodos con los que se puede determinar la relación entre las variables  $i$ ,  $d$ , y  $T_r$  para un sitio dado.

El primero, llamado de intensidad-periodo de retorno, que relaciona estas dos variables para cada duración por separado mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología. Es segundo método relaciona simultáneamente las tres variables en una familia de curvas cuya ecuación es:

$$i = \frac{kT_r^m}{(d + c)^p}$$

Donde  $k$ ,  $m$ ,  $p$  y  $c$  son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple. (Aparicio, 2010) para mayor detalle sobre el procedimiento de cálculo se recomienda consultar la bibliografía citada.

#### 6.1.4.2 Determinación del área hidráulica requerida o permisible.

El área hidráulica permisible es el área necesaria para que el flujo de escurrimiento, expresado como el gasto máximo o de pico, fluya por una sección de un arroyo sin presentar desbordamiento en sus márgenes.

Partiendo de la definición de flujo de volumen o gasto

$$Q_T = A_h V$$

Donde:  $Q_T$  es el gasto total en  $[m^3/s]$ ,  $A_h$  es el área hidráulica requerida en  $m^2$  y  $V$  es la velocidad de flujo en m/s.

El área permisible se puede calcular de la siguiente forma:

$$A_h = \frac{Q_T}{V}$$

De tal forma que se puede utilizar la siguiente fórmula para el cálculo de la velocidad, a partir de la definición del tiempo de concentración.

$$V = \frac{L}{3600t_c}$$

Donde:  $L$  es la longitud del cauce principal, en m; y  $t_c$  es el tiempo de concentración, en h.

Para cada una de las intensidades de lluvia analizadas, se tendrá un gasto total, por lo que para cada uno de estos gastos se determinarán las áreas hidráulicas permisibles correspondientes.

#### 6.1.4.3 Determinación del área geométrica de las secciones transversales y comparación entre el área hidráulica requerida.

El área de las secciones transversales que se necesita determinar será la que se encuentra entre el fondo de la sección y el nivel máximo que puede tener el tirante de agua sin que ésta se salga del cauce de la corriente de agua.

Una forma de saber si una sección en particular tendrá problemas por desbordamiento, es comparando las áreas permisibles (áreas hidráulicas) y geométricas ( $A_G$ ).

$SA_G > A_h$  la sección no presenta problemas por desbordamiento.

Esto indica que existe más área geométrica o espacio para que pase sin problemas el flujo de agua.

Si  $A_G < A_h$  la sección presenta problemas por desbordamiento.

Lo anterior indica que el área geométrica no es suficiente para contener el flujo de agua, por lo que se presentará un desbordamiento en la sección en estudio.

Esta comparación se debe de hacer para todas las secciones transversales del levantamiento topográfico del arroyo y para cada uno de los gastos asociados a lluvias con diferentes periodos de retorno ( $T_r$ )

#### **6.1.4.4 Determinación de las zonas inundables.**

Las zonas inundables se presentarán cuando  $A_G < A_h$  y se identificarán sobre el levantamiento topográfico mediante el dibujo en planta de éste, dibujando hasta dónde llega el nivel máximo del agua que requiere cada uno de los gastos máximos asociado a su correspondiente periodo de retorno.

Para determinar el nivel máximo de agua para el caso donde  $A_G < A_h$  será necesario identificar mediante tanteos el tirante máximo, es decir, proponiendo tirantes superiores ( $T_2$ ) al que permita el área geométrica ( $T_1$ ), y calculando el área de la nueva sección, hasta igualar dicho valor con el del área hidráulica requerida (Ver Figura 6.10). Hay que recordar que estos casos representan desbordamientos, por lo que su determinación permitirá posteriormente evaluar el riesgo en que se encuentren las viviendas cercanas.

Para evitar el procedimiento antes descrito, en la actualidad existen modelos computacionales que simulan una inundación. Estos modelos resuelven las ecuaciones que definen el comportamiento del fenómeno. De acuerdo con lo anterior, se cuenta con modelos hidráulicos y modelos hidrológicos, siendo los primeros los que mejores resultados obtienen. Más aún, dentro de los hidráulicos se tienen modelos que analizan el comportamiento del flujo en una (1D), dos (2D) y tres (3D) dimensiones, obviamente su precisión mejora en función de las dimensiones usadas para su análisis; sin embargo, también los requerimientos de información y tiempo computadora son mayores. (Salas, 2010). Mediante dichos modelos se pueden introducir hidrogramas o un caudal pico de varios periodos de retorno para identificar las zonas inundables, con dichos modelos y la utilización de sistemas de información geográfica se puede elaborar mapas de peligros de

inundación. Uno de los modelos más ampliamente usados para la obtención de áreas de inundación es el modelo HEC-RAS. Sin embargo recientemente con apoyo de la tecnología, se han podido realizar modelos bidimensionales, considerando una baja inversión en la adquisición de la plataforma (Alcocer, 2012)

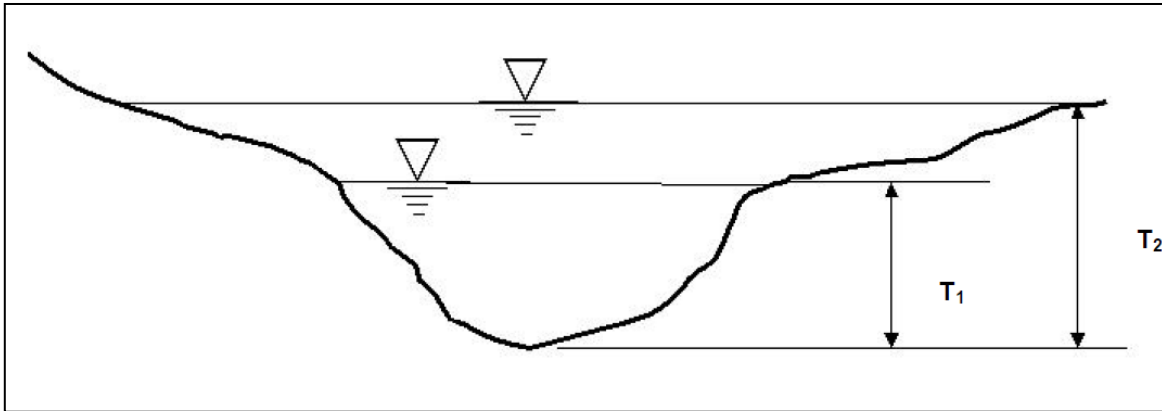


Figura 6.10. Si  $A_G < A_h$ , se presenta inundación.

De esta forma se puede obtener un mapa de peligro como el que se muestra en la siguiente figura 6.11. (Eslava et al, 2006)



Figura 6.11. Mapa de peligro por inundaciones en Mezquital del Oro, Zacatecas (Salas,2010)

#### 6.1.4.5 Identificación de la vulnerabilidad.

La vulnerabilidad que se analiza en las metodologías realizadas por (Eslava et. Al., 2006) y (Salas, 2010), donde se refiere a la vulnerabilidad física, y corresponde al análisis de las viviendas en las localidades de estudio para conocer qué tan susceptibles son a las inundaciones.

La medición de la vulnerabilidad por inundaciones que se maneja se refiere a los bienes que tiene la población dentro de sus viviendas, conocida como menaje o enseres, por lo que se considera que las inundaciones ocurren lentamente, es decir, hay tiempo suficiente para que las personas puedan desalojar sus viviendas de modo tal que sus vidas no sufran peligro.

El conocimiento de los materiales de construcción es importante para cuantificar la vulnerabilidad de una vivienda. A continuación se enlistan los diferentes tipos de materiales que son utilizados en México.

Los materiales comúnmente usados para el techo y muros de las viviendas de acuerdo con datos del Censo General de Población y Vivienda del 2000 realizado por el INEGI, los materiales más usados en los muros son ocho. (Ver Tabla 6.10)

Tabla 6.10. Materiales en muros de vivienda. (Salas, 2010)

<b>TIPO</b>	<b>Material</b>
M1	Material de desecho
M2	Láminas de cartón
M3	Lámina de asbesto o metálica
M4	Carrizo, bambú o palma
M5	Embarro o bajareque
M6	Madera
M7	Adobe
M8	Tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto.

De igual forma los materiales más usados para el techo de vivienda son seis y se enlistan en la Tabla 6.11.

Tabla 6.11. Materiales comunes usados en el techo de las viviendas. (Salas, 2010)

Tipo	Material
T1	Material de desecho
T2	Láminas de cartón
T3	Lámina de asbesto o metálica
T4	Palma, tejamanil o madera
T5	Teja
T6	Losas de concreto, tabique, ladrillo o terrado con vigería

Una vez definido los materiales usados tanto en el techo como en los muros, el siguiente paso es identificar las posibles combinaciones para generar el tipo de vivienda. La hipótesis se basa en realizar la combinación entre las tablas 6.10 y 6.11 resultando la combinación que se presenta en la Tabla 6.12.

Con base en su comportamiento ante la presencia de agua, cada una de las combinaciones resultantes se clasifica y se agrupa en alguna de las combinaciones definidas en la Tabla 6.13

Como se puede observar en la Tabla 6.13 se definen cuatro categorías a las que se les asocia un nivel de vulnerabilidad. La vulnerabilidad Baja corresponde a la combinación M8T6; de ella se obtienen dos categorías (Baja y Muy Baja) que a diferencia de las tres anteriores, donde sólo se consideran los materiales de construcción, se toma en cuenta la posesión de automóvil y computadora, resultando una categoría adicional de vulnerabilidad definida como tipo V. Lo anterior significa que las viviendas que cumplan con la combinación M8T6 automáticamente, serán clasificadas como tipo IV, y si cuentan con automóvil y computadora, pasaran a ser del tipo V.

Resultando sólo cinco categorías de vulnerabilidad de vivienda, que resulta de los 20 diferentes tipos de vivienda mostrados en la Tabla 6.12, siendo más práctico para determinar la vulnerabilidad de vivienda, para poder inferir su capacidad de respuesta ante una inundación. Ver Tabla 6.14.

Tabla 6.12. Combinaciones para los diferentes tipos de vivienda de a cuerdo con los materiales usados en el techo y en los muros. (Salas, 2010)

Combinación	Combinaciones entre el tipo de material para el techo y los muros.	Combinación	Combinaciones entre el tipo de material para techo y los muros
1	Viviendas con muros y techo de material de desecho	11	Vivienda con muros de madera y techo de lámina de asbesto.
2	Vivienda con muros y techo de lámina de cartón	12	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de cartón.
3	Vivienda con muros de lámina de cartón y techo de lámina de asbesto o metálica.	13	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de asbesto
4	Vivienda con lámina de asbesto o metálica y techo de lámina de cartón.	14	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de teja
5	Vivienda con muros de carrizo, bambú o palma y techo de lámina de cartón	15	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de teja.
6	Vivienda con muros de carrizo, bambú o palma y techo con lámina de asbesto.	16	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de cartón.
7	Vivienda con muros de embarro o bajareque y techo de lámina de cartón.	17	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de asbesto o metálica.
8	Vivienda con muros de embarro o bajareque y techo de lámina de asbesto o metálica	18	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, cantera, cemento o concreto y techo de palma, tejamanil o madera
9	Vivienda con muros de embarro y techo de palma , tejamanil o madera	19	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, cantera, cemento o concreto
10	Vivienda con muros de madera y techo de lámina de cartón.	20	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, cantera, cemento o concreto y techo de losa de concreto, tabique, ladrillo, etc.

Tabla 6.13 clasificación de vulnerabilidad de viviendas. (Salas 2010)

		MUROS							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
TECHO	T1	1	X	X	X	X	X	X	X
	T2	X	2	4	5	7	10	12	16
	T3	X	3	X	6	8	11	13	17
	T4	X	X	X	X	9	X	14	18
	T5	X	X	X	X	X	X	15	19
	T6	X	X	X	X	X	X	X	20

Tabla 6.14. Índice de vulnerabilidad de la vivienda ante inundaciones. (Salas 2010)

Tipo	Color	Vulnerabilidad
I	Rojo	Muy Alta
II	Naranja	Alta
III	Amarillo	Media
IV	Verde	Baja
V	Blanco	Muy Baja

Finalmente para estimar las funciones de vulnerabilidad para cada tipo de vivienda se proponen una serie de configuraciones de muebles y enseres menores. Posteriormente se lleva a cabo una cuantificación del porcentaje de los daños ocasionados en cada caso, en función del nivel que alcance el agua que entra en la casa. Esto en base al grado de destrucción, la magnitud del evento y el tipo de elementos bajo riesgo.

Con esto en el trabajo realizado por (Eslava et.al., 2006) se muestran las funciones de vulnerabilidad para cada tipo de vivienda. Ver Figura 6.12, 6.13, 6.14, 6.15 ,6.16.

La Figura 6.12 muestra claramente que el rango donde ocurre la mayoría de las pérdidas para la vivienda tipo I, está entre los 0.6m y los 1.2 m. La Figura 6.13 corresponde al tipo de vivienda II, se observa que la mayor pérdida se los bienes ocurre cuando el tirante de agua en la inundación alcanza de 0.6 a 1.0m. Para el caso del a vivienda tipo III, el rango que provoca las mayores pérdidas está comprendido de los 0.4 a los 1.0 m. Ver Figura 6.14.

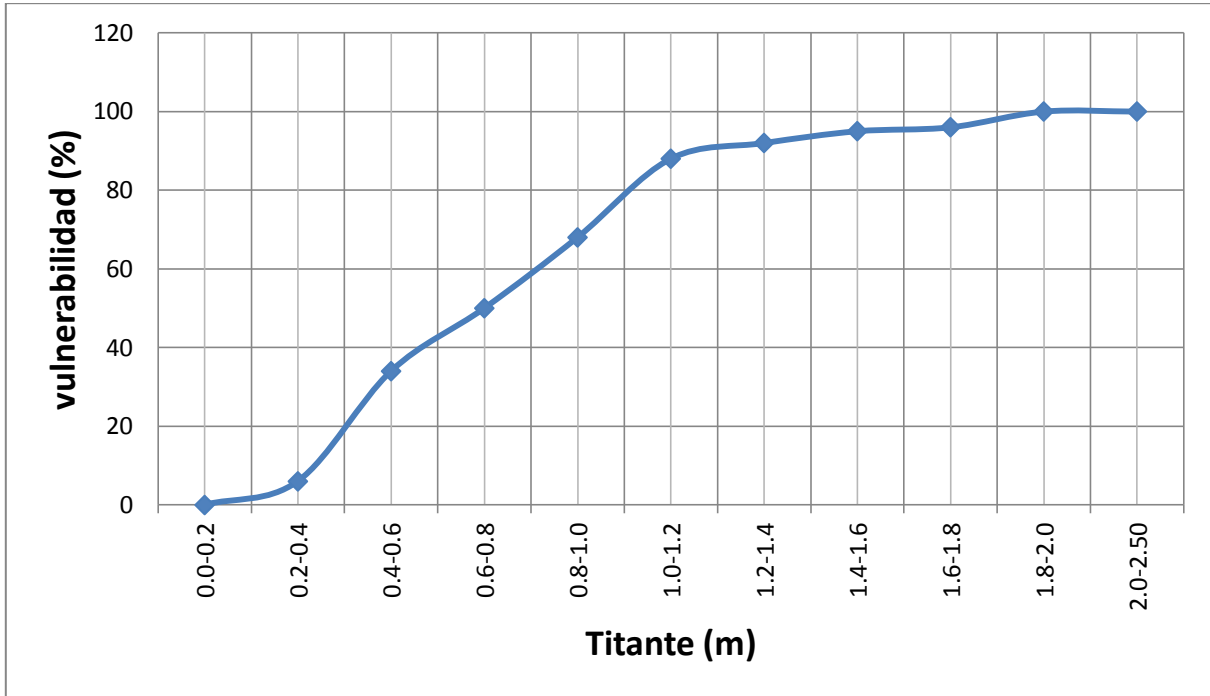


Figura 6.12 Función de vulnerabilidad para vivienda Tipo I. (Salas, 2010)

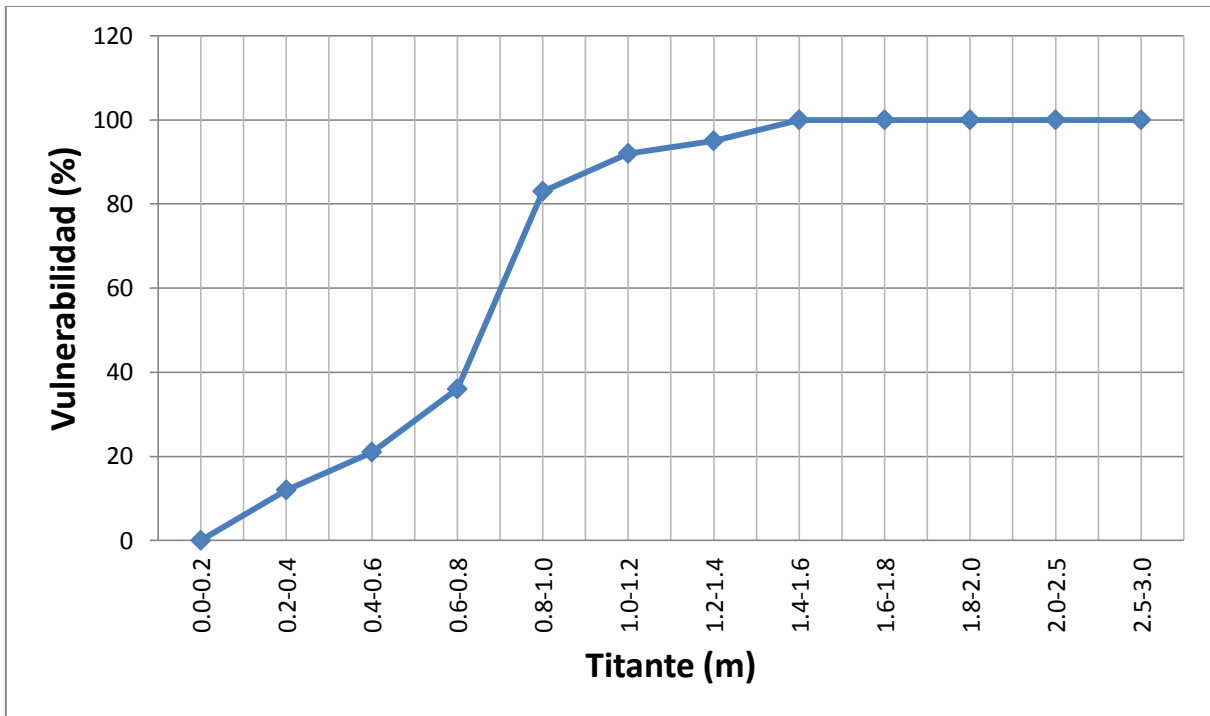


Figura 6.13 Función de vulnerabilidad para vivienda Tipo II. (Salas, 2010)

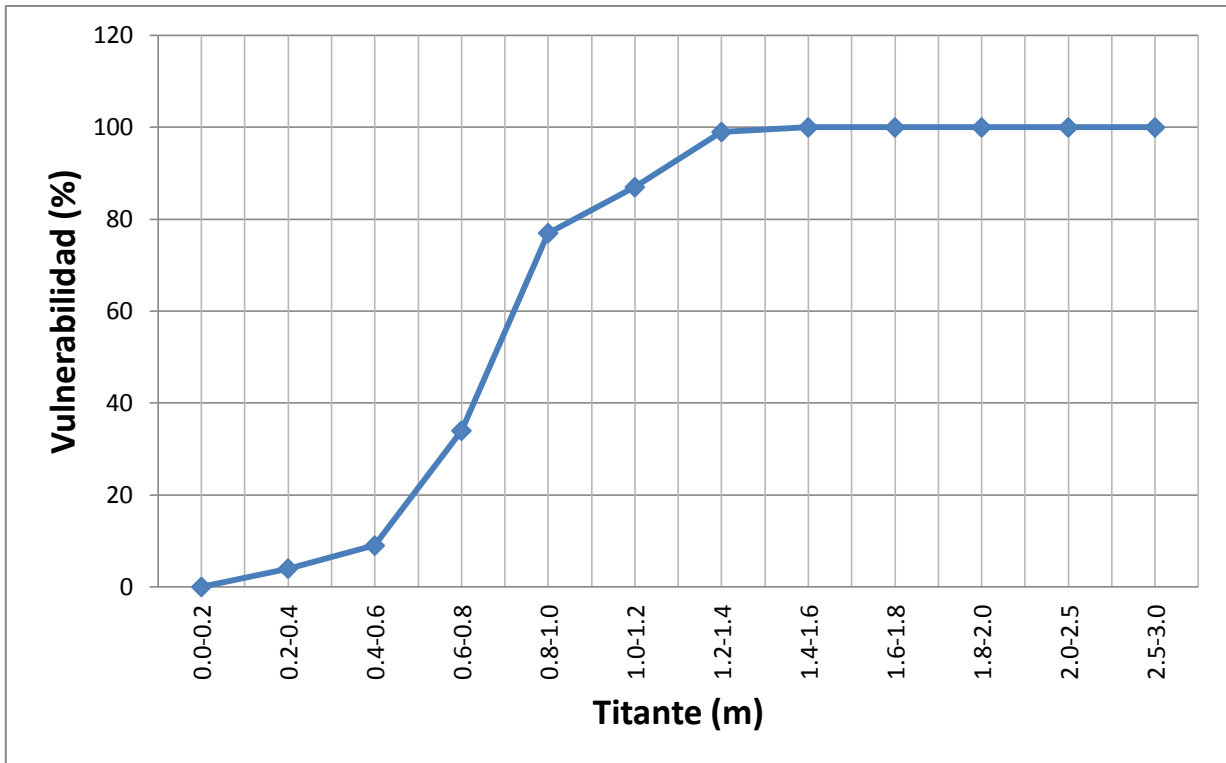


Figura 6.14. Función de vulnerabilidad para vivienda tipo III. (Salas, 2010)

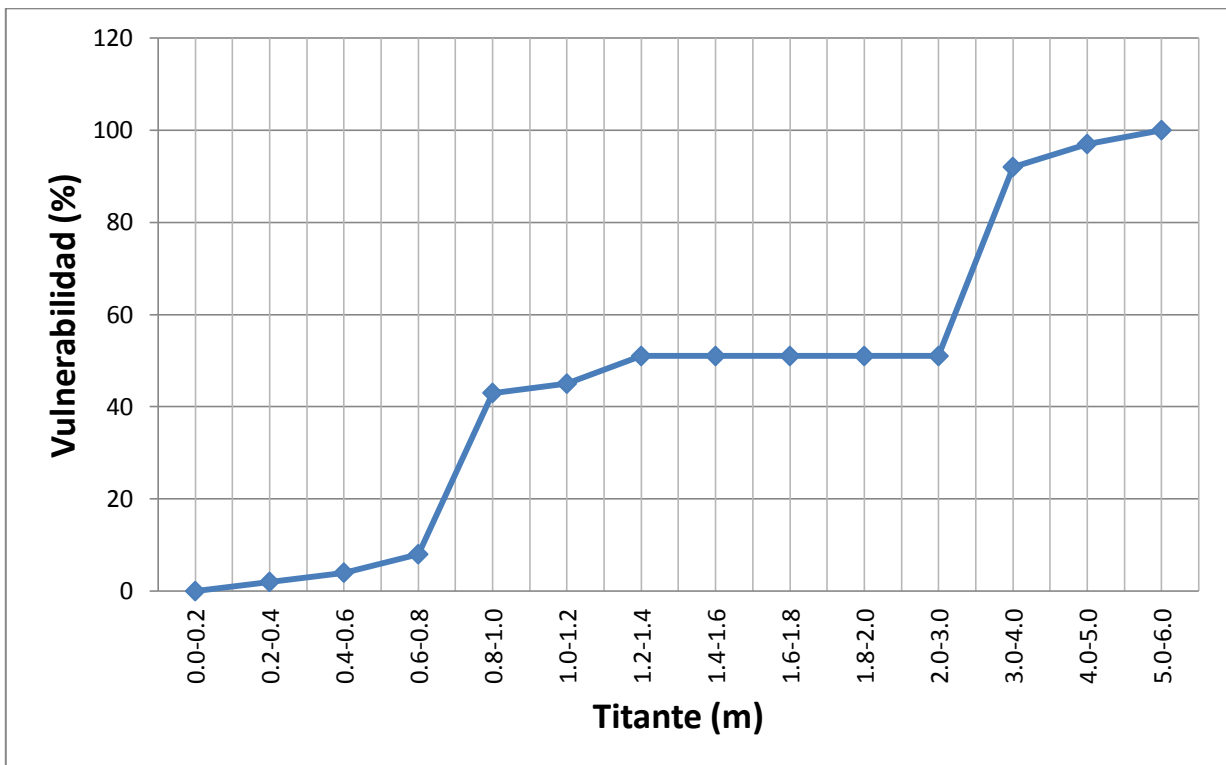


Figura 6.15. Función de vulnerabilidad para vivienda Tipo IV. (Salas, 2010)

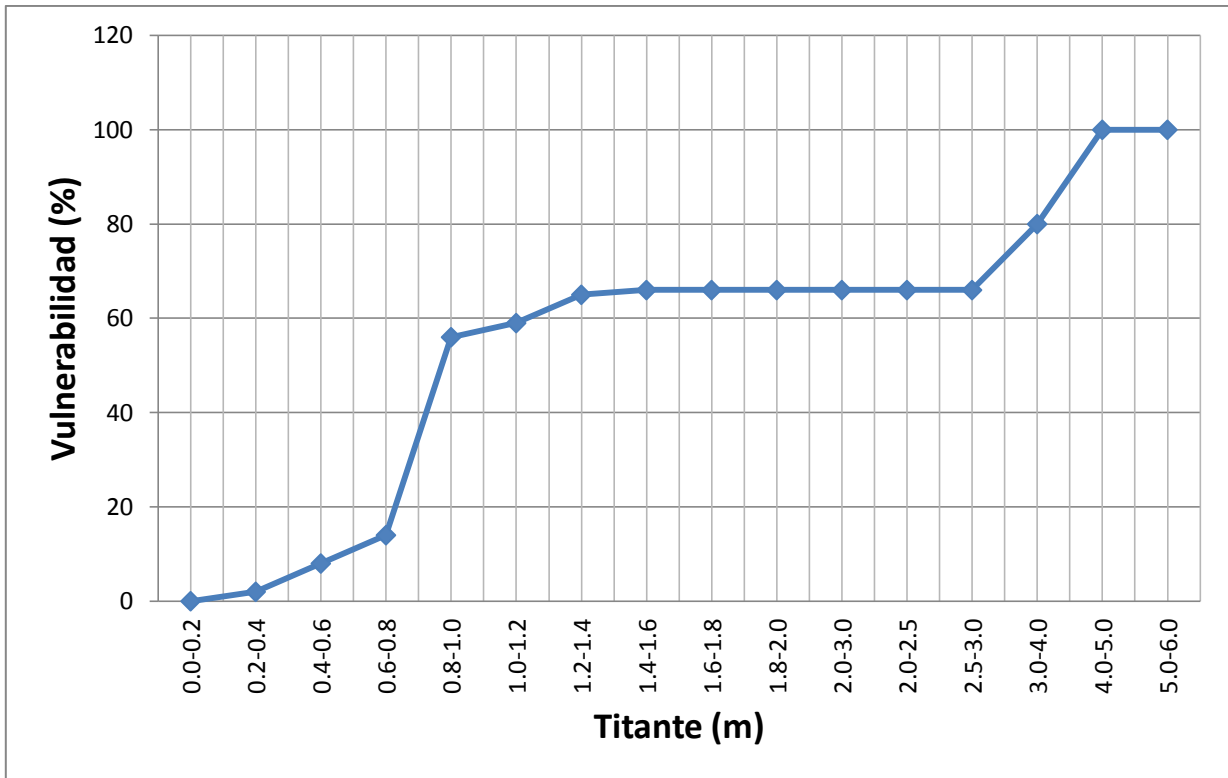


Figura 6.16. Función de vulnerabilidad para vivienda tipo V. (Salas, 2010)

El hablar de vivienda tipo IV, se hace referencia a viviendas con dos o más niveles, por lo que en la Figura 6.15 y 6.16 se observa que la función de vulnerabilidad es casi constante de los 0.8 a los 2.5 m. Lo anterior se debe a que más allá del primer metro de inundación, el porcentaje de pérdida en estas viviendas es mínimo, hasta el segundo piso de la misma y, nuevamente vuelve a dispararse.

Para cada caso se presenta sobre el eje de las abscisas (x) el nivel alcanzado por el agua, en metros, mientras que en el eje de las ordenadas (y) el valor corresponde al porcentaje de daños esperados en la vivienda.

#### 6.1.4.6 Evaluación del riesgo.

La elaboración de los mapas de riesgo por inundación, se realiza con ayuda de los mapas de peligro y de vulnerabilidad, dado que con la combinación de estas variables se determina el riesgo. Es importante comentar que el parámetro seleccionado para estimar el riesgo por inundación es el tirante. Esto significa que los daños esperados dependen del tirante de la inundación, que a su vez es función de la vulnerabilidad y del peligro.

El riesgo en general está dado por la expresión:

$$R = CVP$$

Donde: R es el riesgo, C es el valor de los bienes expuestos, V es la vulnerabilidad o el porcentaje de daños de una vivienda por efecto de una inundación y P es el peligro o la probabilidad de que ocurra un hecho potencialmente dañino.

Dado que la vulnerabilidad así como el peligro son variables dimensionales, las unidades de riesgo serán las mismas que las del valor de los bienes expuestos, que generalmente están dadas en unidades monetarias.

El riesgo R se puede expresarse de varias maneras:

- a) Para un escenario en particular, por ejemplo, para un cierto periodo de retorno. Si el periodo de retorno es de 100 años, el riesgo estará dado por la expresión:

$$R = C V_{T100} P_{100}$$

Donde  $V_{T100}$  es la vulnerabilidad asociada con un tirante o profundidad de inundación con periodo de retorno de 100 años; y  $P_{100}$  es la probabilidad de que se alcance un tirante o profundidad de inundación asociado a un periodo de retorno de 100 años.

- b) Como una estimación del valor esperado de los daños o pérdidas anuales.

Es este caso se estima un valor esperado de los daños de los bienes expuestos, que se tiene año con año, mediante la sumatoria del producto de las funciones de vulnerabilidad, peligro y el valor de los bienes de cada vivienda, de manera que se puede calcular el riesgo con la expresión siguiente:

$$R_j = \sum_{j=1}^m C_j P(i) \cdot V_i(Y_i)$$

Donde el subíndice  $i$  se refiere a cada uno de los niveles de peligro, ó periodo de retorno analizados, y  $j$  se refiere a cada una de las viviendas en la que se realiza el análisis.  $P(i)$  y  $V_i(Y_i)$  son las funciones de peligro y vulnerabilidad, respectivamente.

En la metodología se propone analizar diez periodos de retorno, en el cual cada periodo de retorno tendrá un área de inundación, por lo que entonces se podrá estimar para cada tipo de vivienda un tirante o altura de inundación, con el cual se estimará también la vulnerabilidad de dicha vivienda. Ver Tabla 6.15. Donde se puede observar que es más probable tener tirantes pequeños que tirantes grandes, es decir, los encharcamientos son más frecuentes que las inundaciones mayores.

En caso que lo que se quiera estimar el riesgo para toda la localidad, es necesario sumar el riesgo de cada una de las viviendas. El resultado es:

$$R_j = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n C_j P(i) \cdot V_i(Y_i)$$

Donde  $n$  es el número total de viviendas en la localidad, y  $m$  se refiere a los periodos de retorno analizados.

Tabla 6.15. Función de peligro P(i). (Eslava et al, 2006)

<b>Intensidad (i)</b>	<b><math>T_r(i)</math> (Años)</b>	<b>P(i)</b>
1	2	0.60
2	5	0.20
3	10	0.12
4	25	0.04
5	50	0.02
6	100	0.012
7	250	0.004
8	500	0.002
9	1000	0.001
10	2000	0.0006

Eventualmente será mejor expresar los resultados en un mapa, por lo que se puede calcular un índice de riesgo para cada vivienda de la manera siguiente:

$$I_{R_j} = \frac{R_j}{C_{Max}}$$

Donde  $R_j$  es el valor de los bienes expuesto dentro de la localidad; y  $C_{Max}$  es el máximo valor del bien expuesto dentro de la localidad.

$I_{R_j}$  será Alto si  $0.67 < I_{R_j} < 1.0$ ,

$I_{R_j}$  será Medio si  $0.33 < I_{R_j} < 0.67$ ,

$I_{R_j}$  será Bajo si  $0.0 < I_{R_j} < 0.33$

De hecho se puede asociar un color a cada valor del índice de riesgo, por ejemplo rojo para alto, amarillo para medio y verde para bajo. Una vez hechos los cálculos se puede regresar a la traza urbana y pintar cada vivienda con el color correspondiente según su índice de riesgo, peligro o vulnerabilidad.

El mapa de riesgo permite establecer zonas críticas para las cuales se pueden establecer medidas para mitigar los efectos de la inundación, y estas pueden ser:

- a) Identificar las zonas críticas para cuantificar el daño potencial, desde el punto de vista de inundaciones.
- b) Al proyectar cualquiera de las medidas de protección, ya sea estructurales o no estructurales, estar en posibilidad de llevar a cabo un análisis costo beneficio (comparando los costos de la solución proyectada vs. Los daños potenciales).
- c) En muchos casos es inminente la necesidad de obras de protección; sin embargo, la falta de presupuesto hace que la construcción de este tipo de obras se postergue indefinidamente. Ante esto, un sistema de monitoreo en tiempo real que permita a las autoridades evacuar a la población de manera inmediata, puede ser la solución.
- d) Realizar la reglamentación para la zonificación en los asentamientos humanos.
- e) Realizar obras para el control de inundaciones de forma preventiva una vez establecido la posibilidad de inundación en cierta zona.

### **6.1.5 Modelos computacionales para la simulación de inundaciones.**

Simular el comportamiento de una cuenca hidrológica con la ayuda de un modelo matemático cobra sentido cuando la información obtenida con el mismo resulta imprescindible para lograr un objetivo difícilmente alcanzable por otros medios costosos. Un argumento que justifica el estudio de los ríos es el análisis del riesgo de inundación. Los modelos facilitan la manipulación de las variables que intervienen en el proceso de conversión lluvia-escorrentía, aportando datos sobre la distribución espacial del escurrimiento superficial y mejorando la calidad de la cartografía temática sobre zonas inundables y zonas con riesgo de inundación. Hay, por tanto razones para intentar superar los desafíos que plantea la modelación distribuida de fenómenos hidrológicos e hidráulicos, no en vano lo que se pretende es aumentar la eficacia de los instrumentos de ordenamiento territorial, incluido los urbanísticos, y de los planes de emergencia ante inundaciones.

Los modelos matemáticos encargados de simular el comportamiento de las cuencas de drenaje se denominan modelos hidrológicos y modelos hidráulicos. Los modelos hidrológicos pueden centrarse en una o varias de las secuencias que componen el ciclo hidrológico. Esto es, en las etapas sucesivas por las que el agua pasa de la atmósfera a la corteza terrestre y de ésta de nuevo a la atmósfera implicando: la precipitación, infiltración, escurrimiento, evaporación, transpiración y condensación. Estas fases presentan un dinamismo inherente al propio ciclo que posibilita la circulación hídrica en la superficie terrestre y convierte el desplazamiento de caudales en condiciones abiertas en el punto de encuentro de la hidráulica y la hidrológica. De este modo para comprender el escurrimiento se tiene que recurrir a los principios que rigen la mecánica de fluidos, aunque sin olvidar que el escurrimiento es, tan sólo, uno de los múltiples procesos que se producen en las cuencas de drenaje y que se resuelven en el seno del ciclo hidrológico.

En términos generales un modelo puede definirse como un procedimiento organizado para el análisis de un problema, debiendo reunir características adecuadas en lo que respecta a robustez teórica y representatividad física.

El análisis de lluvias y la distribución de su intensidad en una región de análisis, constituyen el primer paso de varias evaluaciones de amenaza, en particular, el peligro de inundación por desbordamiento de cauces debido al exceso de lluvia que se relaciona directamente con la precipitación pluvial en la cuenca analizada y las características de la topografía del terreno circundante del cauce. Por lo tanto, los modelos utilizados para

determinar los escurrimientos a partir de la precipitación que los origina están basados en relaciones de lluvia-escurrimiento. La metodología para la estimación del peligro de inundación se divide en un análisis hidrológico, un análisis hidráulico y un análisis del flujo en la llanura de inundación. (López, 2012) adoptó esta metodología y mediante el modelo Flo-2D presenta una visión de manejo integral del agua pluvia en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, en México.

En el análisis hidrológico se determina la relación que existe entre la precipitación que cae en una zona con la cantidad de agua que escurre hacia los cauces y que en caso de ser excesiva produce inundación.

En el caso del análisis hidráulico se basa en el estudio del tránsito de avenidas y se define como el cambio que sufre el flujo del cauce de una sección transversal hasta otra ubicada después de un tramo de río o una presa. Este cambio puede ser tanto en su forma como en su desplazamiento en el tiempo. El tránsito se debe realizar mediante modelos de simulación de flujo en cauces naturales y modelos de flujo de llanuras. Este modelo requiere de información detallada de las afluentes en los cauces, sus pendientes, así como las características de sus secciones.

En el análisis de la llanura de inundación, el carácter dinámico de las inundaciones y la influencia del desplazamiento del agua hacia zonas bajas, hacen necesario emplear modelos matemáticos que, por lo menos, incluyan ecuaciones de flujo en dos direcciones horizontales basadas en ecuaciones de conservación de cantidad de momento y de continuidad. Este modelo se requiere de la información del flujo desbordado y la topografía detallada de la zona de estudio.

Alrededor del mundo existe un creciente interés en la modelación de crecida de ríos debido a los eventos de inundación extremos ocurridos. Al ser las inundaciones uno de los riesgos naturales más costosos, su análisis y prevención es un factor clave para las autoridades y organismos relacionados a los recursos hídricos. Los modelos de hidráulica de ríos usados para la modelación de inundaciones pueden clasificarse como modelos hidrodinámicos 1D o 2D. Los primeros modelos 1D son ampliamente usados, estos modelos están basados en las ecuaciones de Saint Venant (Leyes de conservación de masa y momento) para calcular la superficie libre del agua para flujo estacionario y no estacionario. Estas ecuaciones diferenciales parciales se resuelven mediante discretización numérica, usando frecuentemente el método de diferencias finitas, y en

algunos casos mediante elementos finitos, en un esquema implícito. Por otra parte en los modelos hidrodinámicos 2D las ecuaciones de conservación de la masa y momento son expresadas en dos dimensiones y los resultados se calculan en cada punto de la malla en el dominio de solución. Los modelos 2D pueden resolverse usando métodos como el elemento finito, diferencias finitas o volumen finito. Existen estudios de mapeo de inundaciones que han sido realizados usando modelos 1D y 2D. Aunque los modelos 1D son precisos en el cauce principal del río, éstos no son exactos para el flujo sobre los bancos, como por ejemplo la modelación de la onda de propagación desde el río hacia la llanura de inundación. Estos problemas no existen en los modelos 2D, sin embargo tienen la desventaja de requerir un mayor tiempo de implementación, y una alta demanda de datos y tiempo computacional.

Una solución intermedia entre la modelación 1D y 2D es una aproximación cuasi-2D, en este método, las llanuras de inundación son modeladas como ramales de río separados y conectadas al cauce principal por medio de vertederos o estructuras de desbordamiento. Esto permite al flujo de agua ser desbordado sobre la planicie de inundación cuando el nivel del agua excede los bancos o diques del río. Aunque muchos estudios sobre el uso de modelos 1D y 2D, donde se ha realizado su aplicación exitosa para modelar las crecidas, hay poca información sobre la confiabilidad y precisión de los resultados del modelo.

En los modelos unidimensionales 1D se asume que una de las dimensiones prevalece sobre las otras dos. Esta dimensión es longitudinal a lo largo del eje de un río o canal. La información topográfica e hidráulica se introduce mediante secciones transversales, en las cuales se calculan el tirante y velocidad promedio en toda la sección transversal. Es decir, toda la sección es representada por un único valor medio de velocidad, no considerándose variaciones en la distribución de velocidades tanto horizontal como verticalmente. Asume por defecto que el flujo es perpendicular a la sección transversal, lo cual es una de sus limitaciones. Estos modelos son aplicables en tramos de ríos y canales muy largos, y cuando se busca principalmente determinar el máximo nivel de agua.

Los modelos bidimensionales 2D consideran las variaciones en las dos dimensiones del plano horizontal. Las variaciones de la velocidad u otra magnitud de interés en la columna vertical de agua se promedian y se asume como un único valor. Estos modelos son especialmente útiles en flujos muy extendidos donde la variación vertical de velocidad es pequeña, por eso suelen llamarse modelos de aguas someras o poco profundas.

En general el enfoque adoptado para la modelación hidrodinámica 1D ha sido las ecuaciones diferenciales de Saint Venant. Estas ecuaciones expresan la ecuación de continuidad y las ecuaciones de Navier Stokes en una dimensión a través de las siguientes expresiones:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left( \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA(S_f - S_o) = qV$$

Donde Q es el gasto, A es la sección transversal,  $S_o$  es la pendiente de la plantilla,  $S_f$  es la pendiente de fricción y  $q$  es la entrada de flujo lateral. Algunas suposiciones para usar la ecuación de Saint Venant es que la distribución de presión es hidrostática, la pendiente del fondo de la plantilla es pequeña de tal manera que el tirante puede ser medido perpendicularmente al fondo de la plantilla, las pérdidas de carga en flujo no permanente puede ser calculado mediante las ecuaciones de Manning o Chezy, entre otras simplificaciones.

El mismo principio que se usa en las ecuaciones de Saint Venant 1D se usa en las ecuaciones 2D que son derivadas a partir de la ecuación de continuidad y las ecuaciones de Navier-Stokes. Teniendo de igual manera las siguientes hipótesis: Ahora considerando que la fuerzas que actúan son la gravedad en la dirección vertical y la fuerza de Coriolis en el plano horizontal, la curvatura que tiene las líneas de corriente es pequeña, por lo que también se considera una distribución hidrostática y el movimiento principal de las partículas ocurre en los planos horizontales. Resultando de esta manera las ecuaciones usadas para modelos 2D son:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( hu^2 + \frac{1}{2}gh^2 \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = Cvh + \frac{\tau_{sx}}{\rho} + gh(S_{ox} - S_{fx}) + S_{t1}$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left( hv^2 + \frac{1}{2}gh^2 \right) = Cuh + \frac{\tau_{sy}}{\rho} + gh(S_{oy} - S_{fy}) + S_{t2}$$

Donde  $h$  es el tirante,  $u$  y  $v$  son las componentes del vector velocidad en las direcciones  $x$  y  $y$  respectivamente, en cada punto del plano horizontal,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $C$  refleja el efecto de la fuerza de Coriolis,  $\tau_{sx}$  y  $\tau_{sy}$  están asociados con el efecto del viento en la superficie del fluido. Los términos  $S_{ox} = -\frac{\partial z}{\partial x}$  y  $S_{oy} = -\frac{\partial z}{\partial y}$  miden la pendiente del terreno en las direcciones  $x$  y  $y$  respectivamente, siendo  $z$  una función que describe el fondo o terreno. Las expresiones

$$S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$

$$S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$

Reflejan el efecto de la fricción del fluido con el terreno, donde  $n$  es el coeficiente de Manning, y

$$S_{t1} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ 2v_t h \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ v_t h \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right]$$

$$S_{t2} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ v_t h \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ 2v_t h \frac{\partial v}{\partial y} \right]$$

Representan los efectos turbulentos del fluido, siendo  $v_t$  la viscosidad turbulenta.

Son necesarias condiciones iniciales y de contorno para la resolución del sistema de Saint Venant, aunque en situaciones generales no existen soluciones analíticas del problema, Ante esto, una opción es recurrir a los métodos numéricos como ya se mencionó.

Existen diversos programas informáticos que modelan las inundaciones y permiten un análisis en relación con la hidráulica fluvial, utilizando como complemento los sistemas de información geográfica (SIG). Los resultados de la ejecución de estos programas, pueden aplicarse para la calibración de los modelos o para calcular los datos de entrada, a partir de los cuales podrán obtenerse resultados de zonificación y amenaza por inundación.

Es claro que existen muchos paquetes informáticos en el mercado que cuentan con las características matemáticas y de programación necesarios para modelar adecuadamente la dinámica de cuerpos de agua naturales. Sin embargo, el espectro de búsqueda debe ser acotado para cumplir con los objetivos del proyecto planteado. Es importante aclarar que todo modelo matemático es una simplificación de la realidad y que las ecuaciones

que describen el comportamiento del flujo no permanente tienen limitaciones por sí solas. Lo anterior apunta hacia el hecho que no por ser un software costoso se pueda ajustar de mejor manera a las características particulares de un problema específico. Es de vital importancia que en el proceso de modelación, la herramienta informática seleccionada sea familiar y se ajuste a la cantidad y calidad de la información técnica existente y disponible.

En la Tabla 6.16 se presenta las características principales de algunos sistemas computacionales disponibles para el análisis de inundaciones.

Tabla 6.16. Algunos sistemas computacionales disponibles para la simulación y análisis de inundaciones.

Modelo	Descripción	Método de Cálculo	Datos básicos de entrada	Resultados
HEC-RAS	Modelo de dominio público desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EUA. Permite intercambio de datos con el sistema de información geográfica, mediante el HEC-GeoRAS. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis de flujo permanente unidimensional gradualmente variado en superficie libre.	Soluciona las ecuaciones de Saint Venant para flujo no permanente en canales abiertos. Las ecuaciones básicas de momento y continuidad con aproximaciones mediante sistemas de ecuaciones lineales implícitas, usando esquemas de Preissman. Además usa la ecuación empírica de Manning	Datos geométricos y topográficos de la cuenca en estudio.	Permite la modelación hidráulica en régimen permanente y no permanente en canales y ríos. A partir de ésta herramienta se pueden obtener los datos de entrada para los modelos de predicción de inundaciones, como por ejemplo elevaciones de la superficie de agua durante un determinado evento.

continúa Tabla 6.16

Modelo	Descripción	Método de Cálculo	Datos básicos de entrada	Resultados
LIS FLOOD-FP	<p>Generación de modelos de inundación en 2D. Es un modelo de precipitación-escorrimento de base parciamente física. Se puede combinar con un modelo climático de alta resolución como HIRHAM</p>	<p>El modelo es evaluado con la herramienta GLUE(Generalized Likelihood Uncertainty Estimation) Monte Carlo. Esta metodología reconoce que diferentes combinaciones de parámetros del modelo pueden generar representaciones aceptables de las observaciones disponibles.</p>	<p>Niveles de un río para un evento de inundación. Grados de inundación de eventos anteriores recolectados de sensores de radar. Datos hidráulicos básicos (tales como rugosidad en el plano de flujo y en el canal, ancho efectivo del río, etc) Se pueden utilizar como datos de entrada, los generados por HIRHAM, los cuales resultan de una simulación realista del régimen de descarga</p>	<p>Valores de profundidad del agua para elaboración de mapas. Datos para la elaboración de mapas de amenaza por inundación.</p>
SOBEK	<p>Modelo hidrodinámico 2D para representación de inundaciones</p>	<p>Modelo con base en redes simultaneas de inundación de canales, flujos multidireccionales, saltos hidráulicos, etc</p>	<p>Utiliza un modelo de elevación digital de terreno (DEM) y además requiere de una hidrografía inicial</p>	<p>Profundidad y velocidad del flujo. La exportación de estos datos a un SIG permite la obtención de esfuerzos cortantes, niveles de corriente y Numero de Froude.</p>

Continúa Tabla 6.16.

Modelo	Descripción	Método de Cálculo	Datos básicos de entrada	Resultados
FLO-2D	<p>El modelo permite el cálculo de profundidades, velocidades y presiones en cualquier momento y en cualquier celda analizada. Se centra en la obtención de sedimentos por inundación y el depósito de materiales. Simulación de flujos y avalanchas</p>	<p>El programa FLO-2D se caracteriza por contar con la interacción de un modelo hidráulico con uno hidrológico. Basado en la modelación de procesos físicos los cuales introducen hietogramas de precipitación-escorrimento y flujo sobre superficies no confinadas y canales usando la aproximación cinemática, difusa y dinámica de la ecuación de momento. Este programa trabaja con elementos finitos que permite la interacción entre el canal del cauce y la planicie de inundación</p>	<p>Requiere un modelo de elevación digital del terreno (DEM) y la hidrografía de entrada</p>	<p>Permite transitar crecientes con flujos hiperconcentrados y simular la ruptura de diques lo que lo hace una herramienta muy útil para evaluar el riesgo por inundación en ríos de planicie y de alta pendiente.</p>
MIKE 21	<p>Modelo de cálculo hidrodinámico desarrollado por DHI(1999)</p>	<p>Basado en ecuaciones no lineales de continuidad y balance de momento.</p>	<p>Registros históricos de flujos</p>	<p>Nivel del agua para diferentes puntos y flujo a la profundidad promedio en la redes de análisis. Los componentes del flujo son evaluados en los bordes de la red y el nivel del agua es evaluado en el centro de la red.</p>

Continúa Tabla 6.16

Modelo	Descripción	Método de Cálculo	Datos básicos de entrada	Resultados
SWMM	<p>Modelo de alcantarillado para aguas pluviales SWMM( de sus siglas en ingles Storm Water Managment Model) desarrollado por Environmental Protection Agency de EUA. Sirve para simular el flujo de agua en sistemas de drenaje. Por otro lado, es útil en el análisis de flujos de escurrimiento que superan la capacidad de diseño de los sistemas de alcantarillado, así como desborde del agua en colectores, pozos y estaciones de bombeo, que conducen las inundaciones urbanas</p>	<p>Utiliza soluciones numéricas de las ecuaciones de Saint Venant, así como ecuaciones empíricas de la hidráulica como las de Manning y Darcy</p>	<p>Pendiente, datos geométricos del alcantarillado y del área de escurrimiento, usos del suelo, coeficientes de fricción, entre otros</p>	<p>Hidrogramas y análisis de los flujos que exceden la capacidad de los sistemas de alcantarillado. Combinando con los modelos de inundaciones en 2D arroja resultados para el manejo de inundaciones urbanas.</p>
DAMBRK	<p>Este modelo fue desarrollado por el NWS (National Weather Service de los Estados Unidos) FLDWAV, ya que éste último es la perfección del primero.</p>	<p>Calcula los hidrógramas de salida de presas que están fallando teniendo en cuenta la geometría de la falla, el almacenamiento en el embalse y las entradas a este. La hidrógrafa de salida es transitada dinámicamente a través del valle aguas abajo.</p>	<p>Es necesario tener una solución aproximada a las ecuaciones completas de Saint Venant. Con el fin de poder utilizar DAMBRK en forma exitosa, al igual que cualquier otro paquete que solucione las ecuaciones completas.</p>	<p>Los resultados del modelo incluyen las profundidades aguas abajo en función del tiempo y el tiempo de viaje de la onda.</p>

La investigación sobre los modelos que simulan inundaciones, ha entrado en una fase dinámica como resultado de las posibilidades computacionales que permiten asimilar datos para predecir los sistemas naturales. Aunque se ha avanzado menos en el diseño de nuevos algoritmos de solución, esta tendencia es probable que persista en la solución numérica de las ecuaciones de flujo de agua de poca profundidad, que a su vez llevará a una mejor comprensión de las incertidumbres inherentes a estos códigos cuando se utilizan en el marco de calibración. Actualmente en México se cuenta con metodologías para la creación de mapas de peligros y riesgos elaboradas por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, mediante la utilización de modelos computacionales en 1D y 2D (IMTA). (Alcocer et al, 2012)

El avance que se ha hecho en los últimos años en metodologías para la simulación de los sistemas de drenaje urbano ha sido espectacular. La hidrología urbana se ha establecido ya como una disciplina independiente de la hidrología clásica, con sus propias vías de investigación y con el objetivo de describir los procesos hidrológicos e hidráulicos dentro del ámbito urbano. Dentro de las nuevas posibilidades abiertas con la investigación de éste campo, pueden ofrecer en breve las nuevas herramientas aplicables a la gestión de las inundaciones. La prevención de las inundaciones en áreas urbanas causadas por un inadecuado dimensionamiento de la red de drenaje pluvial es un objetivo que se debe tener en cuenta en el desarrollo de un plan de drenaje urbano y como aplicación de los modelos computacionales para la simulación de inundaciones. En concreto, la modelación dual (2D) y los avances en la calibración de los modelos abren nuevas vías para poder explicar los procesos que intervienen en el drenaje urbano.

Para poder contribuir a los retos planteados es necesario el establecimiento de nuevos modelos de gestión de los sistemas de saneamiento, incorporando para ello las nuevas herramientas más modernas y eficaces aplicadas a otras infraestructuras, considerar el drenaje urbano y su infraestructura como una parte más del planteamiento territorial y el establecimiento de mecanismos de cooperación entre las instituciones relacionadas con el mismo.

### **6.1.6 Metodología para evaluar el peligro de contaminación de agua subterránea.**

Se considera que el agua está contaminada cuando su composición se ha alterado de modo que no reúna condiciones necesarias para ser utilizada beneficiosamente en el consumo del hombre y de los animales.

Entre los daños que pueden generar las inundaciones, el riesgo más grave, por sus consecuencias es la contaminación de fuentes de abastecimiento. La contaminación a fuentes de abastecimiento se puede dar como:

- Contaminación de las fuentes superficiales de agua potable, generada por arrastre de animales muertos a las cercanías de las tomas, por aumento excesivo de la turbidez del agua, o por arrastre de sustancias tóxicas y contaminantes (como las aguas residuales, químicos de la industria, etc).
- Contaminación de las fuentes de aguas subterráneas, se presentan cuando el nivel de inundación sobrepasa la altura del brocal de los pozos y se vierte directamente sobre pozos y otras captaciones. Así como la infiltración de agua contaminada por actividades agrícolas, desechos industriales como los hidrocarburos, pinturas y esmaltes, etc.

La contaminación de las fuentes de abastecimiento puede presentarse por fuentes naturales o debido a las actividades humanas. En la actualidad la más importante sin duda es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización supone un mayor uso de agua, una gran generación de residuos, muchos de los cuales van a parar a las fuentes de abastecimiento. Las aguas superficiales son en general más vulnerables a la contaminación, debida a la exposición directa a las actividades humanas. Por otra parte una fuente superficial se puede restaurar más rápido que una fuente subterránea a través de los ciclos del escurrimiento superficial.

Las aguas subterráneas son una de las principales fuentes de suministro para uso doméstico y para el riego en México. Para fines de administración del agua subterránea en México, el país se ha dividido en 653 acuíferos, cuyos nombres oficiales han sido publicados en el Diario Oficial de la Federación el 5 de diciembre del 2001. El volumen concesionado para usos consuntivos de agua subterránea en México es del 37%(30.1 miles de millones de m<sup>3</sup>/año).

Es este apartado se presenta una propuesta metodológica para determinar el peligro de contaminación de agua subterránea. (Foster et al, 2002)

1. **Mapeo de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos.** Es el primer paso en la evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea y protección de su calidad a escala local. Para la evaluación del índice de vulnerabilidad se utiliza el método GOD (Groundwater hydraulic confinement, Overlaying strata, Depth to groundwater table, por sus siglas en inglés) el cual está en función de los siguientes parámetros: a) grado de confinamiento hidráulico; b) Tipos de sustrato en términos de características litológicas y grado de consolidación, que determinan su capacidad de atenuación de contaminantes; y c) La profundidad al nivel freático del agua en acuíferos no confinados o el nivel piezométrico de acuíferos confinados. Finalmente el índice de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos se integra por el producto de cada uno de los parámetros mencionados por el método GOD.
2. **Delimitación de áreas de protección de las fuentes de agua potable.** La proximidad a las fuentes de abastecimiento de agua subterránea de ciertas actividades sobre el terreno es un factor clave que influye en el peligro de contaminación de agua. Existen una amplia variedad de métodos para determinar los perímetros de protección de las fuentes. Históricamente se han usado tanto zonas circulares de radio fijo arbitrario, como formas elípticas muy simplificadas. Asimismo existen fórmulas y modelos analíticos y modelación numérica de acuíferos. Los resultados de la delimitación deben ser tratados en mapas finales de áreas de protección de la fuente los cuales pueden ser sobreimpuestos a los mapas de vulnerabilidad del acuífero con el propósito de evaluar el peligro de contaminación de las fuentes de agua subterránea.
3. **Inventario de cargas contaminantes al suelo.** En este punto se deberá realizar una revisión general de las posibles fuentes de contaminación, ya que son ellas las que generan las emisiones de contaminación en el ambiente subterráneo. La clasificación de las actividades potencialmente contaminantes de acuerdo a su distribución espacial provee una impresión directa y visual del tipo de peligro de contaminación del agua subterránea. Los datos de fuentes de contaminación puntual pueden ser fácilmente representados en mapas de misma escala para el mapeo de vulnerabilidad y para la delimitación de áreas de protección de las

fuentes de abastecimiento de agua subterránea. Con esta interacción de datos facilita la evaluación de peligro de contaminación del acuífero

#### **4. Evaluación y control de los peligros de contaminación del agua subterránea.**

El peligro de contaminación del agua subterránea puede definirse como la probabilidad que un acuífero experimente impactos negativos a partir de una actividad antrópica dada hasta un nivel tal que su agua subterránea se torne inaceptable para el consumo humano, de acuerdo con los valores guía de la Organización Mundial de Salud para calidad de agua potable. En términos prácticos, la evaluación del peligro involucra la superposición de los resultados del inventario de cargas contaminantes, con el mapa de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos.

La evaluación de los peligros de contaminación del acuífero es un prerrequisito esencial para establecer un plan de contingencia para la prevención de contaminación en los sistemas de abastecimiento de agua subterránea en caso de inundación. Un plan de contingencia consiste en la identificación de las amenazas o eventos potenciales que pueden causar daño o contaminación a los abastecimientos de agua subterránea, y el desarrollo de acciones o procesos que se deben de seguir antes que esas eventualidades se presenten. (Foster et al, 2002)

##### **6.1.7 Delimitación de la zona federal.**

La delimitación propiamente dicha es la definición de un conjunto de reglas para la ocupación de las áreas de mayor riesgo de inundación, previendo la minimización futura de las pérdidas materiales y humanas en función de las grandes crecidas. Se concluye de esto, que la delimitación urbana permitirá un desarrollo racional de las áreas ribereñas.

La reglamentación del uso de zonas de inundación puede ser apoyada con los mapas de peligros o de riesgos, en los criterios de ocupación de estas, en cuanto al uso y a los aspectos constructivos. Para que ésta reglamentación sea utilizada beneficiando las comunidades, debe ser integrada a los planes de desarrollo urbano.

El riesgo de ocurrencia de inundación varía con la respectiva cota del terraplén. Las áreas más bajas obviamente están sujetas a mayor frecuencia de ocurrencia de crecidas. Así, la delimitación de las áreas depende de las cotas altimétricas de las áreas urbanas.

El río normalmente posee dos cauces. El cauce principal corresponde a la sección de escurrimiento en régimen de sequía, o de niveles medianos. Y el cauce mayor o de avenidas que puede tener distintas ramificaciones de acuerdo con la topografía de la planicie inundable. El río normalmente acostumbra ocupar durante una crecida este lecho. Cuando el periodo de retorno de desbordamiento del cauce principal es superior a 2 años, existe la tendencia de la población en ocupar la planicie inundable. Esta ocupación genera aumento en los niveles de las avenidas, ocasionando daños importantes a los ocupantes de estas áreas y, también, a las poblaciones aguas arriba; el aumento en las elevaciones de niveles es a consecuencia de la obstrucción del escurrimiento natural causado por los primeros ocupantes.

El cauce de avenidas se puede dividir en tres zonas, las cuales son: (Tucci, 2007)

Zona de pasaje de la crecida. (Faja 1 de la Figura 6.18). Esta parte de la sección permite el escurrimiento en la crecida. Cualquier construcción en esta área reducirá el área de escurrimiento, elevando los niveles aguas arriba de esta sección. Por lo tanto, en cualquier planteamiento de desarrollo urbano, se debe mantener esta zona sin obstrucción.

Los criterios técnicos generalmente utilizados son los siguientes: (Tucci, 2007)

- Determinar la crecida con periodo de retorno de 100 años.
- La sección por donde pasa esta crecida, será la que evita el aumento de los niveles para el cauce principal y para la planicie de inundación. Como este valor difícilmente es nulo, se adopta un aumento mínimo aceptado para el cauce principal, simulando un bordo libre como medida de seguridad. En Estados Unidos se adopta como aumento mínimo igual a un pie o 30.45 cm (Ver Figura 6.17)

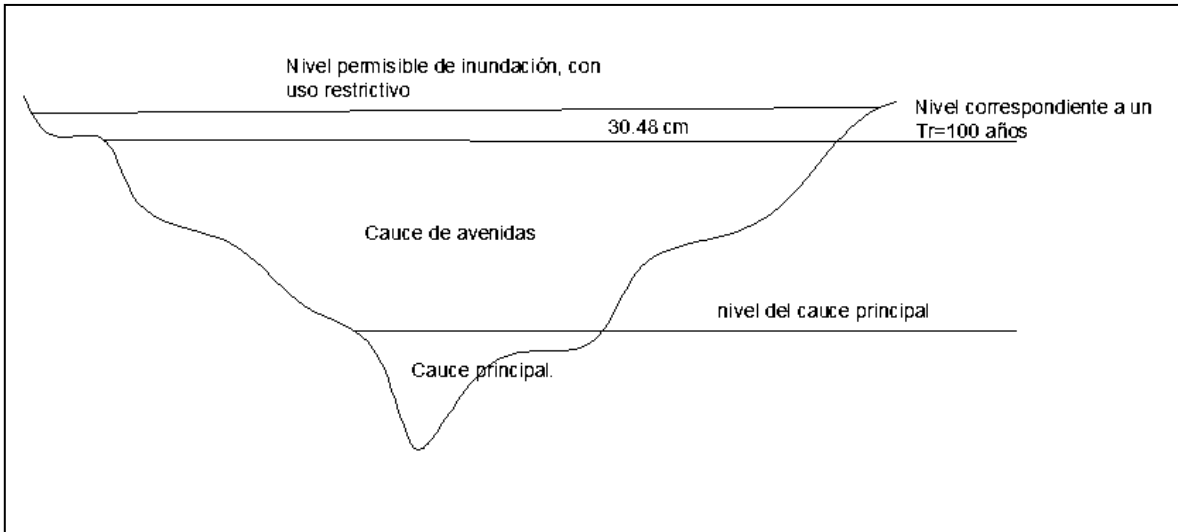


Figura 6.17. Definición de la zona de pasaje de la avenida. (Tucci, 2007)

Esta faja del río debe quedar libre de obstrucciones para evitar daños importantes y representativos. En esta faja no se debe permitir ninguna construcción. En la construcción de obras como rutas y puentes se debe verificar si las mismas producen obstrucciones al escurrimiento. En aquellas ya existentes se debe calcular el efecto de la obstrucción y verificar las medidas que pueden ser tomadas para la corrección. Esta área puede ser utilizada para agricultura u otro uso similar a las condiciones de la naturaleza.

Zona con restricciones. (Faja 2 Figura 6.18). Es el área restante de la superficie inundable que debe ser reglamentada. Esta zona queda inundada, pero debido a las pequeñas profundidades y bajas velocidades, no contribuyen mucho para el drenaje de la crecida. Esencialmente sus usos pueden ser: parques y actividades de recreación o deportivas cuyo mantenimiento después de cada crecida, sea simple y de bajo costo. Normalmente una simple limpieza va a recomponer su condición de uso, en corto espacio de tiempo; uso agrícola; zonas habitación con más de un piso, donde el piso superior quedará por lo menos en el nivel límite de la crecida y estructuralmente protegida contra crecidas; industria, como áreas de carga, estacionamiento, áreas de almacenamiento de equipos y maquinaria fácilmente removible (no permitir artículos tóxicos).

Zona de bajo riesgo. (Faja 3 de la Figura. 6.18) esta zona posee pequeña probabilidad de ocurrencia de inundaciones, siendo alcanzada en años excepcionales por pequeñas laminas de agua y bajas velocidades. La definición de esta área es útil para informar a la

población sobre la magnitud del riesgo al que está sujeta. Esta área no necesita reglamentación con respecto a las crecidas.

En esta área, delimitada por crecidas de baja frecuencia, se puede disponer de medidas individuales de protección para las habitaciones, pero se debe orientar a la población para la eventual posibilidad de crecida y de los medios de protección de las pérdidas resultantes, recomendando el uso de obras con, por lo menos, dos pisos, donde el segundo puede ser usado en los periodos críticos.

Usualmente en las ciudades de países en desarrollo, la población de menor poder adquisitivo y marginada ocupa las áreas ribereñas de mayor riesgo. La reglamentación de la ocupación de áreas urbanas es un proceso iterativo, que pasa por una propuesta técnica que es discutida por las autoridades correspondientes antes de ser incorporada al plan de desarrollo urbano de una ciudad. Por lo tanto, no existen criterios rígidos aplicables a todas las ciudades.

En México la definición de las zonas inundables está relacionada con el concepto de zona federal Ver sección 6.1.1.11, en el cual se define un franja en la cual quedan incluidos el cauce principal y una zona para dar mantenimiento del mismo, que en ocasiones se ha confundido como el de seguridad ya que es el territorio donde ocurren las crecientes ordinarias con un cierto periodo de retorno. Así, fuera de la zona federal quedan las planicies que son potencialmente inundables durante las crecientes extraordinarias.

Se puede agregar una reglamentación para evitar la construcción de fuentes de abastecimiento en las zonas federales y áreas propensas a inundación, esto con el fin de evitar la contaminación de las fuentes de abastecimiento superficiales y subterráneos de agua potable.

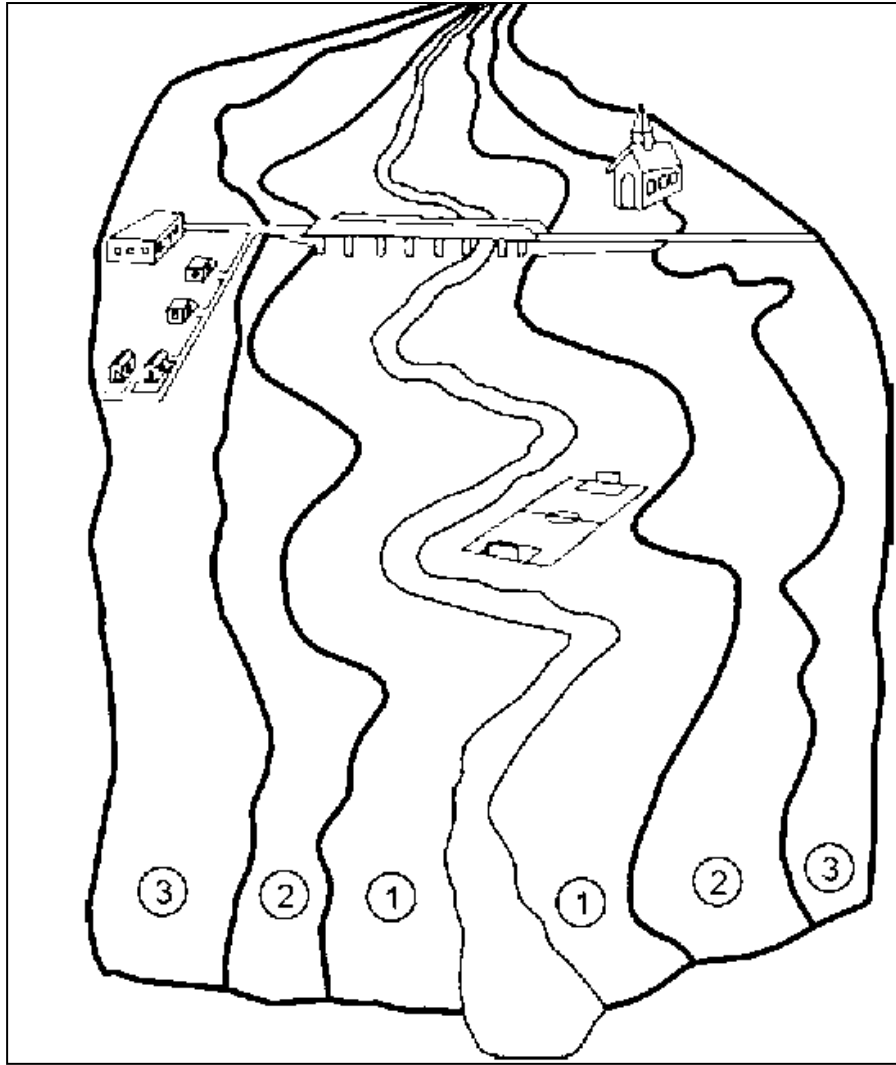


Figura 6.18. Zona de reglamentación de la zona inundable. (Tucci,2007)

### **6.1.8 Seguros contra inundaciones.**

El seguro descansa sobre la ley de los grandes números, que es conocida como el postulado científico en que se establece que los fenómenos eventuales, que circunstancialmente se producen o manifiestan al examinar continuamente un mismo acontecimiento, decrecen en su irregularidad hasta adquirir una constante, a medida que aumenta el número de veces en que la observación es realizada o se extiende la masa de hechos a que se aplica dicha observación. Las consecuencias derivadas de esta ley, cuando su aplicación se efectúa sobre una adecuada y suficiente base estadística, determinan el grado de posibilidad de que se produzca determinado acontecimiento. Por ello, esta ley es la base fundamental de la técnica actuarial en cuanto se refiere al cálculo y determinación concreta de las primas que deben aplicarse para la cobertura de riesgos. (MAPFRE, 2012).

Por tanto se conoce como seguro a un contrato a través del cual el asegurado transfiere un riesgo a un tercero (institución de seguros) a cambio de una suma de dinero denominada prima o cuota. La institución de seguros que toma el riesgo asume el compromiso de resarcir o indemnizar la pérdida o daño ocasionado por realización del riesgo. Por ello el seguro es un instrumento que satisface una necesidad de protección del ser humano.

El objetivo del seguro, en términos generales, es brindar protección ante las eventualidades dañinas a que está expuesto el ser humano, sus actividades, sus bienes y su vida. El seguro es importante en la economía de una persona, de una empresa, de un gremio o de un país, pues evita un desequilibrio en el patrimonio al compensar o cubrir las pérdidas o daños sufridos.

Particularmente en los seguros se traduce que las primas de muchos, pagan siniestros de pocos, en la mayoría de los casos se mantiene este equilibrio, pero existen ocasiones que se presenta desviaciones estadísticas en la siniestralidad de gran amplitud y en un lapso de tiempo corto, a esto se le conoce como riesgo catastrófico.

Para contrarrestar el riesgo catastrófico, se tiene lo que se conoce como reaseguro el cual, desde un punto de vista jurídico, es un acuerdo de voluntades por el cual el reasegurado transfiere a un reasegurador, para que éste responda por la parte transferida en caso de que se presente el evento objetivo del seguro.

Se conocen tres tipos de reaseguro en las definiciones de actuaria, y los referentes a riesgos catastróficos se tienen: (Gonzales, 2011).

- El reaseguro tradicional. El cual es un contrato en virtud del cual, el reasegurador toma a su cargo los riesgos de la cedente, en una proporción de las obligaciones de ésta frente a su cliente, de una manera autónoma e independiente, y por la cual recibe la parte proporcional de las primas correspondientes a los riesgos asumidos. O bien cubre a la cedente resarciéndole, en su caso, por las desviaciones de la siniestralidad esperada, cobrándose una prima convenida a la celebración del contrato.
- El reaseguro financiero. Durante años el reaseguro operó bajo los sistemas tradicionales, pero ante la necesidad de hacer frente a un mundo cuya creciente y vertiginosa complejidad ha dado como resultado el surgimiento de nuevos riesgos se ha hecho necesario la creación de nuevas metodologías de transferencia de riesgos entre las cuales destaca el reaseguro financiero. El cual puede entenderse como la transferencia por parte de una cedente a otra, que asume una responsabilidad relacionada con las pérdidas potenciales, y la transferencia se lleva a cabo por medio de una transacción en donde el elemento prioritario del riesgo es financiero en lugar de suscripción.
- Activos Financieros sobre Riesgos Catastróficos. Dichos activos surgen en 1992 con la aparición de los contratos “CAT” y “CAT futures” correspondientes a los contratos catastróficos y los contratos futuros catastróficos respectivamente. Fueron diseñados para el mercado asegurador, y tenían como subyacente la siniestralidad que relacionaba las pérdidas acumuladas en un periodo a causa de una catástrofe y el volumen estimado de primas destinadas a cubrir este tipo de pérdidas. Estos contratos cubren las pérdidas en las que se incurre como consecuencia de catástrofes que se producen en un periodo dado, tanto a nivel nacional o a una zona geográfica determinada. Esta diferenciación entre zonas y periodos se debe a la diferente exposición a las catástrofes, tanto por su naturaleza como por su frecuencia y amplitud, según las regiones y las estaciones del año consideradas, entro los principales riesgos catastróficos se pueden considerar a los huracanes inundaciones, incendios y terremotos.

El gobierno de los Estados Unidos de América lanzó en 1968 el Programa Nacional del Seguro contra Inundaciones (NFIP, por sus siglas en ingles). El NFIP es un programa

federal que permite a los propietarios de inmuebles en las comunidades participantes, adquirir la protección de un seguro contra pérdidas ocasionadas por inundaciones. La participación en el NFIP se basa en un convenio celebrado entre las comunidades locales y el gobierno federal en el cual se manifiesta que si una comunidad adopta y observa una ordenanza para el manejo de tierras susceptibles de inundarse para disminuir los riesgos de inundación en el futuro en las nuevas construcciones en las zonas con riesgo especial de inundación, el gobierno federal se encargará de que la comunidad disponga de un seguro contra inundaciones como protección financiera contra pérdidas ocasionadas por inundaciones.

El NFIP tiene tres componentes interrelacionadas.

- La ley de administración de tierras prohíbe el proporcionar seguro contra inundaciones a los propietarios de inmuebles a menos que la comunidad adopte y observe criterios para la administración de tierras susceptibles a inundarse, los cuales se establecen en los reglamentos del NFIP.
- Elaboración de mapas de tierras en peligro de inundación. Deben trazarse los mapas de las comunidades y establecerse las zonas de riesgo en un mapa. Los resultados de un estudio del seguro contra inundaciones se presentaran en un mapa. Al cual se denomina mapa de tarifas del seguro contra inundaciones. Los mapas de tierras en peligro de inundación son instrumentos vitales para la evaluación de riesgos en la administración de tierras susceptibles de inundarse y el establecimiento de las tarifas del seguro contra inundaciones.
- Seguro contra inundaciones. Por medio de asociaciones establecidas con las comunidades, la industria de los seguros y la de los préstamos, el NFIP contribuye a reducir los daños ocasionados por las inundaciones en casi 1,000 millones de dólares al año. Además, los edificios construidos de conformidad con las normas de construcción del NFIP sufren aproximadamente 80% menos daños anualmente que aquella que no se construyen siguiendo sus normas.

AGROASEMEX, en México es una instrucción nacional de seguros que tiene como misión proteger el patrimonio y la capacidad productiva del sector rural. En su capital participa el gobierno federal de manera mayoritaria y es un instrumento de política pública que contribuye a la conformación de un sistema nacional de administración de riesgos para la protección integral del sector rural. (AGROAsEMEX, 2012)

Como institución nacional de seguros, AGROASEMEX proporciona servicios de reaseguro a instituciones mexicanas de seguros, sociedades mutualistas y fondos de aseguramiento.

Uno de los productos que ofrece es el seguro de daños en bienes patrimoniales, que tiene como propósito, brindar a los fondos de aseguramiento sobre los bienes conexos a la actividad agropecuaria, rural y patrimonial de conformidad con lo establecido en la ley de fondos de aseguramiento agropecuario y rural. Con este producto, se tiene una oportunidad para que los fondos de aseguramiento incursionen en esta nueva línea de seguros, ofreciendo a sus socios la oportunidad de salvaguardar la inversión en sus inmuebles y contenidos, a efecto de proteger su patrimonio y darle continuidad a sus operaciones, cuando estos sufran pérdidas o daños causados por riesgos hidrometeorológico (inundaciones), terremoto, incendio, etc.

El seguro de inundación es un procedimiento preventivo viable para emprendimientos con valor agregado importante y en el cual los propietarios poseen capacidad económica para pagar el costo del seguro. Además de esto, no todas las compañías están dispuestas a afrontar el seguro de inundaciones si no hay un sistema de reaseguros para distribución del riesgo. Cuando la población que ocupa el área de inundación es de baja renta este tipo de solución se vuelve inviable.

#### **6.1.9 Comunicación y participación social.**

Es importante la percepción que la comunidad tenga sobre los riesgos como las condiciones materiales que lo originan y, en este sentido, la comunicación y la educación son campos fundamentales en la generación de conciencia mediante el conocimiento y la comprensión de lo que sucede o podría suceder. El mejor plan de emergencias o la más calificada propuesta de ordenamiento territorial no tienen mayor sentido si los riesgos no están asumidos socialmente; es decir, si las personas no consideran la posibilidad de ser afectadas y no incorporan la dimensión de riesgo a sus decisiones cotidianas.

Además, la comunicación es un componente fundamental para la socialización de la gestión de riesgos y su objetivo debe ser garantizar que los distintos actores y sectores tengan acceso oportuno a la información necesaria para participar en las decisiones y acciones; tanto en la prevención como en la respuesta y la recuperación frente a emergencias o desastres.

En definitiva, se trata de generar y fortalecer una cultura de la prevención o bien de incorporar la prevención a la cultura local mediante la consolidación de la ciudadanía en el más amplio y democrático sentido del término.

Los programas de comunicación y participación van acompañados generalmente con una lista de verificación la cual establece puntos de revisión de cómo es la forma de actuar antes, durante y después, en una inundación. De acuerdo la guía de prevención de desastres que elaboró el CENAPRED, esta lista consiste en:

#### Cómo prepararse con anticipación

- Evitar las áreas comúnmente sujetas a avenidas de agua o a inundaciones repentinas: no construir en terrenos susceptibles de ser afectados por inundación o desbordamiento de ríos, ni en las riberas u otros cauces de agua, aunque estén secos.

Si vive en zonas donde ya han ocurrido inundaciones

- Estar al pendiente de las señales de aviso, alarma y emergencia, mantenerse informado.
- Empacar los documentos personales (actas de nacimiento, escrituras, cartillas, CURP, etc) en bolsas de plástico bien cerradas y en morrales o mochilas que pueda cargar, de tal manera que le dejen libre los brazos y manos.
- Tener disponible un radio portátil, lámparas de pilas y un botiquín de primeros auxilios.

Si se emite un llamado de ALERTA de lluvias intensas.

- Si se dispone de tiempo suficiente, limpiar la azotea y desagües, así como la calle para que no se tape el drenaje con basura.
- Guardar objetos sueltos que puede lanzar el viento.
- Si se tiene vehículo, asegurar que este en buen estado.
- Procurar un lugar para resguardar a los animales y mascotas.
- No dejar solos a los niños. Si se llegara hacer, informar a los vecinos.
- Seguir las indicaciones de las autoridades, preparándose para evacuar en caso necesario.

Si las autoridades indican evacuar el área y/o casa donde se habita, (¡hágalo!)

Si la alternativa es quedarse en casa

- Conservar la calma.
- Tener a la mano artículos de emergencia.
- Mantener el radio encendido para recibir información e instrucciones de fuentes oficiales.
- Cubrir con bolsas de plástico aparatos u otros objetos que puedan dañarse con el agua.

En caso de emergencia.

- Desconectar los servicios de luz, gas y agua.
- Cerciorarse de que su casa quede bien cerrada.
- Seguir instrucciones de las autoridades o bien dirigirse de inmediato a los lugares o refugios de quedar atrapado.
- Si se quedara aislado, subir al lugar más alto posible y espere a ser rescatado.
- No cruzar ríos, ni a pie, ni en vehículos, la velocidad del agua puede ser mucho mayor de lo que se puede suponer.
- Retirarse de casas, árboles y postes que pudieran ser derribados.
- Tener cuidado con los deslaves.
- Evitar caminar por zonas inundadas, considerar que se puede golpear con los arboles, piedras u otros objetos que pueden ser arrastrados.

Después de la contingencia.

- Conservar la calma.
- Seguir las instrucciones transmitidas por las autoridades a través de los medios de comunicación.
- Reportar inmediatamente sobre los posibles heridos a los servicios de emergencia.
- Cuidar de los alimentos, que estén limpios, no comer nada crudo ni de procedencia dudosa.
- Beber el agua potable que se almacenó, si es posible hervir o desinfectar con gotitas de cloro que se venden expresamente para ello.
- Limpiar cualquier derrame de medicinas, sustancias tóxicas o inflables.
- Si su casa no sufrió daños, permanecer en ella.
- Mantener desconectados los servicios de gas, luz y agua hasta que se esté seguro que no se hayan sufrido daños.
- Cerciorarse de que los aparatos eléctricos estén secos antes de conectarlos.

- No divulgar ni haga caso de rumores.
- Si su vivienda está en la zona afectada, podrá regresar a ella cuando las autoridades lo indiquen.
- Desalojar el agua estancada para evitar plagas de mosquitos.
- Las autoridades informarán sobre los apoyos y mecanismos para la reconstrucción.

Si tiene que salir

- Mantenerse alejado de las áreas afectadas.
- Evitar tocar o pisar cables eléctricos.
- Retirarse de casas, árboles y postes en peligro de caer.
- Si su casa se encuentra cerca de laderas, tenga cuidado de los deslaves. Retirarse inmediatamente y dar alerta a las autoridades de protección civil
- Recordar, más vale prevenir....
- Si vive en zonas con tales riesgos; poner atención a los avisos, ya que los provienen de los peligros que esta situación trae consigo y orientan sus acciones para proteger su vida.

#### **6.1.9.1 Programa municipio seguro, resistente a los desastres.**

En un municipio en el que se garantiza que las actividades que realizan las instituciones públicas y la sociedad en general no se interrumpen ante la presencia de un desastre. Además, mediante la experiencia y el aprendizaje de los fenómenos naturales que han azotado al municipio en el pasado, tiene la capacidad de organizarse para desarrollar y aplicar las medidas necesarias para la reducción de riesgos de desastres futuros.

En un municipio seguro, los hospitales, las escuelas, las empresas, los prestadores de servicios y las oficinas gubernamentales cuentan con un plan de continuidad operacional y un esquema de comunicación que les permite resolver las crisis correlativas a un desastre.

En un municipio resistente a los desastres, la inversión pública en prevención y preparación a los desastres es continua, segura y robusta. Se trata de prevenir y no de reaccionar ante la presencia de un evento.

El objetivo del programa busca reducir el riesgo de desastres en cada municipio del país vinculando los esfuerzos de la sociedad, la iniciativa privada y el gobierno local.

Los compromisos se fundamentan en la buena fe de los participantes y se formalizan suscribiendo de forma libre, voluntaria y desinteresada una carta compromiso de adhesión al programa, cuya vigencia dura el tiempo que decida cada socio estratégico.

Mediante la suscripción de esta carta se establecen cada socio estratégico se compromete a:

1. Cooperar y vincular esfuerzos, talento, potencial y recursos por medios legítimos y legales a fin de favorecer el incremento de capacidades del gobierno local, tanto en la prevención como en la anticipación de las situaciones críticas asociadas a los desastres.

2. Adoptar, en la medida de lo posible, las medidas necesarias para prevenir, reducir y eliminar la vulnerabilidad asociada a los desastres, en el plano municipal, con el fin de obtener cuando menos los siguientes resultados: (SINAPROC, 2010)

a) Incrementar la resiliencia local en emergencias y desastres;

b) Lograr un apoyo mutuo en el aumento de la capacidad local;

c) Mejorar la cooperación y compatibilidad en la previsión y prevención de emergencias;

d) Lograr una completa comprensión de las interdependencias en el manejo de emergencias;

e) Contribuir en la protección e incremento de la resiliencia de infraestructura hospitalaria y de primera respuesta, infraestructura educativa, de guarderías y los centros de cuidado de personas.

f) Incentivar la cultura preventiva en compañías pequeñas, medianas, grandes y muy grandes.

g) Impulsar la cultura preventiva en centros turísticos y de recreación.

h) Estimular la cultura preventiva entre los ciudadanos por medio de las redes sociales y la tecnología digital.

- i) Favorecer la inversión pública en prevención y preparación a los desastres.
- j) Mejorar planes gubernamentales de continuidad operacional, de gobierno y del desarrollo local.
- k) Apoyar los liderazgos comunitarios y el voluntariado que reaccionan ante emergencias.
- l) Fomentar la investigación aplicada a la prevención local.
- m) Incentivar la promoción de la cultura de los seguros.
- n) Alcanzar la reducción del riesgo de accidentes industriales o de accidentes asociados al transporte de sustancias peligrosas.
- o) Obtener la reducción de la vulnerabilidad de infraestructura y servicios estratégicos gubernamentales.
- p) Fomentar la participación de los medios de comunicación locales en un desastre.

## **6.2 Medidas correctivas.**

En las acciones no estructurales, como medidas correctivas sólo se encontró con un programa para otorgar financiamiento a las entidades federativas y municipios para poder enfrentar y atender en la medida de lo posible tras una inundación. Siendo éste instrumento el Fondo de Desastres Naturales que en la siguiente sección se explica su operación.

### **6.2.1 Fondo de Desastres Naturales (FONDEN)**

El Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) es un instrumento financiero que tiene la finalidad de apoyar a las entidades federativas y distrito federal, a las dependencias y entidades de la administración pública del gobierno mexicano para atención y recuperación de los efectos que produce un fenómeno natural y cuando la capacidad de estas ha sido rebasada ante estos eventos.

Antes que el FONDEN se formara, los gobiernos federal, estatales y municipales debían responder ante los desastres naturales reorientando lo necesario del gasto público que ya se encontraba previamente presupuestado para otro tipo de obras y enfrentar así, en la medida que era posible, los daños sufridos en la infraestructura y atención a la población que resultaba afectada. Esto se traducía entonces en rezago en los programas normales de obras públicas. (Gonzales 2011)

En 1996 se construyó el FONDEN como el instrumento financiero del Gobierno Federal para atender los efectos de los desastres causados por fenómenos naturales y que otorga recursos en forma complementaria y subsidiaria a los estados y las instancias federales.

El apoyo del FONDEN para la atención y recuperación de los efectos que produce un fenómeno natural se hace con forme a las Reglas de Operación del FONDEN y mediante los siguientes mecanismos: (Artículo 3º, RGFONDEN, 2010)

- El Fondo Revolvente a cargo de la SEGOB, el cual tienen por objeto proporcionar suministros de auxilio y asistencia ante situaciones de emergencia y de desastre, para responder de manera inmediata y oportuna a las necesidades urgentes para la protección de la vida y la salud de la población, generadas ante la inminencia, la alta probabilidad u ocurrencia de un fenómeno natural perturbador.

- El programa FONDEN, en el cual está previsto en el Ramo General 23 del presupuesto de egresos de la federación en cada ejercicio fiscal, y
- El Fideicomiso Fondo de Desastres Naturales (Fideicomiso FONDEN).

La finalidad del FONDEN es: 1) canalizar recursos para la reconstrucción de los daños sufridos por un fenómeno natural perturbador en los sectores de competencia federal, estatal o municipal, en el cual, los trabajos de reconstrucción o restitución de los bienes se deberá incluir, en lo posible y por separado, medidas de mitigación para daños futuros, a través de normas de diseño o construcción que reduzcan su vulnerabilidad ante futuras amenazas, en el entendido de que la dependencia o entidad de la administración pública federal responsable del sector deberá evaluar y, en su caso validar los argumentos técnicos y los documentos de las mejoras y adiciones en las acciones incluidas en el programa de restauración de los daños, de tal manera que garanticen que los bienes operaran dentro de los márgenes de seguridad recomendables, 2) Otorgar recursos a las dependencias y entidades de la administración pública federal para adquisición de equipo especializado destinado a la atención de emergencias y desastres naturales, y 3) canalizar recursos para llevar a cabo las contrataciones de terceros independientes especializados que requiera el gobierno federal para las evaluaciones de daños, cuya finalidad sea la valoración de los montos para la reconstrucción de la infraestructura afectada por la ocurrencia de un fenómeno natural perturbador, de conformidad con las disposiciones aplicables. (Artículo 4º, RGFONDEN 2010)

Las reglas de operación del FONDEN, se define como un fenómeno natural perturbador, al evento generado por la naturaleza, que por sus características extremas, atípicas o severas, condiciona o genera una situación de desastre natural, caracterizado por la ausencia relativa de la participación directa o indirecta del ser humano. Además se entiende como la instancia técnica facultada a las instituciones facultadas para corroborar la ocurrencia de un fenómeno natural perturbador en una fecha y lugar determinado, siendo estas la CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) para el caso de incendios forestales, la CONAGUA, para el caso de los fenómenos hidrometeorológicos, el CENAPRED, para el caso de los fenómenos de origen geológico, y toda instancia federal que coadyuve en la corroboración de un fenómeno natural perturbador en los términos de lo establecido en el artículo 6º de la reglas de operación del FONDEN. (Artículo 5º, RGFONDEN 2010)

En el artículo 6º se realiza la clasificación de los fenómenos naturales perturbadores que pueden causar desastres naturales, para los cuales la SEGOB podrá emitir declaratoria de desastre natural, son los que a continuación se enlistan: (Artículo 6º, RGFONDEN)

I. Geológicos.

- a. Alud
- b. Erupción volcánica
- c. Maremoto
- d. Movimiento de ladera
- e. Ola extrema
- f. Sismo
- g. Subsistencia

II. Hidrometeorológicos

- a. Granizada severa
- b. Huracán
- c. Inundación fluvial
- d. Inundación pluvial
- e. Lluvia severa
- f. Nevada severa
- g. Sequia
- h. Tormenta tropical
- i. Tornado

III. Incendio forestal

IV. Otros.

Dicho lo anterior se podrán cubrir con cargo al FONDEN los daños derivados de cualquier otro fenómeno natural perturbador no previsto en las reglas, o situaciones meteorológica excepcional o extraordinario, con características similares a los fenómenos antes señalados, de acuerdo con el origen, periodicidad y severidad de los daños, siempre y cuando se cumpla con el procedimiento establecido en los lineamientos de operación.

El procedimiento para acceder a los recursos tras una declaratoria de desastre, se establece en el artículo 9º de las reglas de operación del FONDEN, que una vez que se ha cumplido con lo previsto en el dicho artículo la SEGOB, por conducto de la Coordinación, deberá emitir y publicar en el diario oficial, sin perjuicio de que se difunda a través de otros medios de información, la Declaratoria de Desastre Natural respectiva. (Artículo 9º, RGFONDEN 2010)

Para efectos de la operación del FONDEN se definen como desastre al resultado de la ocurrencia del fenómeno o de los fenómenos naturales concatenados o no, que cuando acontecen en un tiempo y espacio delimitado, causan daños severos no previsibles y cuya periodicidad es difícil o imposible de proyectar.

De acuerdo con las reglas de operación del FONDEN, una *declaratoria de desastre natural* se refiere como el documento mediante el cual la SEGOB declara formalmente en zona de desastre natural a determinados municipios, así como a los órganos político-administrativos en las demarcaciones del Distrito Federal, para que se pueda tener acceso a los recursos del FONDEN, (Artículo 5º, ROFONDEN, 2010)

Cuando una entidad federativa se encuentra en desastre natural deberá solicitar, dentro de los tres días hábiles siguientes a la ocurrencia de éste, a las Instancias Facultadas señaladas en el artículo 5º, fracción XX, de las Reglas de operación del FONDEN que corroboren la ocurrencia del fenómeno natural perturbador debiendo marcar copia a la misma dirección general del FONDEN.

La solicitud deberá estar suscrita por el titular del ejecutivo de la entidad federativa de que se trate o, en su defecto, por el servidor público facultado para tal fin, y deberá contener: (Artículo 7º, RGFONDEN 2010)

- La descripción del fenómeno natural perturbador, así como la fecha de su ocurrencia.

- Las denominaciones de los municipios o delegaciones políticas involucradas. En este rubro se deberán incluir todos aquellos municipios o delegaciones políticas que se considera sufrieron o pudieron haber sufrido afectaciones a causa de un fenómeno natural perturbador de que se trate y que se encuentren ubicados dentro del área de influencia del fenómeno en cuestión. Dichas denominaciones deberán coincidir con el registro del instituto nacional de estadística y geografía.
- Nombre, localización, número telefónico y correo electrónico de un servidor público con quien la instancia técnica facultada pueda establecer comunicación para atender cualquier duda o requerimiento específico.

En los casos en que una dependencia o entidad federal detecte que la entidad federativa no ha solicitado la corroboración del fenómeno natural perturbador que ocurrió en su territorio podrá solicitarla directamente a las instancias técnicas facultadas.

De acuerdo con el artículo 8º, la instancia técnica facultada tendrá tres días hábiles contados a partir del día siguiente de la recepción de la solicitud, para notificar a la entidad federativa solicitante respecto del dictamen de corroboración del fenómeno natural perturbador en los municipios o delegaciones políticas solicitadas, marcando copia del mismo a la coordinación y a la dirección general del FONDEN. (Artículo 8º, RGFONDEN 2010)

Una vez recibida de la instancia técnica facultada la corroboración de la ocurrencia de un fenómeno natural perturbador, el titular del ejecutivo de la entidad federal o el servidor público competente para tal efecto, deberá convocar, a más tardar al día hábil siguiente, a todas las instancias competentes, tanto federales como locales, para la instalación del comité de evaluación de daños.

El comité de evaluación de daños se ocupara exclusivamente de evaluar y cuantificar los daños en los sectores cuya infraestructura pertenezca a las entidades federativas, municipios así como delegaciones políticas en los términos de las reglas y los lineamientos de operación.

La estimación y cuantificación de los daños para ejecutar las acciones emergentes, así como los trabajos de obras de carácter prioritario y urgente, que busquen coadyuvar a la normalización de la actividad de la zona afectada y la protección de la población, se podrá realizar a través de las dependencias o entidades federales competentes, las cuales

coordinaran las estimaciones y validaran los resultados con la participación que corresponda a las entidades federales.

El comité de evaluación de daños funcionará, se agruparan por sector afectado, según el ámbito de competencia respectivo. Dichos subcomités tendrán como función evaluar los daños producidos por el fenómeno natural perturbador de que se trate y elaborar el diagnóstico de las obras y acciones a realizar hasta su integración

Los subcomités que se podrán constituir para cada uno de los sectores, son los siguientes: vivienda, infraestructura urbana; residuos sólidos; carreteras; hidráulico; educativo; salud; monumentos históricos, artísticos y arqueológicos; áreas naturales protegidas; pesquero y acuícola; forestal y de viveros, y zonas costeras. También se podrán constituir subcomités con denominaciones distintas a las anteriores indicadas, siempre y cuando su objetivo sea la cuantificación y evaluación de los daños ocasionados por un fenómeno natural perturbador determinado, para la realización de acciones cuyo sector, infraestructura o concepto esté previsto en las reglas de operación del FONDEN. (Artículo 11, RGFONDEN 2010)

Los Subcomités estarán integrados por representantes de la dependencia o entidad federal y local del sector correspondiente, de los órganos de fiscalización estatales y, en su caso, testigos sociales y terceros independientes especializados contratados por el FONDEN, para poder sesionar, requerirán de la participación de por lo menos un representante federal y uno local, que tengan formalmente las atribuciones para evaluar y cuantificar los daños producidos por el desastre natural en su respectivo sector, así como por un representante del órgano estatal de control.

En resumen, las reglas de operación del FONDEN han permitido mejorar el uso de los recursos de la administración pública federal, estatal y municipal, en la atención de los daños ocasionados ante situaciones adversas. Donde se destaca que la operación del FONDEN le da una alta prioridad a resarcir, en la medida de lo posible el patrimonio de las personas de escasos recursos y las pérdidas de los productores de bajos ingresos, respetando un esfuerzo solidario con la población menos favorecida, y un uso redistribuido de los recursos públicos.

## 7. Acciones estructurales.

Definiendo primeramente a la ingeniería civil, en cuanto a poder entender qué hacen por ella la hidrología y la hidráulica como disciplinas que tratan con el agua. De manera simple se puede definir a la ingeniería civil como la rama del conocimiento encargada de plantear, diseñar, presupuestar, programar, construir, evaluar y mantener en servicio las obras de infraestructura productiva y de servicios que demanda la sociedad. Por otra parte, el agua es la sustancia que mantiene la vida y el recurso básico de muchas actividades económicas; cuya ocurrencia en la naturaleza como escurrimiento en ríos y como lluvia no es ni remotamente constante, por ello las obras hidráulicas son imprescindibles para su aprovechamiento y para brindar protección contra sus excesos. (Campos, 2010).

Entre tales obras se tienen las presas o embalses planeados y diseñados para almacenar excedentes a la demanda y utilizarlos en las épocas de sequía, de manera que se pueda garantizar un cierto abastecimiento de agua potable, riego y generación de energía eléctrica. Otras obras hidráulicas brindan protección contra crecientes o avenidas máximas de los ríos, como son: diques, rectificaciones, encauzamientos y todo tipo de presas de control. Las obras de drenaje urbano intentan eliminar las inundaciones y los riesgos asociados con las aguas generadas por las tormentas en las ciudades. Finalmente, las alcantarillas y los puentes son obras de cruce de los ríos. (Campos 2010).

Las medidas estructurales son obras de ingeniería implementadas para reducir el riesgo de crecidas. Estas medidas pueden ser extensivas o intensivas. Las medidas extensivas son aquellas que actúan en la cuenca, intentando modificar las relaciones entre precipitación y caudal, como la alteración de la cobertura vegetal del suelo, que reduce y retarda los picos de crecidas y controla la erosión de la cuenca. Las medidas intensivas son aquellas que reaccionan en el río y pueden ser de tres tipos: a) aceleran el escurrimiento: construcción de diques, aumento de la capacidad de descarga de los ríos y corte de meandros; b) retardan el escurrimiento: reservorios y cuencas de amortiguamiento; c) desvío del escurrimiento: obras como canales de desvío.

## **7.1. Medidas preventivas.**

### **7.1.1. Sistemas de drenaje urbano.**

En el pasado, las aguas de tormenta en las zonas urbanas han sido consideradas “un enemigo público”, por ello su objetivo fundamental siempre consistió en eliminar, tan rápido como fuera posible, dicho escurrimiento. Entonces, los sistemas de drenaje urbano fueron diseñados para recolectar y conducir las aguas de tormenta hacia aguas abajo rápidamente. Los componentes principales de tales sistemas fueron los colectores pluviales o alcantarillado, los emisores o conductos cerrados o abiertos y ocasionalmente los estanques de detención y las estaciones de bombeo. Estos sistemas son costosos y no siempre funcionan de manera satisfactoria. (Campos, 2010)

El escurrimiento que originan las tormentas en las áreas urbanas tiene impacto en la población por que debido a su movimiento y almacenamiento temporal, daña las propiedades públicas y privadas, además de alterar o suspender las actividades económicas comunes. (Campos 2010)

Por otra parte, el manejo de un sistema de drenaje urbano consiste de los programas y acciones encaminadas a reducir, a un nivel aceptable por la población, la interrupción de sus actividades debido al agua pluvial. Dentro de tales programas está la construcción de las obras necesarias para recolectar, detener o retener, transportar y eliminar el agua de tormentas. (Campos, 2010)

En realidad, el diseño de los sistemas de drenaje urbano es una gran tarea o proyecto de planeación, debido al enorme número de alternativas que pueden ser planteadas y al tremendo impacto que tienen tales trabajos en la ciudad y su sociedad, por sus costos y molestias que ocasiona su construcción. Además, las limitaciones en espacio y recursos económicos, exigen que los modernos sistemas de drenaje urbano sean planeados anticipándose a los problemas concebidos de una manera integral de desarrollo urbano y teniéndose presente que muchos problemas asociados a las aguas de tormenta son corregibles mediante soluciones no estructurales, las cuales no son costosas y no modifican el entorno natural.

Los sistemas de drenaje urbano pueden considerarse constituidos por dos componentes: el drenaje primario o inicial, que está diseñado para evitar la interrupción de las actividades normales y económicas de la población durante las tormentas frecuentes.

Está constituido por drenaje de las calles hacia sus costados junto a las baquetas, hasta llegar a una alcantarilla que conduce tal escurrimiento al colector o alcantarillado que está enterrado en el centro de esa calle o de la más cercana. (Campos, 2010)

El otro componente incluye al sistema que transporta el escurrimiento que originan las tormentas severas y por ello ha sido denominado drenaje mayor. De manera general, el agua de tormentas que se acumula y transporta en el alcantarillado, se descarga en una salida que la conduce al sistema mayor. Esta salida en muchos sistemas son cauces naturales que han sido destinados y/o modificados para tal función. (Campos, 2010)

#### **7.1.1.1. Descripción e importancia del drenaje urbano.**

En la mayoría de las ciudades se tiene la necesidad de desalojar el agua de lluvia para evitar que se inunden las viviendas, los comercios, las industrias y otras áreas de interés. Además, el hombre requiere deshacerse de las aguas que han servido para su aseo y consumo.

Una red de drenaje está constituida por una red de conductos e instalaciones complementarias que permiten la operación, mantenimiento y reparación del mismo. Su objetivo es la evacuación de las aguas residuales y las pluviales, que escurren sobre calles y avenidas, evitando con ello su acumulación y propiciando el drenaje de la zona a la que sirven. (Tzatchkov, 2007)

Los sistemas de drenaje modernos son clasificados como sanitarios cuando conducen sólo aguas residuales, pluviales cuando transportan únicamente aguas producto del escurrimiento superficial del agua de lluvia (Ver Figura 7.1), y combinados cuando llevan los dos tipos de agua (Ver Figura 7.2). (Tzatchkov, 2007).

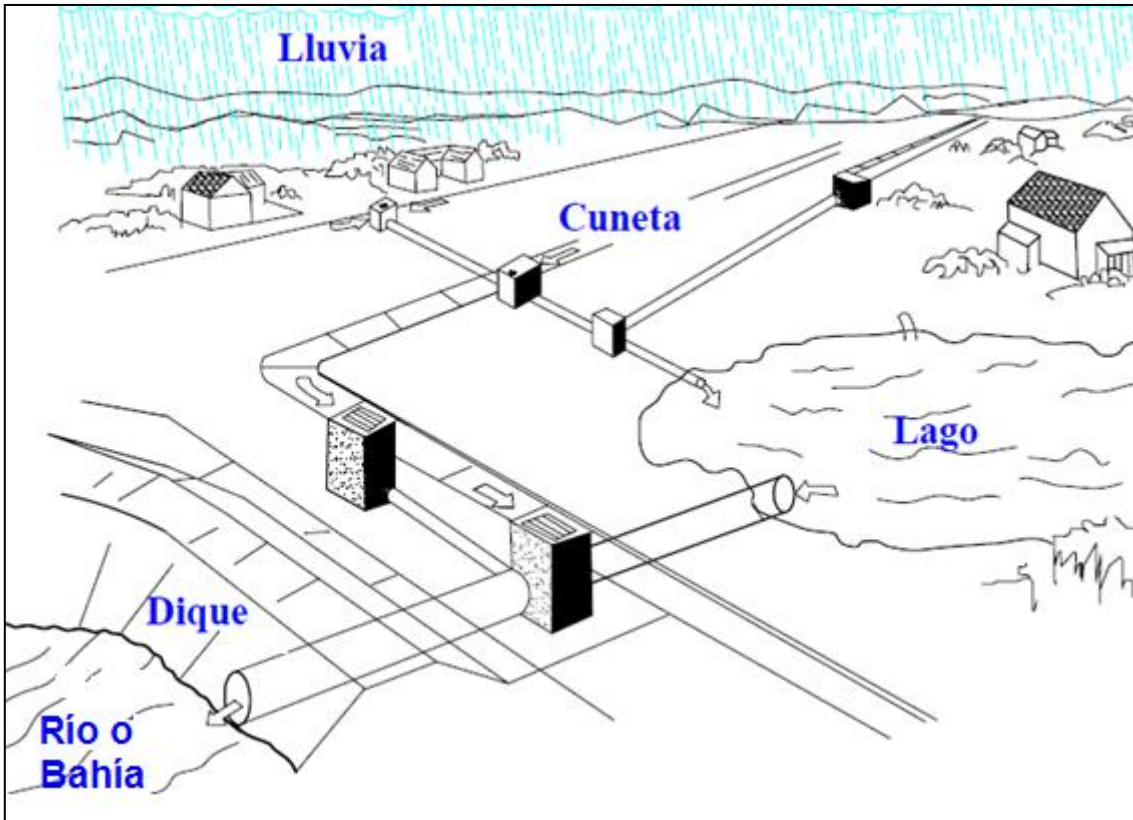


Figura 7.1. Sistemas de drenaje pluvial. (Tzatchkov, 2007)

Los sistemas de drenaje, separados o combinados, tienen ventajas entre sí.

Debido al deterioro ocasionado al medio ambiente y por los procesos de tratamiento, es conveniente la construcción de sistemas separados.

Los sistemas combinados tienen como ventajas el captar tanto las aguas residuales, como pluviales, con lo cual el diseño, construcción y operación en apariencia es más económico. En este aspecto, los sistemas separados implican mayores inversiones y pueden resultar menos atractivos especialmente cuando una población contará por primera vez con un sistema de drenaje.

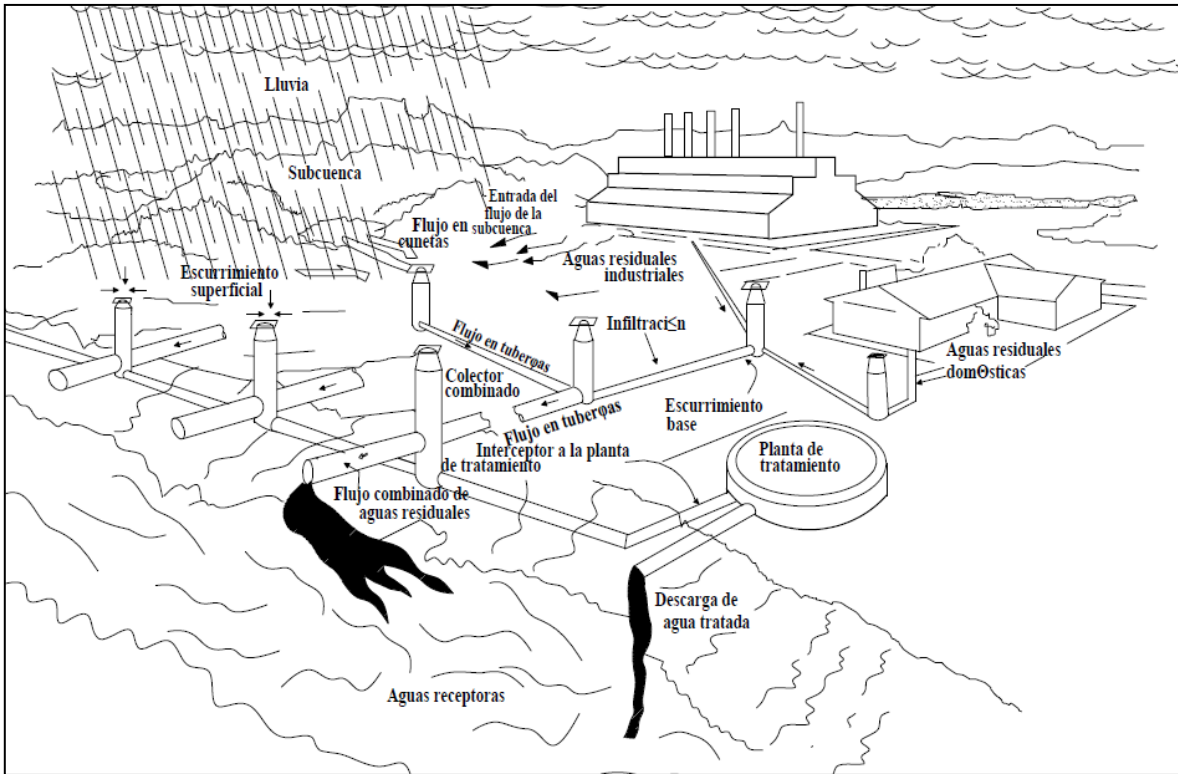


Figura 7.2. Sistema de drenaje combinado. (Tzatchkov, 2007)

Un factor más a favor de los sistemas de drenaje separados se debe a la mayor demanda de agua en las poblaciones, producto de su crecimiento, y a la escasez de la misma cerca de ellas. Esto ha llevado a las comunidades a tomar medidas integrales para que los habitantes dispongan del agua indispensable para cubrir sus necesidades y desempeñen sus actividades. Tales medidas abarcan desde un mayor abastecimiento hasta uso racional del agua, y en este aspecto se desarrollan acciones encaminadas al reuso del agua de lluvia. (Tzatchkov, 2007)

Los componentes principales de un sistema de drenaje se agrupan según la función para la cual son empleados. Así, un sistema de drenaje sanitario, pluvial o combinado, se integra de las partes siguientes: (Tzatchkov, 2007)

- *Estructuras de captación.* Recolectan las aguas a transportar. En el caso de los sistemas de drenaje sanitario, se refieren a las conexiones domiciliarias formadas por tuberías. En los sistemas de drenaje pluvial se utilizan sumideros o bocas de tormenta como estructuras de captación, aunque también pueden existir conexiones domiciliarias donde se vierta el agua de lluvia que cae en techos y

patios. En los sumideros se coloca una rejilla o coladera para evitar el ingreso de objetos que obstruyan los conductos, por lo que son conocidas como coladeras pluviales.

- *Estructuras de conducción.* Transportan las aguas recolectadas por las estructuras de captación hacia el sitio de tratamiento o vertido. Representan la parte medular de un sistema de drenaje y se forman con conductos cerrados y abiertos conocidos como tuberías y canales, respectivamente. Según la importancia del conducto dentro de la red, pueden ser clasificados como atarjeas, subcolectores, colectores y emisores. Se le llama atarjeas o red de atarjeas a los conductos de menor diámetro en la red, a los cuales descargan la mayor parte de las estructuras de captación. Los subcolectores son conductos de mayor diámetro que reciben directamente las aportaciones de dos o más atarjeas y las conducen hacia los colectores. Los colectores son los conductos de mayor tamaño en la red y representan la parte medular del sistema de drenaje, también se les llama interceptores, dependiendo de su acomodo en la red; su función es reunir el agua recolectada por los subcolectores y llevarla hasta conexiones adicionales en su recorrido.
- *Estructuras de conexión y mantenimiento.* Facilitan la conexión y mantenimiento de los conductos que forman la red de drenaje, pues además, de permitir la conexión de varias tuberías, incluso de diferente diámetro o material, también disponen del espacio suficiente para que un hombre baje hasta el nivel de las tuberías y maniobre para llevar a cabo la limpieza e inspección de los conductos, tales estructuras son conocidas como pozos de visita.
- *Estructuras de vertido.* Son estructuras terminales que protegen y mantienen libre de obstáculos la descarga final del sistema de drenaje, pues evitan posibles daños al último tramo de tubería que pueden ser causados por la corriente a donde descarga el sistema o por el propio flujo de salida de la tubería.
- *Instalaciones complementarias.* Se considera dentro de este grupo a todas aquellas instalaciones que no necesariamente forman parte de todos los sistemas de drenaje, pero que en ciertos casos resultan importantes para su correcto funcionamiento. Entre ellas se tiene a las plantas de bombeo, plantas de tratamiento, estructuras de cruce, vasos de regulación y de detención, disipadores de energía, etc.

- *Disposición final.* Se le llama disposición final al destino que se le dará al agua captada por un sistema de drenaje. En la mayoría de los casos, las aguas se vierten a una corriente natural que pueda conducir y degradar los contaminantes del agua. En este sentido, se cuenta con la tecnología y los conocimientos necesarios para determinar el grado en que una corriente puede degradar los contaminantes e incluso, se puede determinar el número, espaciamiento y magnitud de las descargas que es capaz de soportar. También se desarrollan acciones encaminadas al uso del agua pluvial, pues pueden ser utilizadas en el riego de áreas verdes en zonas urbanas, tales como jardines, parques y camellones; o en zonas rurales en el riego de cultivos.

Las diferentes etapas de diseño o de revisión de una red de drenaje pluvia consta de: 1) La primera etapa, consiste en esquematizar un trazo preliminar de la red de drenaje o definir a partir de planos el trazo existente. No se puede analizar el funcionamiento o dimensionar una red si no se cuenta con la información señalada; 2) la siguiente etapa consiste en recabar información pluviográfica y/o pluviométrica de aquellas estaciones climatológicas que se encuentren tanto dentro como cerca de la zona de estudio. Con dicha información se obtiene la tormenta o lluvia de diseño. Para ello generalmente, se emplean las curvas intensidad-duración-periodo de retorno; 3) una vez analizado y procesado la información de la lluvia, se estiman los gastos de diseño para dimensionar cada una de las estructuras y componentes del sistema de drenaje. Tales gastos dependen de las condiciones topográficas, del criterio de riesgo empleado y de la tormenta de diseño asociada, así como del área a servir. La estimación de gastos pluviales se hace por medio de modelos lluvia-escorrentamiento; 4) finalmente, se dimensionan las estructuras del sistema de drenaje de acuerdo a criterios particulares de diseño, construcción y operación. En algunos casos será necesario revisar el diseño final de la red realizando un tránsito de avenidas, con lo cual se determinan aquellas estructuras de la red que han sido subdiseñadas o que resultan sobradas durante la operación del sistema. (Tzatchkov, 2007)

#### **7.1.1.2. Diseño de redes de drenaje pluvial.**

Cuando llueve en una localidad, el agua no infiltrada escurre por las calles y en el terreno natural hacia las partes bajas, donde finalmente puede almacenarse o conducirse hacia los arroyos naturales. A fin de evitar que el agua se acumule o sus corrientes causen

daños y molestias a la población, se construye el sistema de drenaje pluvial por medio del cual se conducen las aguas de lluvia hacia sitios más seguros para su vertido.

El diseño y construcción de una red de drenaje es un trabajo de ingeniería donde se busca la eficiencia y economía. Además la red abarca en forma general, la determinación de la geometría, incluyendo el perfil y trazo en planta, los cálculos de diámetro y pendientes de cada tramo y la magnitud de los pozos de observación. (Tzatchkov, 2007)

La definición de la geometría de la red se inicia con la ubicación de los posibles sitios de vertido y el trazo de colectores y atarjeas. Y por lo común se aplican las siguientes reglas: (Tzatchkov, 2007)

- Los colectores de mayor diámetro se ubican en las calles más bajas para facilitar el drenaje de las zonas altas con atarjeas o colectores de menor diámetro.
- El trazo de los colectores y las atarjeas se ubican sobre el eje central de las calles, evitando su cruce con edificaciones. Su trazo debe ser lo más recto posible procurando que no existan curvas. Cuando la calle sea amplia, se pueden disponer dos atarjeas, una a cada lado de la calle.
- La red de drenaje debe trazarse buscando el camino más corto al sitio de vertido.
- Las conducciones serán por gravedad. Se tratará de evitar las conducciones con bombeo.

Durante el diseño se lleva a cabo el cálculo del funcionamiento hidráulico del conjunto de tuberías a fin de revisar que los diámetros y pendientes propuestos sean suficientes para conducir el gasto de diseño de cada tramo. Además, se deben tener en cuenta las consideraciones y restricciones que sirven para disminuir los costos de construcción y evitar tanto fallas por razones estructurales como trabajos de mantenimiento excesivos.

La planeación de un sistema de drenaje es un trabajo que requiere del conocimiento de los diversos factores que influyen en el funcionamiento del sistema. Por ello, debe contarse con la mayor información sobre la zona de proyecto, con el fin de conocer a detalle la localidad y proponer opciones de proyecto, que además de aprovechar la topografía de la zona, sean económicas y eficientes para el nivel de protección deseado. Por lo que es recomendable realizar las actividades siguientes: (Tzatchkov, 2007)

- *Recopilación de información básica.* Datos generales, planos de la localidad (Plano topográfico actualizado, plano topográfico de la cuenca donde se ubica la

localidad, plano urbano de la localidad además del plano de la red existente de drenaje), Información climatológica de la zona y en caso de existir, será útil la información de operación de que se disponga sobre el sistema actual de desalojo de aguas pluviales.

- *Definición de cuencas.* En los planos disponibles identificar los parteaguas que definen las áreas de aportación a la localidad, además de determinar la superficie de éstas y los puntos donde los escurrimientos ingresan a la localidad. En los planos de la localidad es necesario definir la red de drenaje interna, considerando el funcionamiento superficial que presenta la red vial como conductora de las aguas pluviales.
- *Regionalización del sistema.* Consta en dividir la localidad en función de la pendiente que se tiene, como puede ser zonas de terreno accidentado, de terreno de pendiente moderada y de terreno plano.
- *Definición de las estructuras del sistema.* En apego a la red de drenaje natural, consta en definir la red de colectores primaria y secundaria, identificando los puntos de ingreso de aguas captadas en áreas exteriores a la localidad o definiendo interceptores que permitan manejar las corrientes exteriores sin ingresar al sistema interno.
- *Definición de estructuras especiales.* Para el funcionamiento adecuado del sistema de drenaje en algunas ocasiones son necesarias estructuras como presas rompepicos, presas retenedoras de azolves y tanques de tormenta. Donde deberá de considerarse la posibilidad de dar a cada uno de los elementos propuestos, el mantenimiento adecuado.
- *Consideración de áreas de retraso.* En todos los casos y como criterio para mejorar el funcionamiento de los sistemas de drenaje, se buscará drenar las aguas superficiales hacia áreas con vegetación que determinen un retraso del ingreso de las aguas pluviales al sistema de recolección, lo que permitirá un funcionamiento más eficiente. (Ver sección 7.1.1.4)
- *Definición del desalojo de las aguas.* Se busca que el desalojo de las aguas sea a las corrientes naturales que se tengan en la vecindad de la localidad; descargando a ellas cuantas veces sea requerido en uno o varios puntos de éstas.
- *Ubicación de estructuras de descarga.* Las estructuras de descarga deberán quedar por arriba de los niveles que tome el agua en condiciones extremas en el cauce donde se viertan las aguas.

- *Posibilidades de reuso.* Dada la mayor demanda de agua potable, se debe contemplar la posibilidad de utilizar las aguas pluviales, bajo un estricto control técnico y sanitario.

El diseño de diversas obras de ingeniería, como es, por ejemplo, un sistema de drenaje pluvial, se maneja una serie de términos como: periodo de retorno, periodo de diseño, vida útil y periodo económico de diseño. Todos estos parámetros son parámetros de diseño que deben tenerse en cuenta al construir una obra.

El periodo de retorno de un evento hidrológico de magnitud dada, se define como el intervalo promedio de tiempo dentro del cual ese evento puede ser igualado o excedido una vez en promedio. Algunos proyectistas le dan simplemente el nombre de frecuencia y se acostumbra denotarlo como  $T_r$  o simplemente  $T$ . Se llama periodo de retorno de diseño cuando corresponde al periodo de retorno del evento de diseño con el cual se dimensionan las diversas estructuras de una obra. En 1996 la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), a través de la subdirección técnica estableció la norma hidrológica, donde se definen los periodos de retorno  $T_r$  en años, para las crecientes de diseño de las diferentes obras hidráulicas (Ver Tabla 7.1). (Campos, 2010)

La vida útil de una obra es el tiempo en que la obra sirve adecuadamente a los propósitos de diseño, sin tener gastos elevados de operación y mantenimiento que hagan antieconómico su uso o requiera ser eliminada por insuficiente. La vida útil de cada obra varía de acuerdo a diversos factores entre los que predominan: la importancia de la obra, la duración, resistencia y calidad de los materiales empleados en su construcción; el mantenimiento y operación adecuados; las condiciones locales y desde luego, la demanda de servicio ejercida al sistema.

Tabla 7.1. Periodos de retorno  $T_r$  en años de las crecientes de diseño en diversos tipos de obras hidráulicas. (Campos, 2010)

Descripción de la obra hidráulica.	$T_r$
<i>1.- Drenaje pluvial</i>	
Lateral libre en calles de poblados donde se tolera encharcamientos de corta duración	2
Lateral libre en calles de poblados donde no se tolera encharcamiento temporal	5
De zonas agrícolas	5
De zonas urbanas	
Poblados pequeños con < de 100,000 habitantes	2 a 5
Poblados medianos con 100,000 a un millón de habitantes	5 a 10
Poblados grandes con más de un millón de habitantes	10 a 25
Aeropuertos y estaciones de ferrocarril y de autobuses	10
Cunetas y contracunetas en caminos y carreteras	5
<i>2.- Estructuras de cruce (Puentes y alcantarillas)</i>	
Puentes carreteros en:	
Localidades que comunican poblados pequeños	25 a 50
Caminos regionales que comunican poblados medianos	50 a 100
Carreteras que comunican poblados grandes (Ciudades)	500 a 1,000
Puentes de ferrocarril en:	
Vías locales aisladas	50 a 100
Vías secundarias regionales	100 a 500
Vías primarias del país	500 a 1,000
Puentes canales o tuberías en conducción de agua	
Para riego en áreas menores a 1,000ha	10 a 25
Para riego en áreas de 1,000 a 10,000 ha	25 a 50
Para riego en áreas > de 10,000ha	50 a 100
De abastecimiento de agua potable	100 a 500
Alcantarillas para paso de cauces pequeños	
En caminos locales que comunican poblados pequeños	10 a 25
En caminos regionales que comunican poblados medianos	25 a 50
En caminos primarios que comunican poblados grandes	50 a 100

Continúa Tabla 7.1. Periodos de retorno  $T_r$  en años de las crecientes de diseño en diversos tipos de obras hidráulicas.

Descripción de la obra hidráulica.	$T_r$
<i>3.- Delimitación de zonas federales.</i>	
Zonas semiáridas a húmedas	5
Zonas áridas con régimen de escurrimiento errático	10 o mayor
Zonas de desbordamiento	Nota 1.
Cauces con obras de control	Nota 2.
<i>4.- Delimitación de zonas de protección en obras hidráulicas</i>	<i>A Juicio de la CONAGUA</i>
<i>5.- Encauzamiento de cauces</i>	
Agrícola de extensión pequeña(<de 1,000ha)	10 a 25
Agrícola de extensión mediana (de 1,000 a 10,000ha)	25 a 50
Agrícola de extensión grande (> de 10,000ha)	50 a 100
De protección a poblaciones pequeñas	50 a 100
De protección a poblaciones medianas	100 a 500
De protección a poblaciones grandes	500 a 1,000
<i>6.- Presas derivadoras</i>	
Para zonas de riego pequeñas (<de 1,000ha)	50 a 100
Para zonas de riego medianas(de 1,000 a 10,000ha)	100 a 500
Para zonas de riego grande (> de 10,000ha)	500 a 1,000
<i>7.- obras de desvío temporal</i>	
Para presas pequeñas	10 a 25
Para presas medianas	25 a 50
Para presas grandes	50 a 100
<i>8.- Presas de almacenamiento</i>	
De jales(lodo del procesamiento de minerales en minas)	500 a 1,000
Para azolve del acarreo del suelo de la cuenca	500 a 1,000
Para abastecimiento de agua potable	500 a 10,000

Nota 1.con base a la capacidad del cauce natural cavado.

Nota 2. $T_r$  5 ó 10 años en ambos, o el regulado de diseño de la obra si es superior.

Por último, el periodo económico de diseño es el periodo de retorno de un evento de diseño para el cual se tiene la mejor relación costo-beneficio. Cabe destacar que el periodo de retorno de diseño de una obra no siempre es el más económico, sino en ocasiones, el que está relacionado con el costo accesible para los usuarios.

La elección del periodo de retorno de diseño, en un sistema de drenaje pluvial, influye en el nivel de protección contra inundaciones y por consiguiente en la capacidad del sistema y el riesgo o probabilidad de falla de la obra. (Tzatchkov, 2007)

Cabe destacar que no es posible diseñar una obra de protección contra inundaciones cien por ciento segura, debido a que resultaría extremadamente costosa y por otra parte resultaría complejo definir la capacidad de la misma. De análisis económicos, se ha observado que el costo de una obra se incrementa en porción al nivel de protección deseado hasta cierto punto, el periodo económico de diseño, después del cual, el costo de la obra crece demasiado sin tener mejoras sustanciales en el nivel de protección.

Se acostumbra expresar el nivel de protección en función del periodo de retorno del evento de diseño de las obras o simplemente el periodo de retorno de diseño. El periodo económico de diseño resulta difícil de determinar debido a que depende de factores difíciles de cuantificar como son; el costo de la obra, los daños, prejuicios e inconvenientes que puedan tenerse al presentarse una falla, el costo de mantenimiento y, particularmente, el riesgo de pérdidas de vidas humanas. (Tzatchkov, 2007)

En cuanto al trazo de la red de drenaje pluvial, por razones de economía, el trazo debe tender a ser una réplica subterránea del drenaje superficial natural. El escurrimiento debe ser por gravedad, excepto en aquellas zonas donde sea necesario el bombeo.

EL trazo de una red de drenaje se inicia con la definición del sito o de los sitios de vertido, a partir de los cuales puede definirse el trazo de colectores y emisores. Una vez definido esto, se traza la red de atarjeas. En ambos casos, pueden elegirse varias configuraciones o trazos. Los modelos de configuraciones de colectores y emisores más usuales se pueden agrupar en los tipos siguientes: (Tzatchkov, 2007)

- *Modelo perpendicular.* (Ver Figura 7.3) se utiliza en comunidades que se ubican a lo largo de una corriente, con el terreno inclinado hacia ella, por lo que las tuberías se colocan perpendicularmente a la corriente y descargan a colectores o a la corriente.

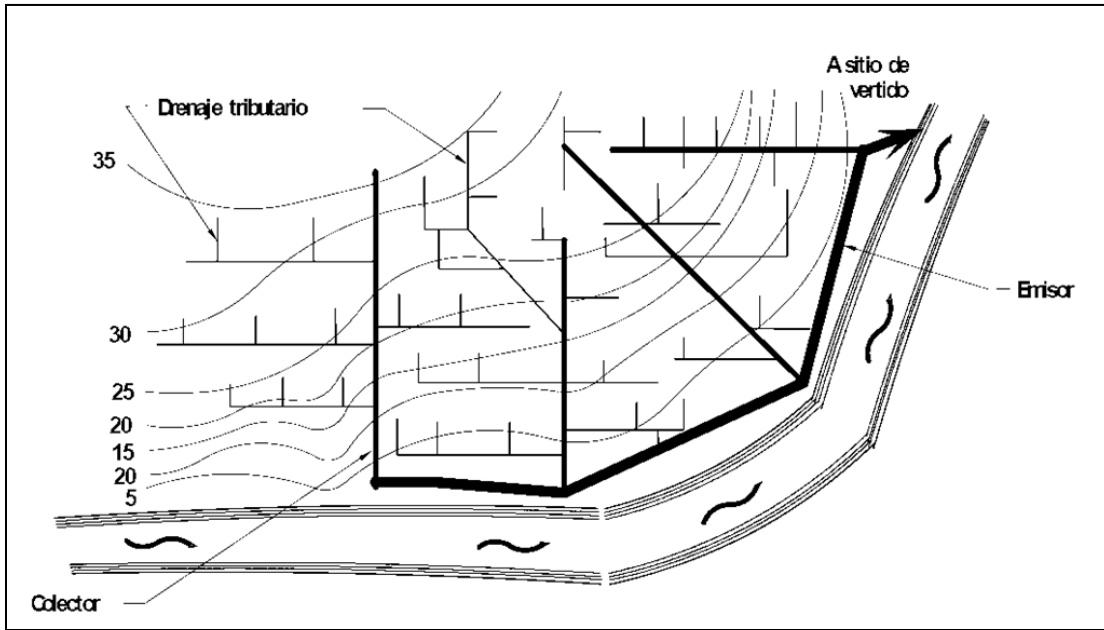


Figura 7.3. Modelo perpendicular. (Tzatchkov, 2007)

- *Modelo radial.* (Ver Figura 7.4) Es este modelo la pendiente del terreno baja del centro del área por drenar hacia los extremos, por lo que la red de atarjeas descarga a colectores perimetrales que llevan el agua al sitio de vertido.

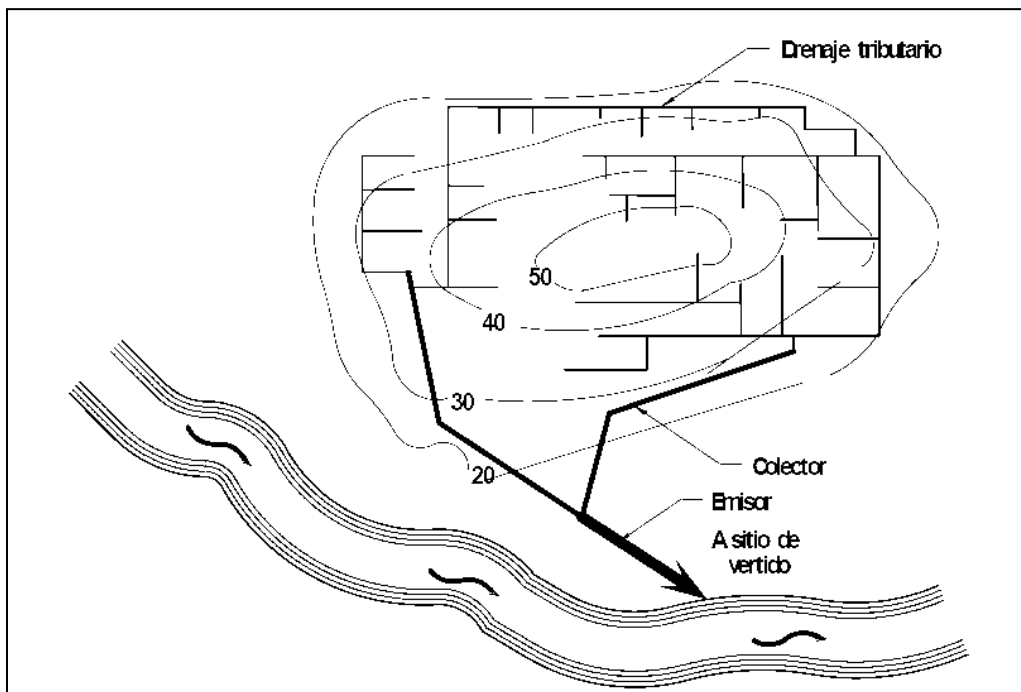


Figura 7.4 Modelo Radial. (Tzatchkov, 2007)

- *Modelo de interceptores.* (Ver Figura 7.5) se emplea para recolectar aguas pluviales en zonas con curvas de nivel más o menos paralelas; el agua se capta con colectores cuyo trazo es transversal a las curvas de nivel, que descargan a un interceptor o emisor que lleva el agua al sitio de vertido.

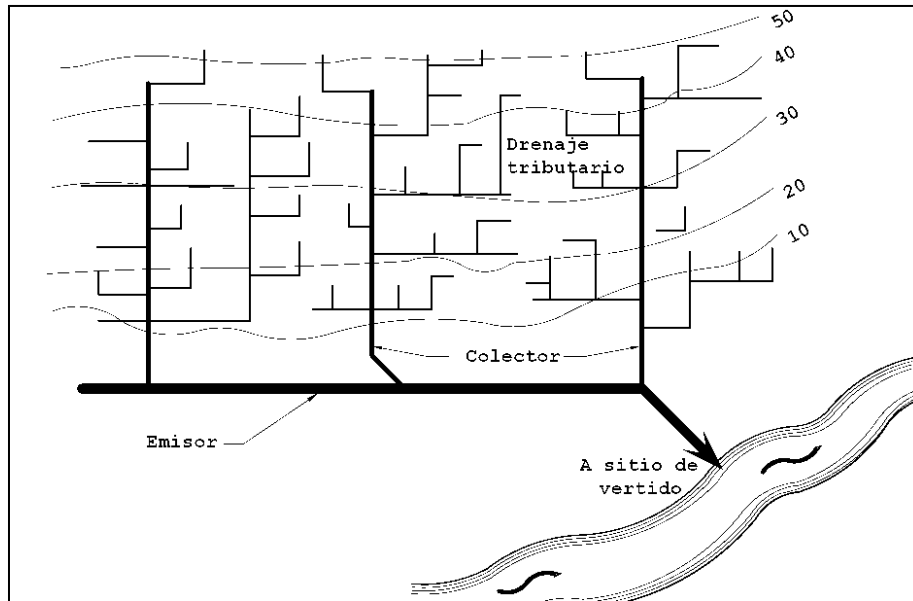


Figura 7.5. Modelo de interceptores. (Tzatchkov, 2007)

- *Modelo de abanico.* (Ver Figura 7.6). cuando la localidad se encuentra ubicada en un valle, se traza la red de atarjeas reconociendo hacia el centro del valle y mediante un colector se traza el agua pluvial a la zona de vertido.

Se denomina modelo de configuración para colectores o emisores al trazo que seguirán estas tuberías, dependiendo, principalmente, de la topografía denominarte, del trazo de las calles de la localidad, de él o los sitios de vertido y de la disposición final de las aguas pluviales. (Tzatchkov, 2007)

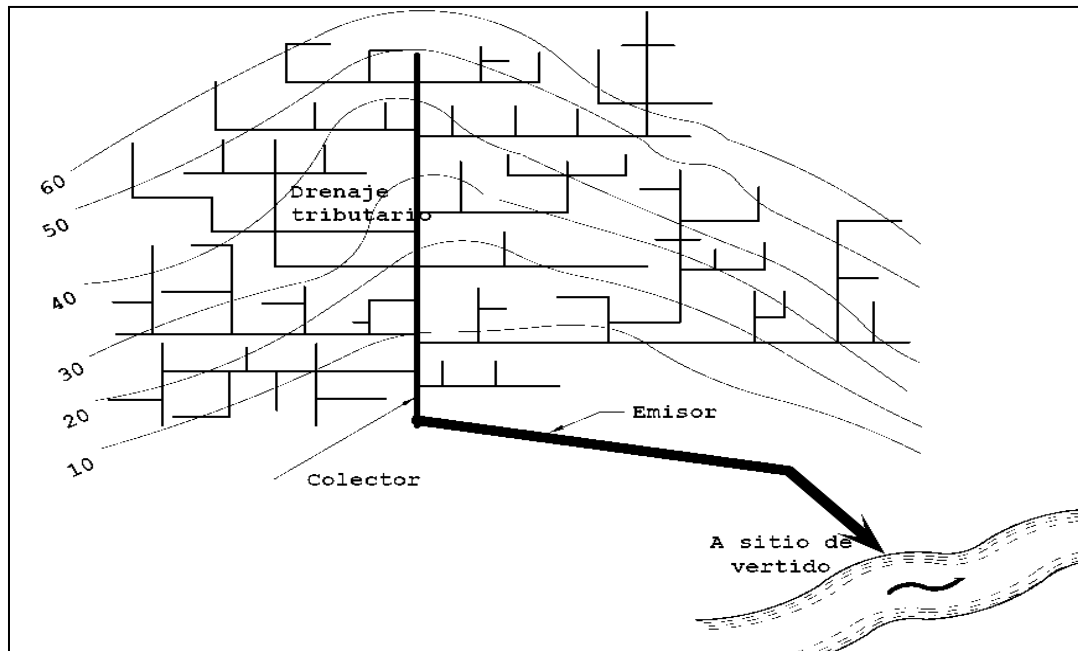


Figura 7.6. Modelo en abanico. (Tzatchkov, 2007)

Durante el diseño de una red de drenaje, se pretende que los costos de construcción no sean elevados y, por otra parte, que la red sea funcional en aspectos relacionados con la operación y el mantenimiento de la misma.

En general, se puede afirmar que una red de drenaje ha sido bien diseñada cuando: (Tzatchkov, 2007)

- Se han trazado atarjeas, colectores y emisores reduciendo las distancias de recorrido hacia los sitios de vertido.
- Existe el menor número posible de descargas por bombeo, tratando de que el sistema trabaje exclusivamente por gravedad.
- Las pendientes de las tuberías dan al flujo velocidades aceptables en un rango específico donde se evita por una parte, la sedimentación y azolve de las tuberías y por otra, la erosión en las paredes de los conductos.
- Se tienen volúmenes de excavación reducidos, procurando dar a las tuberías la profundidad mínima indispensable para resistir cargas vivas y evitar su ruptura.
- Es sencillo inspeccionar y dar mantenimiento a una red de tuberías.

Las características anteriores permiten un diseño económico y funcional de la red en aspectos relacionados con la construcción y operación de la misma.

En cuanto a las velocidades permisibles de escurrimiento son aquellas para las cuales, por una parte se evita la sedimentación y azolvamiento de la tubería y por otra, se evita la erosión de las paredes del conducto. A estas velocidades se les llama mínima y máxima respectivamente. (Tzatchkov, 2007)

A tubo parcialmente lleno, la velocidad mínima permisible es de  $0.6\text{ m/s}$ ; cuando el flujo es a tubo lleno, es de  $0.9\text{ m/s}$ . La velocidad máxima permisible varía de  $3\text{ a }5\text{ m/s}$ , e incluso más dependiendo de la resistencia del material de la tubería. Ver Tabla 7.2

Tabla 7.2. Velocidad máxima permisible. (Tzatchkov, 2007)

Tipo de tubería	Velocidad máxima (m/s)
Concreto simple hasta 45 cm de diámetro	3.0
Concreto reforzado de 61 cm de diámetro o mayores	3.5
Fibro cemento	5.0
Poli (cloruro de vinilo)PVC	5.0
Polietileno de alta densidad	5.0

En cuanto a las pendientes de diseño de la red de tuberías debe ser lo más semejante, como sea posible, a las del terreno natural con objeto de tener excavaciones mínimas.

En casos normales las pendientes mínimas son en las que se dispone del desnivel topográfico necesario, se acepta como pendiente mínima la que produce una velocidad de  $0.9\text{ m/s}$  a tubo lleno. (Tzatchkov, 2007)

Las pendientes máximas son aquellas que producen velocidades máximas de  $3\text{ a }5\text{ m/s}$ , trabajando normalmente. (Tzatchkov, 2007)

Para el diseño de los componentes principales de una red se recurre a métodos para la estimación de gastos pluviales en la red. Estos métodos tienen como finalidad estimar la avenida que producirá una tormenta en una cuenca, cuanto cumpla con algunas de las condiciones siguientes: (Tzatchkov, 2007)

- La cuenca en estudio está urbanizada y es relativamente chica; de manera que se considera que no es necesaria la simulación detallada de su funcionamiento mediante modelos matemáticos. Este caso incluye a subcuencas asociadas a un

sistema principal de drenaje, aunque en el diseño de éste último se requiere de una simulación como la mencionada.

- La cuenca se drena en forma natural, es decir, no existen drenes artificiales que determinan la forma del escurrimiento, ni presas que lo regulen.

Estos caudales de aportación de agua pluvial en un sistema de drenaje, dependen de múltiples factores, los más importantes son: área por drenar ( $A$ ), forma del área por drenar ( $F$ ), pendiente del terreno ( $S$ ), intensidad de lluvia ( $i$ ) y el coeficiente de permeabilidad ( $k$ ).

La determinación de la función  $Q = f(A, F, S, i, k)$  ha conducido a los investigadores sobre éste tema, a tratar de obtener expresiones sencillas que relacionan a todos los factores que intervienen en ella. Una de las primeras investigaciones fue hecha en 1851 cuando surgió el método racional. Posteriormente se han desarrollado otros métodos los cuales han sido mayormente usados con un grado de aceptación, éstos son: (Tzatchkov, 2007)

- Método Alemán.
- Método del road research laboratory (RRL)
- Método del hidrograma unitario.
- Método de la curva S.
- Método del hidrograma unitario instantáneo.
- Hidrograma unitario sintético.
- Método Chicago.

La simulación de las partes principales de un sistema de drenaje pluvia, debe realizarse con métodos con los que se considere que proporcionen los mejores resultados, simulando de la manera más apegada, el carácter dinámico de la evolución de la onda de la avenida en el sistema de drenaje. (Tzatchkov, 2007)

La selección del método adecuado para el análisis del sistema de atarjeas es un problema más complejo, cuya solución depende de las características específicas del sistema que se esté calculando. (Tzatchkov, 2007)

- a) Selección del método adecuado para el análisis del sistema de atarjeas. Los principales problemas asociados al análisis de una red de atarjeas son:

- Diseño a nivel de esquema de proyecto o anteproyecto, en los que sólo se requiere tener una primera idea de la magnitud de los gastos máximos que se manejan.
- Diseño a nivel de anteproyecto, en los que se requiere estimar la magnitud y la forma del hidrograma de descarga, no requiriéndose un análisis del funcionamiento individual de cada uno de los colectores del sistema.
- Diseños a nivel de proyecto ejecutivo, en los que se requiere, además de estimar la magnitud y la forma del hidrograma de descarga, profundizar analizando el funcionamiento de los colectores.

b) Selección del método adecuado para el análisis del sistema de drenaje natural.

Finalmente una vez conocido el gasto ( $Q$ ) por conducir en cada tramo, puede encontrarse su diámetro ( $D$ ) y pendiente ( $S$ ) aceptando que el flujo es uniforme y que tiene un tirante de  $0.81D$  (ya que en esta condición, la velocidad es máxima para una configuración circular). Para esto se utiliza el procedimiento siguiente: (Tzatchkov, 2007)

1. Se propone un diámetro comercial  $D$  en metros
2. Se calcula la velocidad como:

$$V = \frac{Q}{0.6815D^2}$$

Donde  $Q$  es el gasto estimado de los modelos hidrológicos en  $m^3/s$ , y  $V$  es la velocidad media en  $m/s$ .

3. Si la velocidad está dentro del intervalo

$$V_{min} \leq V \leq V_{max}$$

Se sigue con el paso 4. De otro modo se va al paso 1.  $V_{min}, V_{max}$  son las velocidades permitidas mínima y máxima respectivamente, en  $m/s$ .

4. Se obtienen los tirantes normal  $Y_n$ , y crítico  $Y_c$  ( $Y_c$  se calcula por el criterio de Straub) con las ecuaciones siguientes:

$$Y_n = 0.81D$$

$$Y_c = \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{gD}}}$$

5. Para asegurarse que el flujo sea subcrítico, se establece que si  $Y_n > 1.3Y_c$  se continua con el paso 6. De otro modo se va al paso 1.
6. Se obtiene la pendiente con la fórmula de Manning como:

$$S = \left[ \frac{Qn}{0.3082D^{8/3}} \right]^2$$

7. Termina el proceso.

### 7.1.1.3. Estanques de detención.

Los estanques de detención son utilizados para mitigar los efectos del incremento en los gastos máximos causados por el desarrollo urbano. Existen diversos tipos, los cuales incluyen: estanques secos y con almacenamiento, superficiales y subterráneos, ubicados sobre la corriente y laterales, locales y regionales, y por ultimo en serie e interconectados. (Campos, 2010)

En general los estanques de detención tienen un efecto de atenuación del hidrograma de entradas, lo cual significa que el gasto pico es reducido y retrasado. El plan común de diseño y operación de un estanque de detención es que el gasto máximo posterior al desarrollo urbano se reduzca, como mínimo, a la magnitud que tenía en las condiciones previas. La critica básica de tal enfoque, es que incluso con el estanque de detención, el escurrimiento total se incrementa debido a la urbanización. Esto último justifica el uso de los estanques de retención y de las prácticas de inducción a la infiltración.

Los elementos principales de un estanque de detención son: el almacenamiento, el dique o terraplén, las estructuras de descarga y el vertedor de emergencia. El diseño hidrológico e hidráulico de los estanques de detención es un proceso de prueba-error, durante el cual se busca la combinación más adecuada entre almacenamiento, dimensiones y costos. Otros aspectos que pueden influir en el diseño son las consideraciones estéticas y ambientales. (Campos, 2010) Los estanques de detención de aguas de tormentas son un componente básico de los sistemas de drenaje urbano, que comenzó a utilizarse a comienzos de los años setenta, los cuales ayudan a mitigar algunos de los impactos de la

urbanización. De manera general todo nuevo desarrollo urbano debe instalar un estanque de detención, cuyo propósito fundamental consiste en reducir o limitar los gastos pico del escurrimiento que se originan como consecuencia de la urbanización.

De manera global, el diseño hidrológico de los estanque de detención involucra: 1) la estimación del hidrograma de entrada, 2) el gasto de descarga permitido, 3) el volumen de almacenamiento requerido, 4) los requerimientos y posibilidades para el control de contaminantes y 5) el diseño hidráulico y estructural de las estructuras de entrada y descarga del agua almacenada. Existen varios tipos de estanques de detención, los cuales se pueden clasificar según su funcionamiento y ubicación. Cada tipo de estanque tiene ventajas y desventajas de acuerdo a varios conceptos, como se describe brevemente en seguida: (Campos, 2010)

- *Estanques secos y con almacenamiento.* En los estanques secos la estructura de descarga tiene un nivel igual o inferior a la elevación más baja del vaso de almacenamiento, de manera que el estanque se drena totalmente entre eventos lluviosos. En cambio, en un estanque con almacenamiento, la cota inferior de la descarga está más arriba que el fondo, por lo cual un cierto volumen de agua permanece en el estanque entre los eventos lluviosos y se consume por infiltración o evaporación. Estos estanques son adecuados en zonas de lluvias frecuentes y en cuencas grandes. Por el contrario, los estanques secos son recomendables en zonas áridas y semiáridas y cuencas pequeñas.
- *Estanques superficiales y subterráneos.* Los estanques superficiales generalmente se ubican en depresiones del terreno o áreas excavadas, en zonas donde todavía es posible localizarlos pues existe terreno no urbanizado. Los estanques subterráneos pueden ser la única solución en zonas urbanas altamente desarrolladas y consisten principalmente en tuberías prefabricadas de grandes diámetros enterradas. El funcionamiento hidrológico e hidráulico de ambos estanques es igual.
- *Estanques sobre la corriente y laterales.* Los estanques sobre la corriente, como su nombre lo indica, se ubican a lo largo del cauce y todo el escurrimiento proveniente de la cuenca que drena hacia su sitio entra en ellos. Los estanques laterales se localizan fuera del cauce, de manera que sólo una parte del escurrimiento generado por la cuenca es derivado hacia tal almacenamiento. Los estanques laterales son indicados en cauces con grandes cuencas, para tener

menor volumen requerido y por lo tanto menores estructuras de descarga, todo lo cual se traduce en un estanque más económico.

- *Estanques en serie e interconectados.* Es los estanques en serie la descarga del superior entra al de aguas abajo, pero este último no afecta al primero, por lo cual no interactúan físicamente. En cambio, en los estanques interconectados la descarga del superior llega al almacenamiento del de aguas abajo y éste influye en tal descarga. El objetivo de tal interconexión es buscar un mayor efecto regularizador, al combinar los almacenamientos.

#### **7.1.1.4. Sistema de drenaje urbano sostenible.**

Los sistemas urbanos sostenibles son sistemas que recuperan el ciclo del agua en la ciudad. (Prieto, 2012)

Las ventajas de estos sistemas son:

- Mejoran la calidad del agua en corrientes urbanas.
- Restauran el flujo natural del agua
- Protegen de inundaciones.
- Permiten desarrollo de zonas con instalaciones captación de sedimentos.
- Ofrece valores estéticos
- Recargan acuíferos
- Simplifican las instalaciones urbanas, abaratando el costo.

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible deben entenderse como componentes de una cadena de acciones y no como elementos aislados capaces de resolver el tratamiento del agua de modo individualizado.

Dicha cadena de acciones comprende trabajos de prevención, mediante sistemas urbanos sostenibles, lo cual conduce a la siguiente clasificación: (Prieto, 2012)

- *Sistemas de control de escurrimiento.* Evitan el escurrimiento y recuperan la capacidad de infiltración original, esto se realiza a través de superficies permeables, pozos y zanjas de filtración, depósitos de filtración y a través de una cubierta vegetal



Figura 7.7. Superficie permeable, zanja de infiltración, deposito de infiltración y cubierta vegetal. (Prieto, 2012)

- *Sistemas de transporte permeable.* Transportan lentamente el agua de escurrimiento permitiendo la infiltración, el almacenamiento, e incluso la evaporación y oxigenación a través de drenes filtrantes y cunetas verdes.



Figura 7.8. Drenes filtrantes y cunetas verdes. (Prieto, 2012)

- *Sistemas de tratamiento pasivo.* Eliminan y descomponen los contaminantes del agua al final del proceso de tratamiento, esto mediante franjas filtrantes, depósitos de detención, estanques de retención, humedales artificiales.



Figura 7.9. Franjas filtrantes, depósitos de detención, estanques de retención y humedales artificiales. (Prieto, 2012)

Estos tipos de drenaje urbano, está encaminado a minimizar el escurrimiento superficial en la ciudad, drenar hacia zonas verdes en vez de derivar el agua al alcantarillado, recolectar la lluvia para uso posterior, mantener la ciudad limpia y concientización de fuentes de contaminación.

En la Figura 7.10 se presenta un área de verde, ésta recibe la precipitación de un área impermeable vecina. Se combinan por lo general con trincheras de infiltración y tiene por nombre planos de infiltración. (Bertoni, 2012)

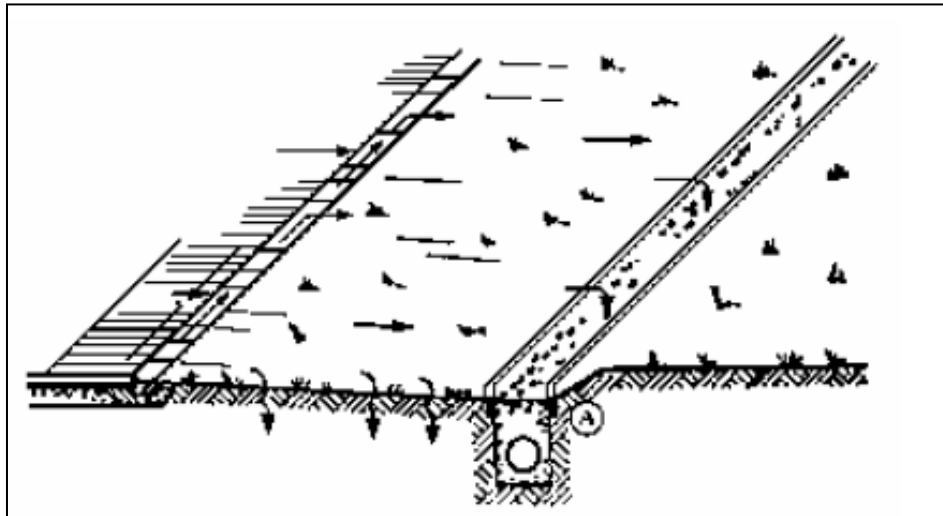


Figura 7.10 Plano de infiltración con trinchera de infiltración. (Bertoni, 2012)

En la figura 7.11 se presenta las características de un sistema de retención implementado en la ciudad de Porto Alegre, Brasil. Este sistema posee un volumen de  $4,000 m^3$  y drena un área altamente urbanizada de 45 ha. La relación entre el volumen y el área de aporte depende, entre otros factores, de la severidad de las lluvias y del grado de urbanización de la cuenca.



Figura 7.11. Sistema de retención en la ciudad de Porto Alegre, Brasil (Tucci, 7007)

### **7.1.2. Estructuras de protección en cauces.**

Una obra de protección y encauzamiento es aquella que se ejecuta con el fin de evitar daños ocasionados por desbordamiento de corrientes naturales a áreas productivas y centros de población.

Las obras de protección y encauzamiento según su objetivo son: (Maza,1996)

- Contra inundaciones.
- Para conservar las márgenes de los ríos
- Contra erosiones locales.

Algunas de las acciones estructurales se diseñan para controlar y evitar inundaciones producidas por avenidas iguales o menores que una preseleccionada que se denominará avenida de diseño, la que dependerá de un cierto periodo de retorno que permite estimar la probabilidad de que la avenida de diseño sea sobrepasada durante la vida útil de la obra. (Maza, 1996)

Durante la vida real de una obra siempre existe una probabilidad de que el gasto de diseño sea sobrepasado y la obra sea dañada. Puesto que las dimensiones de la obra son funciones del gasto de diseño, la obra tendrá menores dimensiones cuando el periodo de retorno es igual a la vida útil, y por tanto, su costo inicial es menor. En otras palabras, la selección de la vida útil implica, en forma directa, acortar la vida de la obra y aceptar como más conveniente, desde un punto de vista económico, el que la obra tenga un riesgo mayor de ser destruida, por un gasto mayor que el de diseño. Pero la selección definitiva y por tanto del gasto de diseño asociado al periodo de retorno, depende de los factores propios de cada obra y sitio en particular. Entre los factores que siempre se deberán tener en cuenta están: (Maza, 199)

- Las consecuencias de la falla de obra, sobre todo en pérdidas de vidas humanas.
- La vida real esperada de la obra y no únicamente la vida útil económica.
- El costo del incremento de la seguridad. En ocasiones al incrementarse el periodo de retorno, el aumento en el gasto de diseño es reducido.
- La disponibilidad económica.

Las acciones estructurales consisten en obras que deben ser planeadas y diseñadas cuidadosamente, y que usualmente son construidas por dependencias gubernamentales, ya que requieren de fuertes inversiones para su realización y conservación. Por ejemplo, para proteger una zona urbana que es cruzada por un río, se pueden proponer como medidas estructurales, la retención, almacenamiento y derivación del agua, hacer modificaciones al cauce o entubarlo, construir bordos o muros de encauzamiento y modificar puentes y alcantarillas. (Maza, 1996)

Estas acciones consisten en la construcción de obras que interfieren directamente con el agua de lluvia o con la que escurre por los ríos, para impedir su paso, confinarla, encauzarla, almacenarla o modificar su velocidad de desplazamiento y caudales.

Las obras que pueden ser construidas para reducir inundaciones causadas por el desbordamiento de los ríos son: (Maza, 1996)

- Bordos perimetrales a poblaciones.
- Bordos longitudinales a lo largo de una o ambas márgenes de un río.
- Muros longitudinales a lo largo de una o ambas márgenes del río.
- Desvíos permanentes por medio de cauces de alivio, en que el agua es dirigida hacia otros cauces, lagunas costeras o directamente al mar, y no retorna al río.
- Desvíos temporales a lagunas o zonas bajas de la planicie de inundación.
- Corte de meandros o rectificaciones.
- Presas de almacenamiento.
- Presas rompe-rompe picos.
- Presas para retener azolves.
- Remoción de la vegetación indeseable.
- Dragado del cauce principal y demolición de obstáculos.
- Reforestación de la cuenca.
- Canalización o entubamiento de un cauce.

Las obras antes mencionadas se pueden agrupar en: (Maza, 1996)

a) *De regulación.* Consisten en realizar la reducción del gasto máximo de la avenida y en ocasiones el volumen. Dentro de esta clasificación están las presas de almacenamiento y las rompe-picos. Las presas para retención de azolve se

consideran únicamente cuando forman un almacenamiento cuyo volumen es del mismo orden de magnitud que el volumen de la avenida.

- b) *De desvío.* Permiten extraer del cauce un cierto volumen del hidrograma. Por ejemplo de ello son los desvíos permanentes y temporales.
- c) *De mejoramiento hidráulico.* Son aquellas que permiten incrementar la capacidad de conducción de los cauces ya sea el principal o el de avenidas. Dentro de este grupo están, el corte de meandros, rectificaciones, dragado del cauce principal, demolición de obstáculos, remoción de la vegetación, canalización, entubamientos, reforestación de la cuenca y las presas para retener azolves.
- d) *De contención.* Forman una frontera que limita las zonas que serán inundadas. En este grupo se incluyen los bordos perimetrales, los bordos longitudinales y los muros de contención.

Las acciones estructurales pueden llegar a evitar totalmente los desbordamientos de un río, e igualmente evitar que la zona protegida se inunde por lluvia, al construir un buen drenaje. La principal desventaja de éste tipo de acciones es su costo, el que por ser elevado no pueden siempre ser cubierto en la medida necesaria, aun cuando el beneficio que se logra sobrepase el costo de las obras de protección. (Maza, 1996)

Otro aspecto fundamental que debe ser tenido en mente al construir obras para el control de inundaciones es el hecho de que las personas protegidas se consideran seguras, por lo que se descuidan y no toman las medidas necesarias para evitar ser dañadas en sí mismas o en sus propiedades. Por ello, es preferible no hacer obra alguna, que hacerla sin los estudios previos adecuados y con los medios económicos que garanticen una construcción segura y confiable, incluida su continua y eficaz conservación.

#### **7.1.2.1. Bordos.**

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. (Maza, 1996)

El diseño del bordo, en muchos de sus pasos, es semejante al de una pequeña cortina de tierra y 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 sólo retiene el agua durante un tiempo reducido, que puede durar algunos días o pocas semanas. (Maza, 1996)

Los bordos se clasifican de diferentes maneras. Como ejemplo se mencionan las siguientes: en función del tipo de terrenos que protegen, en urbanos o agrícolas, de acuerdo con su uso o propósito, en bordos longitudinales que pueden ser construidos a lo largo de los cauces o delimitando los cauces de alivio, y en perimetrales alrededor de poblados, ciudades o instalaciones de importancia; por último, por el procedimiento constructivo utilizado, en compactados y semicompactados. (Maza, 1996).

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 en seguida y son recomendados por el US Army Corps of Engineers. (Maza, 1996).

- Realizar estudios geológicos.
- Efectuar un estudio preliminar de las condiciones del sitio, tanto del material de desplante, como de la posible localización de los bordos y zonas de banco de materiales.
- Realizar 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 los banco de materiales.
- Con lo anterior determinar 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 trazar una sección transversal representativa de cada tramo.
- Estudiar 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 puedan sufrir.
- Identificar las posibles zonas en donde haya que dar un tratamiento especial al suelo de cimentación.
- Definir las cantidades de los materiales necesarios para la construcción de la obra

- Definir la localización final de las zonas de bancos de materiales, en función de los volúmenes requeridos de materiales térreos.
- 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.

En cuanto al diseño de la sección transversal del bordo, se tiene que la altura del bordo es igual a la altura del tirante del 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 metros según la importancia de la obra y la seguridad que se tiene en la determinación del gasto de diseño y de las elevaciones del perfil del agua. (Maza, 1996)

Conviene que el terraplén sea de sección homogénea; sin embargo, los materiales de construcción pueden tener una permeabilidad variable. Por este motivo, el material más impermeable debe colocarse del lado que esté 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. (Maza, 1996)

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 desplantando en un buen sitio. Cuando esto último no ocurre o el material es de baja calidad se recomienda hacer un análisis detallado de la estabilidad del terraplén. (Maza, 1996)

Si el bordo se compacta, la pendiente del terraplén puede ser menos tendida que en uno semicompactado. Un talud se considera poco tendido cuando los valores de éste son 1:1 vertical y menor o igual que 2:1 horizontal; cuanto menos es la relación, el talud es menos tendido. (Maza, 1996)

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 contra 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.

Se recomienda que en lo posible una tubería no pase justo por debajo del desplante de los bordos o a través del cuerpo de éstos, ya que se pueden llegar a presentar severos daños si los cruces son mal diseñados o contruidos. Por ello, se recomienda que la tubería sea enterrada, cuando menos 1.5 veces su diámetro, por debajo del desplante del bordo.

### **Bordos perimetrales.**

En un principio la gente acepta los peligros y molestias de las inundaciones con tal de disponer de agua para su subsistencia. Cuando se desarrolla esos centros de población y se desea protegerlos contra inundaciones periódicas, la solución más común y explícita consiste en rodearlos parcialmente o completamente con un bordo, lo cual depende de la topografía. (Maza, 1996)

Durante el tiempo que dure una inundación se debe 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 habitantes para que se desplacen a las zonas altas. Esto deberá efectuarse cuando no se conocen con certeza de los niveles que puede alcanzar el agua en el río o no se ha efectuado una inspección y conservación continua de los bordos perimetrales. (Maza, 1996)

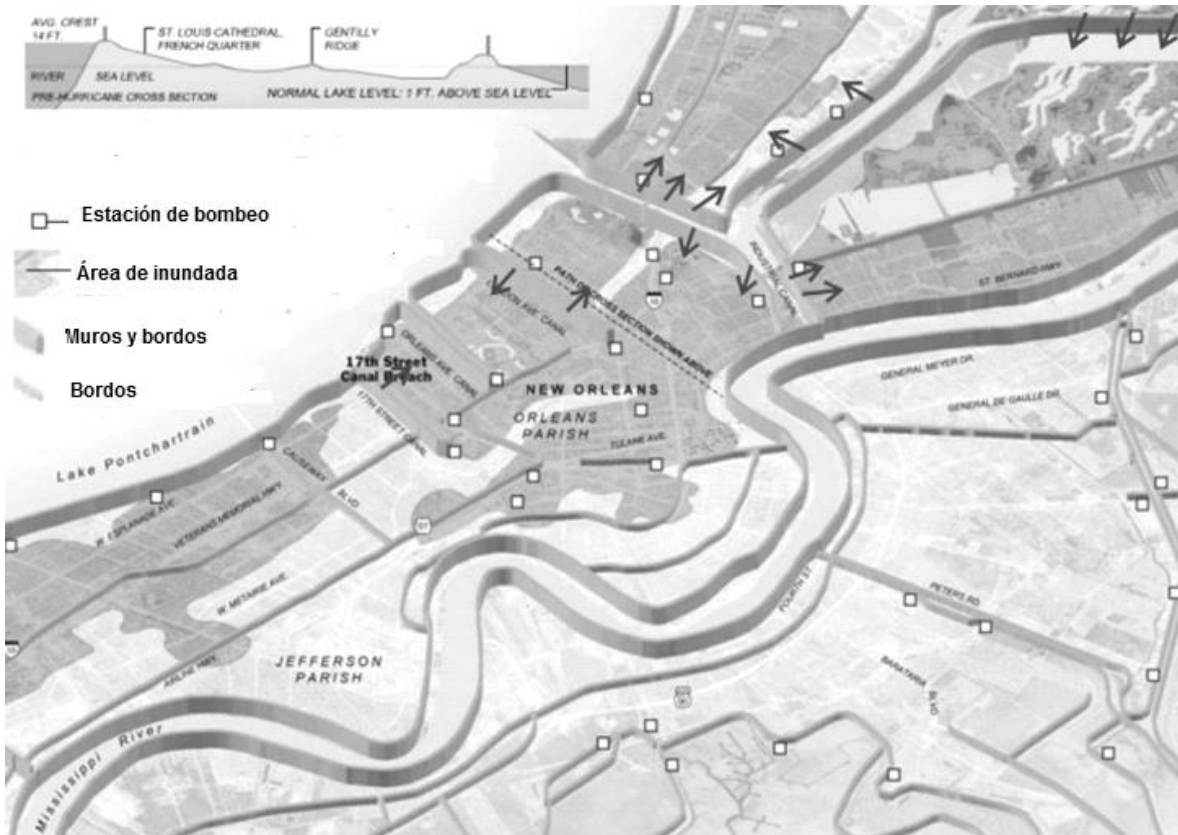


Figura 7.12. Esquema de bordos y muros de protección en la ciudad de New Orlands. (Rogers J.)

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 opta por uno de los procedimientos siguientes: (Maza, 1996)

- 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. (Ver Figura 7.13). 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. En ocasiones, la válvula colocada a la entrada de la tubería es sustituida por una compuerta de charnela ubicada al final del ducto. Estas compuertas requieren ser inspeccionadas con frecuencia para asegurar su adecuada operación. De no ser así, no se recomienda su uso, ya que cualquier basura o pedazo de rama puede impedir su cierre.

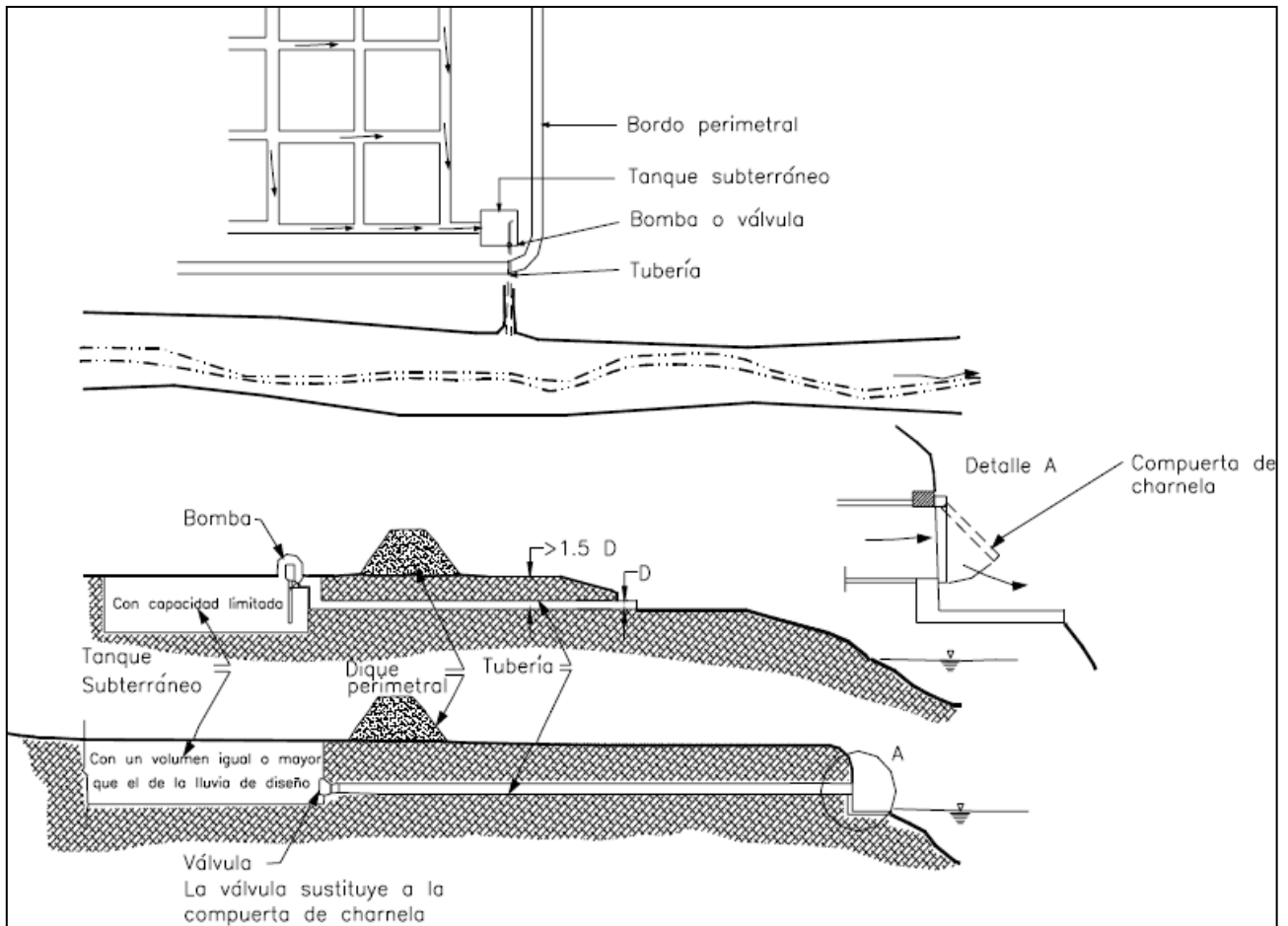


Figura 7.13. Drenaje de las áreas protegidas con bordos perimetrales. (Maza,1996)

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

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 de combustión interna; o bien, pequeñas plantas de generación de energía eléctrica, si los motores de las bombas operan con esa energía. Ver Figura 7.13

### **Bordos longitudinales.**

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 sirve para proteger simultáneamente varias ciudades y pueblos, así como grandes extensiones de terrenos con alta producción agrícola y ganadera; es decir, se utilizan para proteger 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 en ambas márgenes. Ver Figura 7.14. (Maza, 1996)



Figura 7.14. Ejemplo de bordo longitudinal en Motozintla Chiapas. (Gaytan, 2009)

Por la presencia de los bordos longitudinales quedan definidos dos cauces: (Maza, 1997)

- Cauce principal; es aquel por donde escurre normalmente el agua antes de desbordarse.
- Cauce de avenidas; es el formado entre cada orilla del cauce principal y el bordo correspondiente. Cuando los bordos se construyen en las orillas del río no existen cauces de avenidas; esto sólo es posible en aquellos ríos cuyas márgenes son arcillosas y muy resistentes a la erosión.

Los bordos longitudinales producen, sobre los escurrimientos, principalmente los efectos siguientes: (Maza, 1996)

- Confinan los escurrimientos entre ellos, por lo que obligan a que pasen por secciones con menor anchura. Esto produce una sobreelevación de la superficie.

- Trasladan las avenidas hacia aguas abajo. Al no permitir desbordamientos sobre la planicie, todos los volúmenes de agua quedan confinados y 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. (Alcocer, 2011) realizó estudios mediante simulación hidráulica en dos dimensiones en la zona del Soconusco en México, donde presenta resultados relacionados al traslado de avenidas hacia agua abajo debida a la colocación de bordos longitudinales.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que los bordos longitudinales tienen que construirse para que sean completamente seguros ya que: (Maza, 1996).

- La gente se confía al sentirse protegida y deja de tomar precauciones acostumbradas en las anteriores épocas de avenidas.
- La zona protegida aumentará su desarrollo y se construirán obras más costosas, ya que se sabe que no se dañaran con futuras inundaciones.
- De romperse un bordo, las inundaciones ocurrirán con mayor rapidez y alcanzaran niveles mayores que antes de la construcción de los bordos, al menos en la zona cercana a la posible rotura.

Por el elevado costo que se puede tener en la construcción de bordos y por el peligro que representa el tener elevaciones demasiado altas en un río, no conviene seleccionar la protección contra inundaciones únicamente con este tipo de solución, también conviene incorporara acciones no estructurales, de modo preventivo.

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. Dicha elevación depende de: (Maza, 1996).

- *El gasto máximo de la avenida seleccionada.* Este es variable y está en función del periodo de retorno  $T_r$ , que depende de la importancia de la obra y los posibles daños en caso de desbordamiento. En la tabla 7.1 de la sección 7.1.1.2, se muestran gastos de diseño recomendados por la CONAGUA para diferentes obras de protección.
- *Separación entre bordos.* La localización en planta de los bordos longitudinales se efectúa, por lo general, a lo largo de ambas márgenes de un río y procurando que

sean paralelos entre sí; además, conviene que estén suficientemente separados de las orillas del río, para disponer de un área hidráulica adicional y lograr así que la altura de los bordos sea menor. Cuando hay poblados o ciudades junto al río, lo anterior no se puede cumplir y los bordos se tienen que construir prácticamente en la orilla. Ver Figura 7.15. Además, durante la etapa de diseño se debe estudiar opciones con diferentes separaciones para que al comparar el costo de las obras contra los beneficios de cada propuesta se cuente con los elementos suficientes para realizar la selección más adecuada. Ver Figura 7.16.

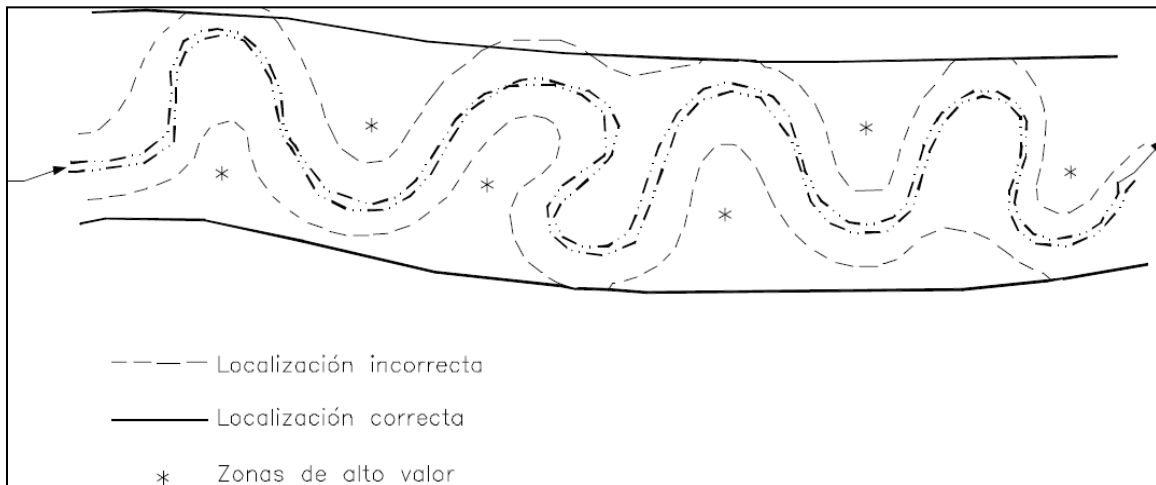


Figura 7.15. Localización de los bordos longitudinales en un río con meandros.  
 (Maza, 1996)

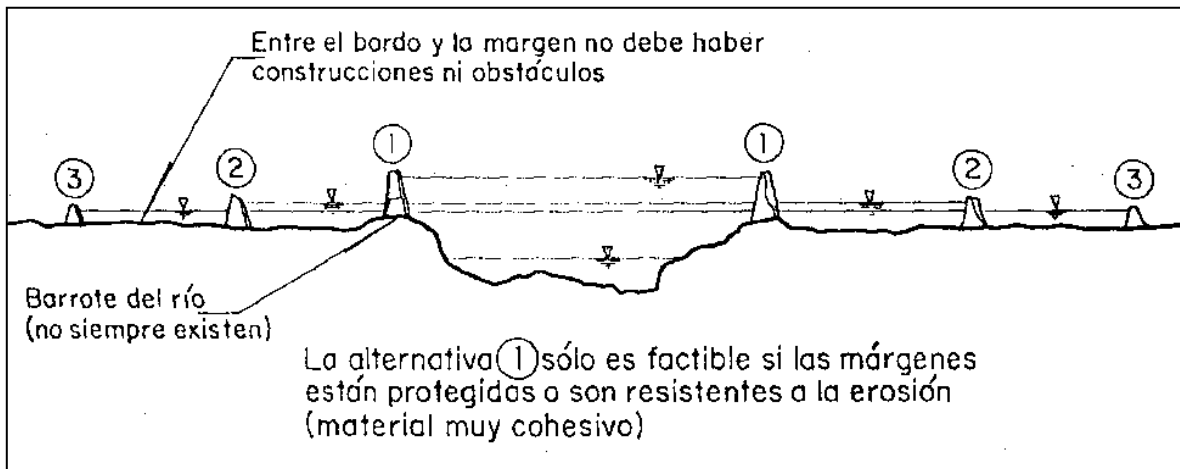


Figura 7.16. Posibles localizaciones de los bordos. (Maza, 1996)

- *Longitud de bordos.* Cuanto mayor sea la longitud de los bordos mayor es la longitud del tramo en que se evitan inundaciones debido a desbordamientos y por tanto, todo el gasto de la avenida es confinado en una mayor longitud. Cuando la longitud del bordo es considerable, y conforme la corriente escurre a lo largo de su recorrido a éste se incorporan afluentes, por lo que posiblemente sea necesario aumentar la altura de los bordos conforme se avance hacia aguas abajo, no obstante en la mayoría de los casos la altura se mantiene casi constante sobre la planicie. Por otra parte, cualquier error del proyecto causará afectaciones, sobre todo el tramo ubicado inmediatamente aguas abajo del término de la protección, por lo que las zonas que antes no tenían problemas de inundación podrían verse afectadas. En el caso cuando sólo se protege un margen, los daños no son tan notables ya que la zona del lado sin protección seguirá inundándose, pero con niveles mayores, por lo que será necesario revisar la posible inundación de nuevas zonas.
- *Rugosidad de los cauces.* La rugosidad de un cauce influye notablemente en la altura de los bordos. Si se piensa en el coeficiente de rugosidad de Manning, la velocidad media de un escurrimiento es inversamente proporcional a ese coeficiente. Por ello, la rugosidad debe ser la menor posible. Si el río lleva agua todo el año nada se puede hacer para disminuir la rugosidad natural del cauce principal. En cambio, en las zonas semiáridas, donde los ríos no tienen agua durante varios meses, puede crecer vegetación dentro del cauce principal, si hay humedad en el subálveo. Esa vegetación formada por matorral y arbustos, debe ser removida a lo largo de toda la zona protegida con bordos ya que su presencia puede llegar a incrementar notablemente el coeficiente de rugosidad.  
En los terrenos que se encuentran entre las orillas y los bordos y que forman el cauce de avenidas se debe proceder de la misma manera.
- *Altura de los bordos.* Como se ha indicado la colocación de los bordos se procura que queden lo más separado posible de las orillas, si las construcciones y poblados lo permiten. Ver Figura 7.16.  
Una vez seleccionado el trazo inicial de la obra se deberán obtener los niveles del agua, tanto para la condición actual como con la obra construida. Para ello, del estudio hidrológico se debe seleccionar una o varias avenidas probables de diseño, o el intervalo dentro del cual puede estar el que finalmente se escoja como

gasto de diseño. Además, de la forma de las avenidas, se debe obtener el lapso de tiempo en que el gasto máximo permanece aproximadamente constante.

Las variantes para la determinación de los tirantes de agua a lo largo del cauce principal se realiza a través del análisis de:

- Condiciones naturales sin bordos.
- Con bordo en una sola margen.
- Con bordos en ambas márgenes.

Para conocer los niveles que alcanza el agua en cualquier punto de la zona en estudio y en cualquier instante durante el paso de una avenida, se puede utilizar un modelo físico o matemático que permita analizar el tránsito de la avenida a lo largo del tramo del río bajo estudio y de su respectiva planicie. Por lo que para la utilización de estos modelos es necesario realizar levantamientos topográficos de detalle de toda la zona que puede ser cubierta por las aguas. Además de señalar todos los obstáculos que obstruyan el paso de la corriente, como son muros, canales, caminos y construcciones en general.

Tanto los modelos físicos como los matemáticos sirven para predecir los niveles del agua en puntos de interés (generalmente donde hay poblados), así como las velocidades medias de los escurrimientos. Los modelos matemáticos tienen la ventaja de ser más económicos que los físicos y se pueden utilizar en cualquier sitio donde se instale un equipo de cómputo adecuado para ese modelo. Además están disponibles en cualquier momento para aplicarlos a cualquier avenida que se desee. Sin embargo, presentan la desventaja de no permitir la visualización conjunta de los escurrimientos, ni detectar fácilmente algunos errores. Los modelos físicos, por su parte, son más costosos y requieren de instalaciones apropiadas para construirlos y operarlos adecuadamente. Pero permiten la visualización de los escurrimiento tanto temporal como espacialmente, conviene utilizarlos cuando la topografía es mas accidentad, hay pocos datos para hacer una calibración o existen numerosos obstáculos que afectan a los escurrimientos.

Al utilizar un modelo físico conviene estudiar en él la mayor cantidad de avenidas posibles, así como varias opciones de protección, ya que una vez terminado el estudio, el modelo es abandonado o destruido.

- *Drenaje de la planicie.* Los bordos evitan que el agua desbordada del cauce principal inunde la planicie, pero también son una frontera que impide que el agua de lluvia que cae y escurre sobre la planicie y sus arroyos retorne al río. Por lo

anterior, un proyecto de protección con bordos longitudinales debe incluir el drenaje adecuado y eficiente del agua de lluvia local que escurre normalmente al río. El objeto antes mencionado puede lograrse realizando lo siguiente:

- *Para afluentes.* Cuando un bordo pasa por la unión de un arroyo y el río principal, es necesario interrumpir su construcción y llevarlo sobre las márgenes del tributario hacia aguas arriba, diseñando esas extensiones del bordo como otro bordo longitudinal hasta que topográficamente sea posible empotrarlos o terminarlos. En el caso de encontrar afluentes caudalosos, para controlar sus crecidas, se les debe dar el mismo tratamiento que al río principal.

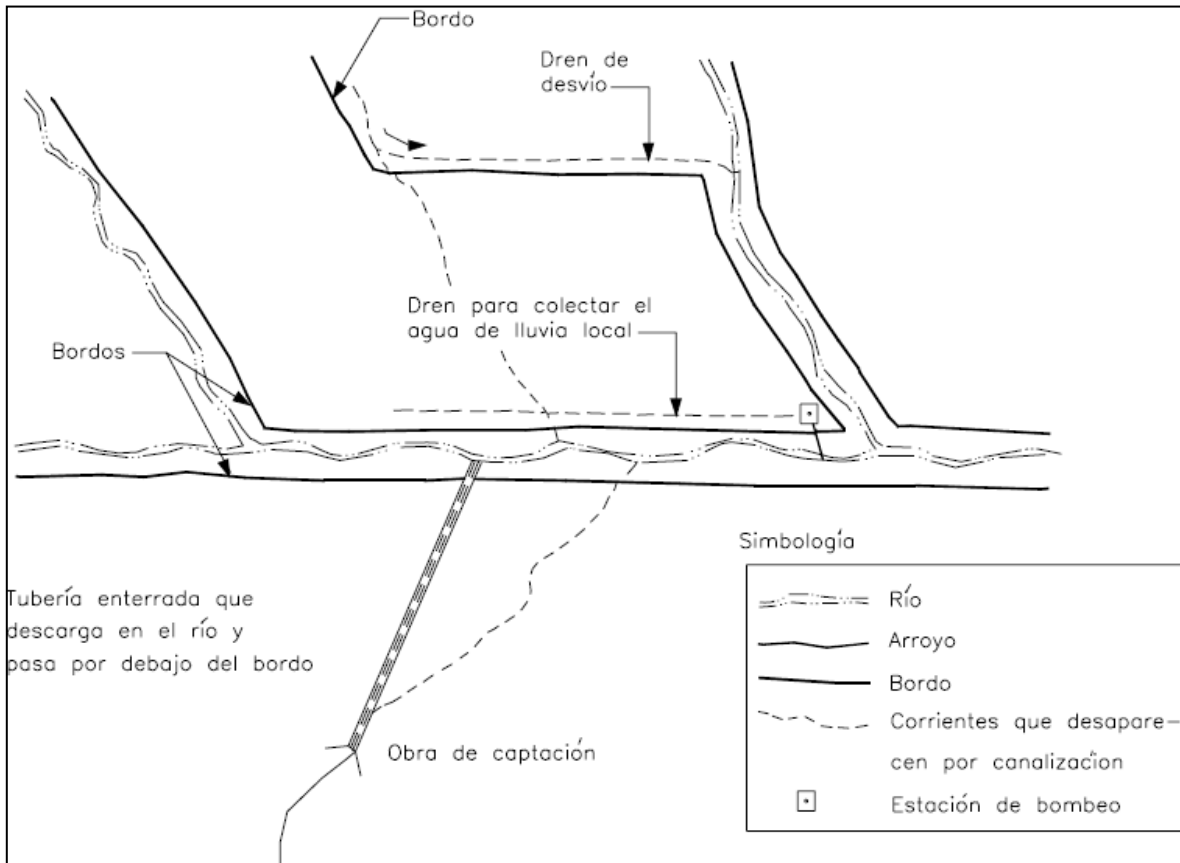


Figura 7.17. Drenaje de corrientes tributarias. (Maza, 1996)

- *Para afluentes muy pequeños y corrientes sobre la planicie.* Los pequeños escurrimientos con gastos muy reducidos, que no se consideran como afluentes sino que drenan áreas reducidas de la planicie cuando llueve intensamente, pueden ser interrumpidos por la presencia del bordo

longitudinal del río, ver Figura 7.18. para captar esos escurrimientos así como los que escurren sobre la planicie y que se acumulan contra los bordos, se deben construir un dren paralelo al bordo, cuya capacidad hidráulica dependerá de los escurrimientos esperados. Estos drenes pueden continuar hacia aguas abajo y pueden terminar en el cauce principal, en una estación de bombeo o en una sección de compuertas.

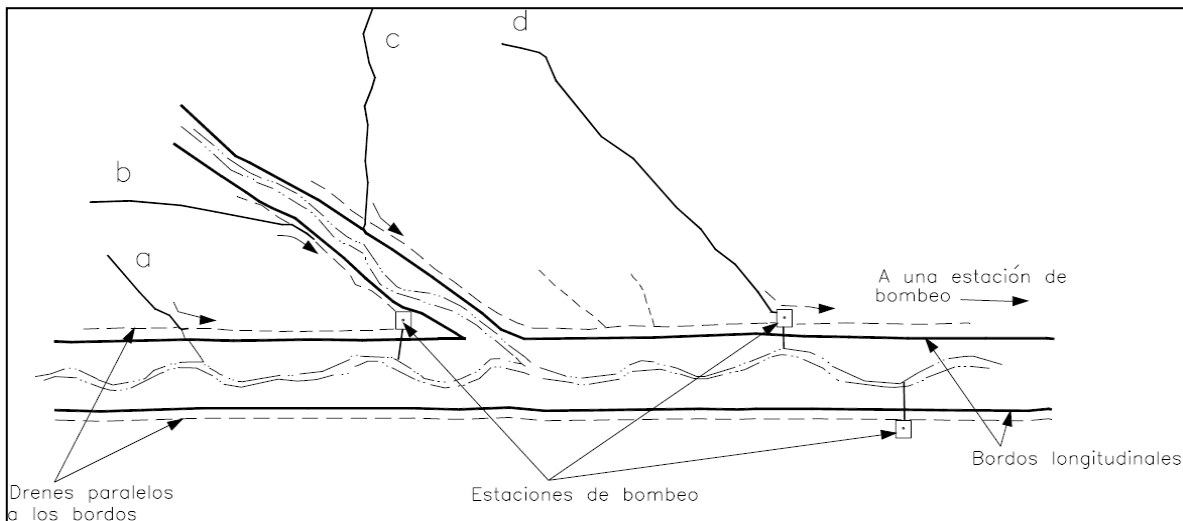


Figura 7.18 Drenaje en de planicies con bordos longitudinales. (Maza, 1996)

- *Avenidas mayores que la de diseño.* La avenida de diseño seleccionada depende del beneficio que se logre con la obra, y del costo de los bordos. Al utilizar bordos longitudinales no siempre es posible construirlos con una altura tal que protejan contra cualquier avenidas que llegue a presentarse, ya que la avenida de diseño seleccionada únicamente puede tener un periodo de retorno de 50, 100 o 1,000 años. Puesto que existen siempre la posibilidad de que ocurra avenidas mayores que la de diseño, contra las que la defensa sea inadecuada, se debe elaborar un procedimiento en el que se establezcan las acciones que deben seguirse cuando, por las lluvias registradas, se conozca que la avenida de diseño va a ser sobrepasada. Además, se debe disponer de un procedimiento de alarma dentro del conjunto de acciones para la prevención de desastres.

Cuando se presenta una avenida mayor que la de diseño y falta un plan de acción o las acciones programadas son insuficientes y además hay poblaciones de importancia aguas debajo de la zona protegida, conviene romper de inmediato los bordos frente a las zonas en que se ocasionen menos daños y menos gente tenga

que ser desalojada; esto se hace con la finalidad de tratar de restituir las condiciones que había antes de la construcción de los bordos.

### 7.1.2.2. Muros de encauzamiento.

Un muro de encauzamiento consiste en una frontera prácticamente 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 puede ser una medida eficaz para proporcionar protección contra inundaciones, ya que ayudará a contener lateralmente el escurrimiento de arroyos y ríos, principalmente en las zonas bajas de éstos. Dentro de los muros se incluye el cauce principal y delimitan al cauce de inundación. En éste último no se deben permitir asentamientos humanos ni industriales ya que estarían en peligro tanto las vidas humanas como los bienes materiales. Las secciones transversales típicas de algunos muros se muestran en la Figura 7.19. (Maza, 1996)

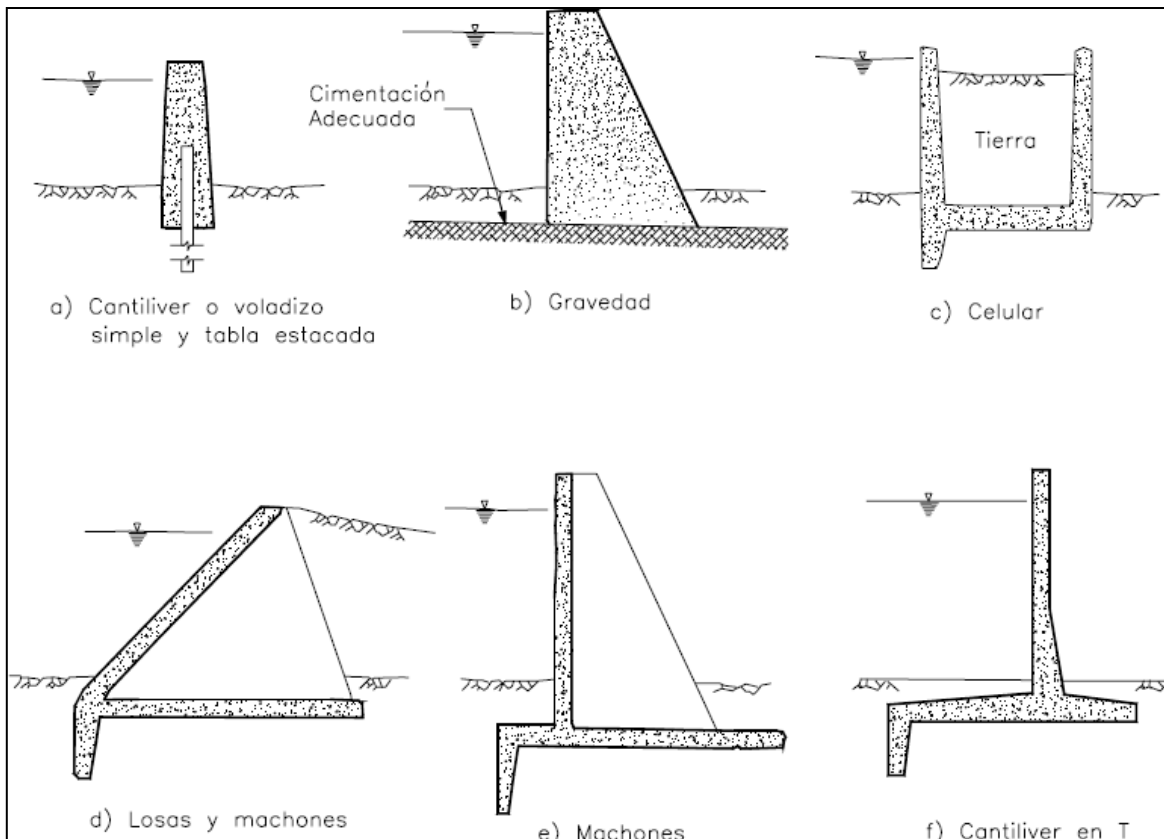


Figura 7.19. Tipos de muros de encauzamiento. (Maza, 1996)

Los muros se utilizan, en sustitución de los bordos, cuando los taludes de éstos últimos son muy tendidos y por tanto el volumen de obra resulta ser demasiado grande; otra razón que justifica su utilización es cuando no hay 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 menor espacio. También se utilizan soluciones combinadas de bordo con muro, como la que se muestra se la Figura 7.20. (Maza, 1996)

El muro se debe diseñar para soportar la presión hidrostática ejercida por el nivel del agua que corresponde a la avenida de diseño, incluyendo la supresión que no pudiera ser evitada. Por otra parte el muro debe ser protegido contra la erosión colocando enrocamiento en el lado expuesto del río. Ver Figura 7.20. (Maza, 1996)

Finalmente, conviene mencionar que los muros, al igual que los bordos, 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. (Maza, 1996)

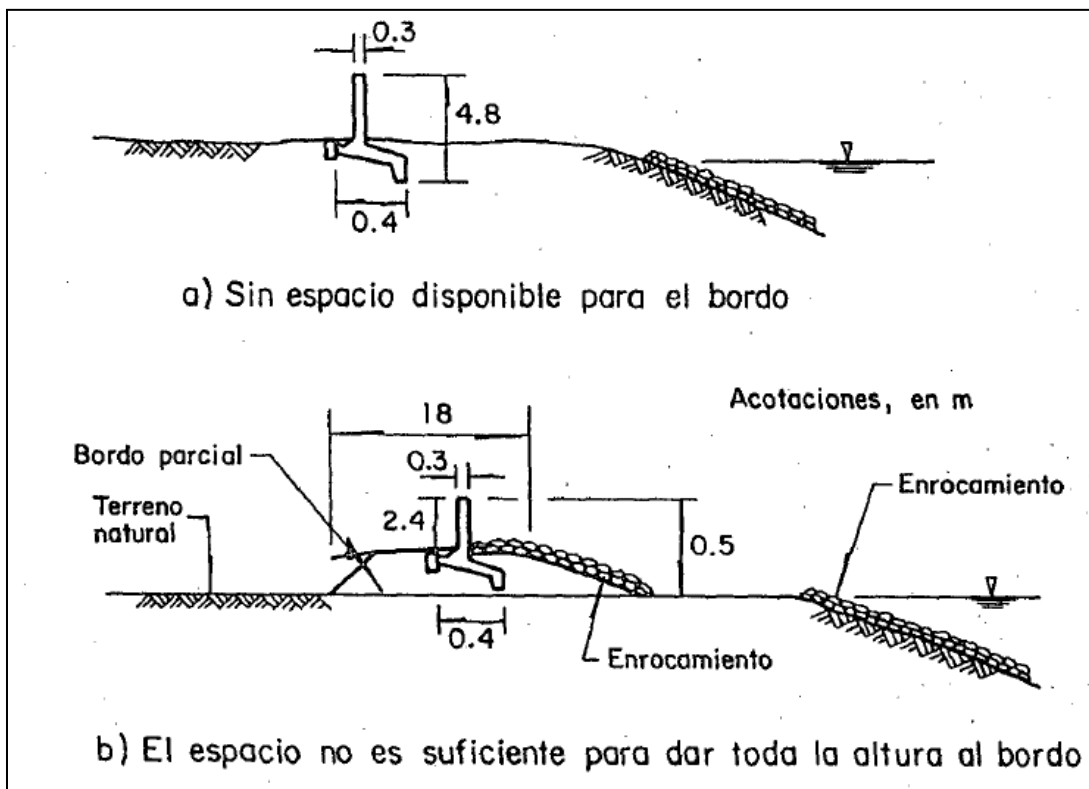


Figura 7.20. Muro de encauzamiento. (Maza, 1996)

### 7.1.2.3. Desvíos permanentes en cauces.

Los desvíos permanentes pueden formarse con cauces de alivio y canales de alivio. Ésta solución consiste en desviar agua del río y conducirla, hacia el mar, una laguna o a otro cauce. El agua así desviada no retorna a esa corriente con lo que se logra reducir un gran volumen de agua al hidrograma del río en la sección donde se inicia el desvío. Ver Figura 7.21. (Maza, 1996)

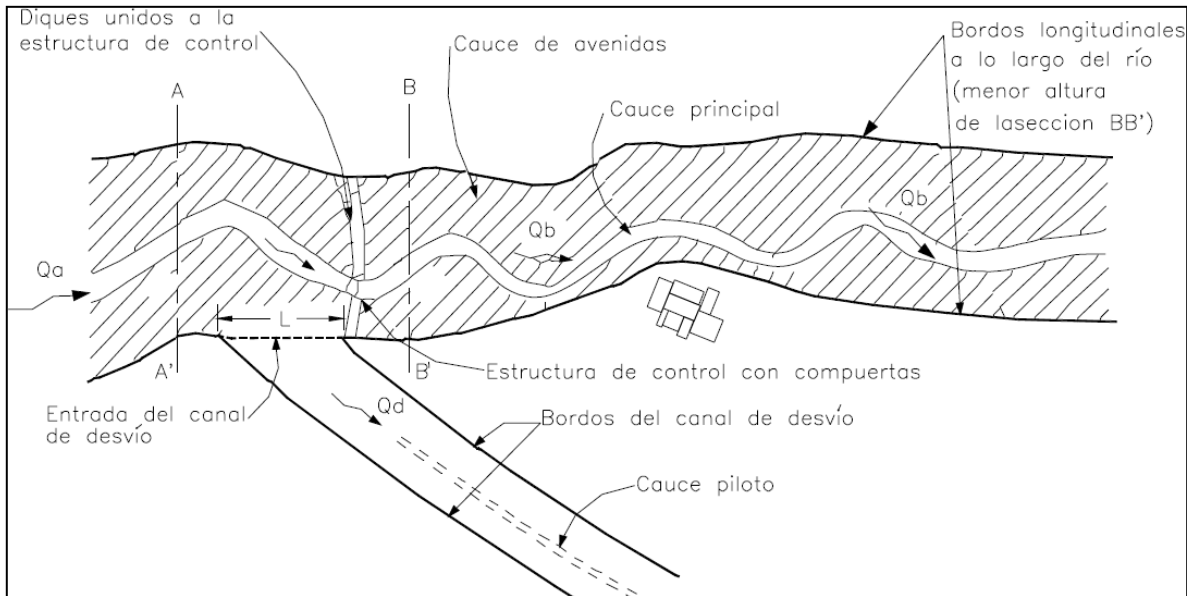


Figura 7.21. Bordos longitudinales y cauces de alivio. (Maza, 1996)

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 cuatro metros es peligroso utilizar este tipo de defensa. Como ya se mencionó la altura de los bordos depende principalmente del gasto máximo de la avenida seleccionada y en menor grado del volumen de la misma. Para reducir la altura de los bordos longitudinales se pueden construir cauces de alivio, si topográficamente 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 debe sustraer al gasto que escurre entre los bordos a lo largo del río, con lo que se logra que, aguas abajo del desvío, la altura de los bordos sea menor o no sean requeridos. (Maza, 1996)

Los desvíos permanentes generalmente se forman sobre la planicie, limitando sus fronteras con los 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. Mientras los gastos en el río son bajos y no alcanzan a sobrepasar la capacidad del cauce principal, todo el gasto escurre por el cauce del río propiamente dicho. Cuando los gastos aumentan, suben los niveles del agua y ésta se desborda del cauce principal y empieza a escurrir por el cauce de avenidas formando entre la orilla y los bordos. Como la entrada del cauce de alivio tiene un nivel similar al terreno natural, parte del agua empieza a escurrir por él de tal manera que de ahí en adelante se cumpla que el gasto en el río aguas abajo del desvío es igual al gasto que proviene de aguas arriba menos el gasto desviado. (Maza, 1996)

Cuando aguas abajo de un cauce de desvío permanente se desea garantizar que no pase un gasto mayor de un valor prefijado, aun para avenidas mayores que la de diseño, y cuando ello ocurra se prefiere que los daños se tengan a lo largo del cauce de alivio, se debe construir una estructura limitadora del gasto dentro del cauce principal del río, y unida a los bordos longitudinales. Dicha estructura podrá tener orificios o tuberías cortas, o estar formada con compuertas, siendo esta última la más utilizada. Todas las obras de descarga, pero sobre todo las compuertas tendrán su nivel inferior al nivel del fondo del río. (Maza, 1996)

En situaciones extremas, la estructura limitadora de gasto se diseña para no permitir que hacia aguas abajo se sobrepase la capacidad del cauce principal. En esa circunstancia, aguas abajo de la estructura limitadora no se requiere bordos longitudinales.

Se ha mencionado que los desvíos permanentes se pueden formar con cauces de alivio y canales de alivio. Los primeros se forman con bordos longitudinales y el agua escurre sobre el terreno natural de la planicie; en ocasiones tienen un cauce piloto que es excavado. Por su parte los canales de alivio son excavados a la misma profundidad del río donde se inician y con la pendiente necesaria para llegar al río o mar que recibirá el agua desviada. (Maza, 1996)

Los canales de desvío usualmente son de longitud menor que los cauces de alivio, y asimismo, su capacidad hidráulica también es más reducida, ya que el agua desviada tiene que pasar por el canal excavado, el cual tiene un área hidráulica menor que la de

los cauces de alivio. Por último, para un mismo gasto de desvío, los cauces de alivio limitados con bordos son más económicos que los canales de alivio excavados.

#### 7.1.2.4. Desvíos temporales en cauces.

Los desvíos temporales se realizan cuando 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 por que 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. (Maza, 1996)

Esta solución, al igual que los cauces de alivio, se combina con bordos longitudinales. La diferencia principal consiste en que mientras con un desvío permanente se tienen la posibilidad de desviar volúmenes de agua muy grandes, con los desvíos temporales sólo 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. (Maza, 1996)

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 está comunicada con otras áreas que no deben inundarse.

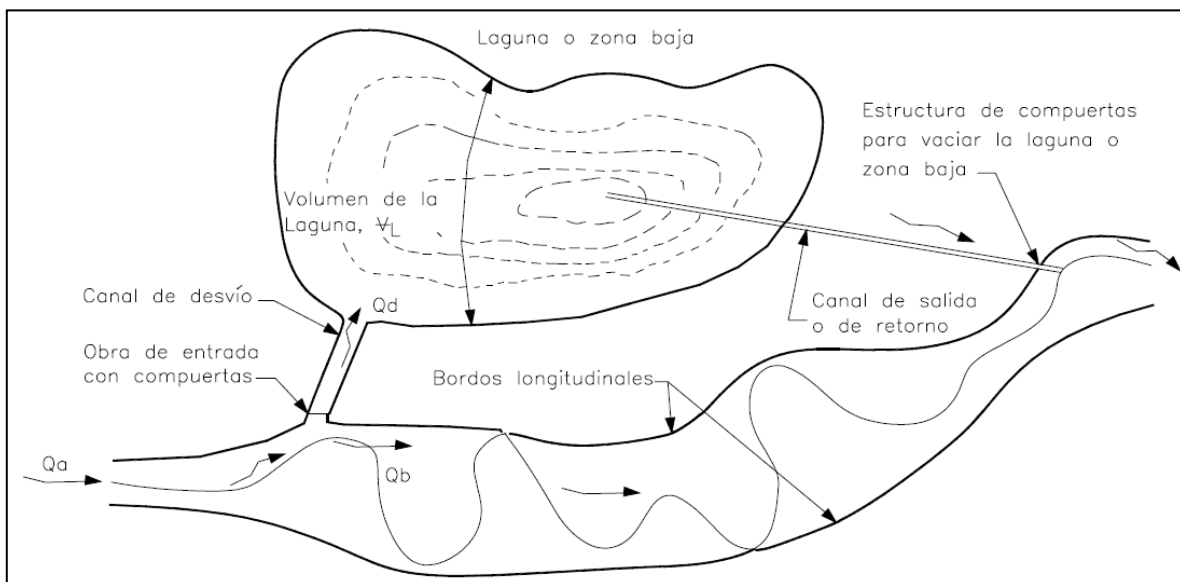


Figura 7.22. Arreglo general para un desvío temporal. (Maza, 1996)

Esta acción estructural requiere de una operación cuidadosa, ya que se pretende 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 éste tipo de obras es más eficiente cuando mayores sean los volúmenes que se pueden desviar lateralmente, lo cual se consigue si se dispone de una gran zona baja con poco desarrollo y sin construcciones de importancia, o si se puede construir varios desvíos temporales en forma escalonada en una o ambas márgenes.

Como el tirante de un río depende del gasto que pasa por él, conviene que el volumen disponible en la laguna  $V_L$ , se traduzca en el mayor gasto desviado justo al pasar el pico de la avenida frente al desvío. Suponiendo un hidrograma como el de la Figura 7.23. Si se empieza a desviar agua hacia la laguna antes de tiempo, ésta se puede llenar antes de presentarse el pico de la avenida y el gasto máximo que llega a pasar hacia aguas abajo ( $Q_b$ ), puede ser similar al de aguas arriba del desvío, esto es, que puede que no se presente la reducción deseada. (Maza, 1996)

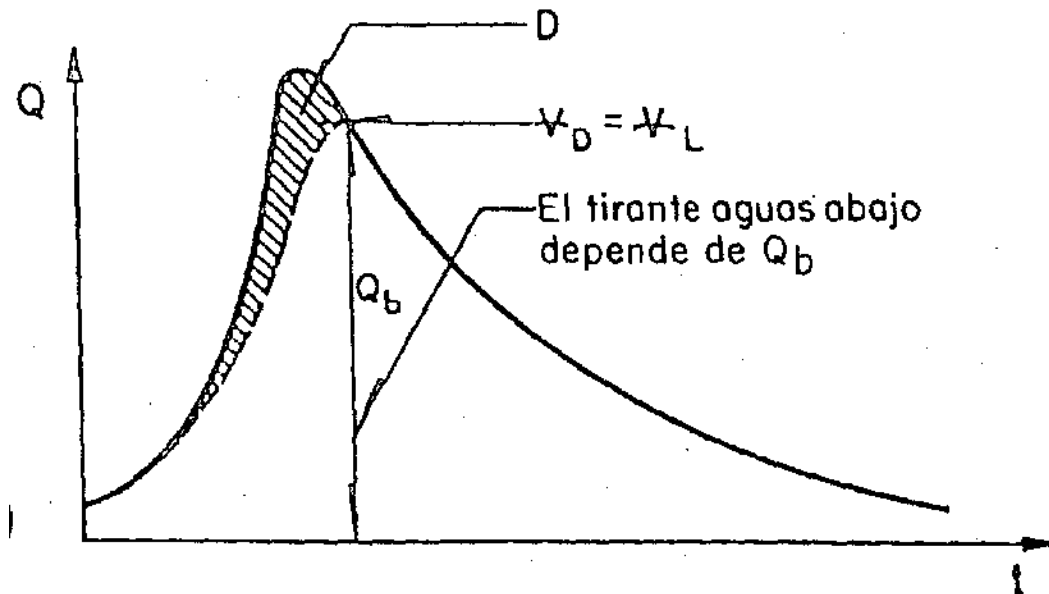


Figura 7.23. Desvío antes de tiempo. (Maza, 1996)

El mejor aprovechamiento se logra cuando el volumen que se resta al hidrograma tiene una frontera inferior casi horizontal (Ver Figura 7.24); es decir, cuando la altura del hidrograma se reduce lo más posible. Para lograr un funcionamiento adecuado del desvío, éste se debe iniciar cuando el hidrograma esté en el punto K. por tanto, la escotadura de

entrada del cauce de desvío debe estar al nivel que corresponde al gasto  $Q_b$ , que es el que se dejará pasar hacia aguas abajo del cauce principal. Seleccionada la altura de la cresta del vertedor, la longitud del mismo se calcula para que en el instante  $t_d$  pase el gasto  $Q_D = (Q_{max} - Q_b)$ . (Maza, 1996)

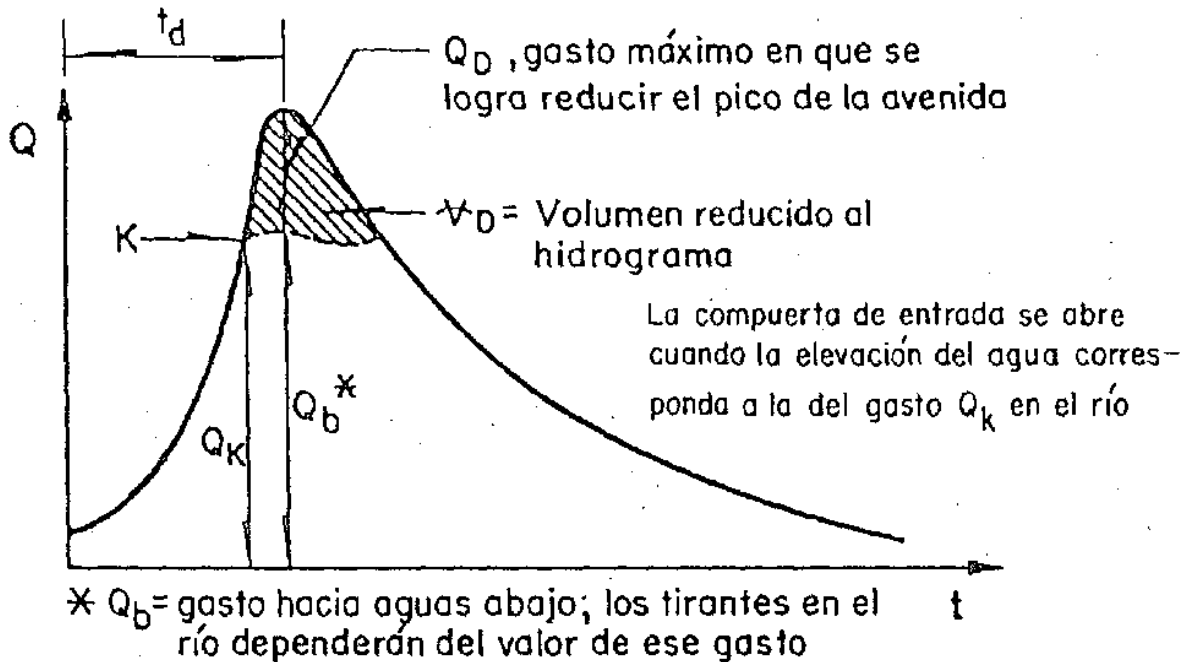


Figura 7.24. Aprovechamiento de un desvío temporal. (Maza, 1996)

Cuando se requiere vaciar la laguna para un futuro aprovechamiento es necesario excavar un canal, del centro de la laguna hacia el río (Ver Figura 7.22). 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, 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 periodo que transcurre entre dos avenidas. (Maza, 1996)

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 colocadas 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.

Dependiendo de las características topográficas de los terrenos adyacentes a un río, una obra de control contra inundaciones basada en desvíos temporales puede requerir de varios desvíos escalonados y distribuir en una o ambas márgenes, logrando al final un abatimiento de consideración en los niveles del agua.

#### **7.1.2.5. Corte de meandros.**

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. 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. (Maza 1996)

Cuando en un río hay meandros, como los mostrados en la Figura 7.25, se puede hacer una 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. Así, por ejemplo si la longitud  $BC$  por el río es cuatro veces mayor que la longitud  $B'C'$  por la rectificación, la capacidad hidráulica de esa rectificación para igual tirante y ancho de sección, tiende a ser casi el doble que en el río. Por la reducción de la longitud, la pendiente aumenta y por tanto aumenta la capacidad hidráulica de la sección en el tramo  $B'C'$  rectificado. (Maza, 1996).

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 modifica ese 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 que la acción estructural aquí tratada sea efectiva. Ello se logra al proteger las márgenes del río con espigones y recubrimientos marginales, de tal manera que el río no se desplace lateralmente y por tanto, no pueda desarrollar nuevos meandros. (Maza, 1996). Ver Figura 7.26.

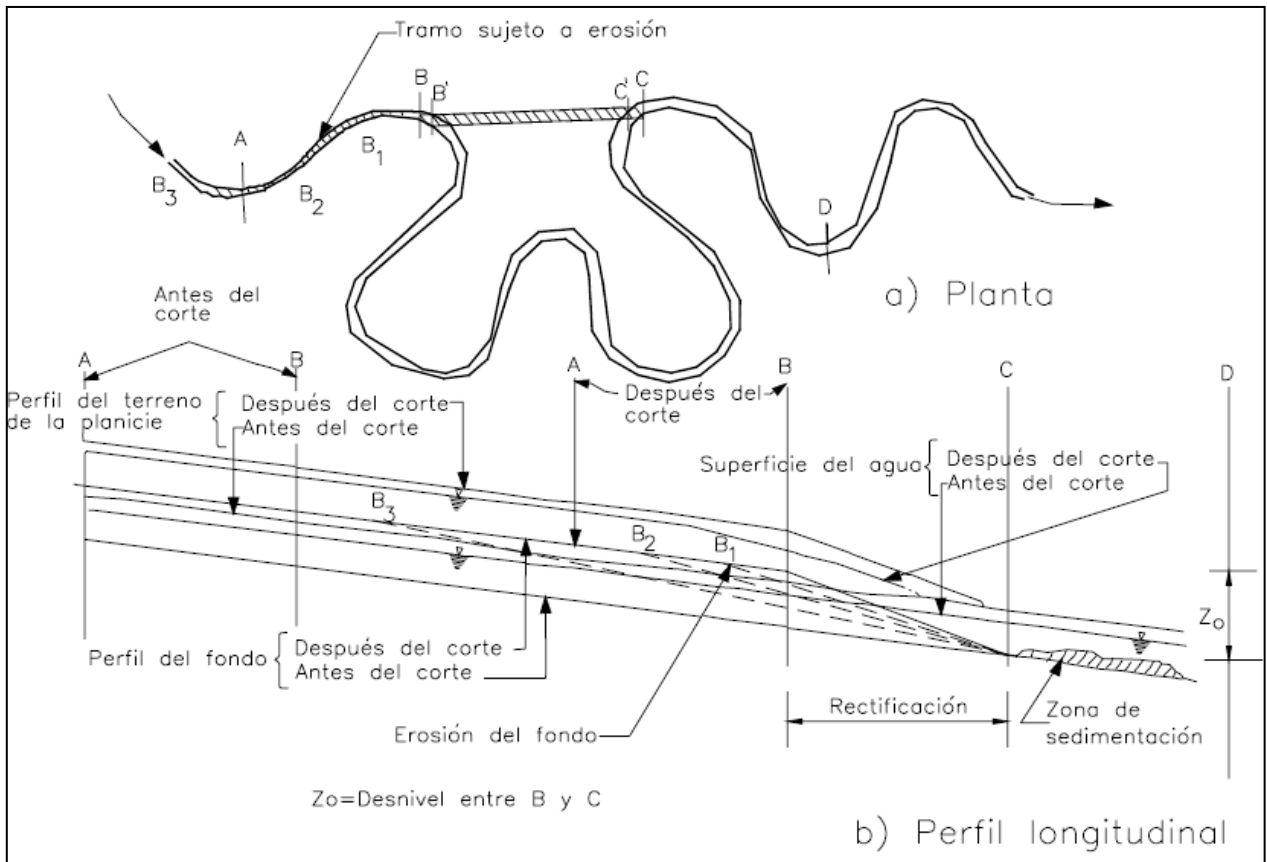


Figura 7.25. Corte de un meandro y sus consecuencias. (Maza, 1996)



Figura 7.26. Protección marginal.

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 debajo de él. Esta acción 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 más resistentes, o con partículas de mayor tamaño con las que se acorace el fondo. (Maza, 1996)

La erosión indica que aumenta el área hidráulica y por tanto pasarán por el tramo gastos mayores, lo cual se aprovecha para evitar desbordamientos. Esto es lo que permite utilizar el corte de meandro como obra de protección contra inundaciones, y es una acción recomendable únicamente en el tramo señalado, es decir, desde la salida del último corte hasta la entrada del primero, existen poblaciones de importancia que se deseen proteger. Cuando sólo hay terrenos agrícolas o ganaderos no se recomienda usarla por su alto costo. (Maza, 1996)

Por último, para que la acción comentada sea de utilidad, se debe dragar el río aguas abajo del último corte, con objeto de retirar el material que se deposita y que proviene del fondo erosionado en los cortes aguas arriba de ellos.

El corte de meandros se hace construyendo inicialmente un cauce piloto, el cual será ampliado posteriormente por el río debido a la mayor capacidad de arrastre y erosión que tiene el agua al pasar por él. Las dimensiones del cauce piloto dependerá de su pendiente y de las propiedades físicas del material que forman las paredes y el fondo del mismo.

El ancho mínimo del cauce piloto deberá ser igual a dos veces la altura que hay entre el fondo del cauce piloto y la superficie del terreno natural. Con ello se evitará que se cierre completamente la sección y se obstruya el paso del agua si llega a ocurrir algún deslizamiento debido al proceso erosivo que también ocurre al pie del talud de las orillas. Por tanto, de poder ocurrir los deslizamientos señalados, el ancho mínimo del cauce piloto será igual a: (Maza, 1996)

$$B_{\text{mín}} = 2(\text{nivel terreno} - \text{nivel del fondo})$$

Por otra parte, el ancho mínimo del cauce piloto debe ser tal que garantice el arrastre de las partículas del fondo y de las orillas. Para obtenerlo se procede por tanteos, de la manera siguiente(Maza, 1996)

- Se selecciona un ancho.
- Se obtiene los tirantes, velocidades y caudal que pasa por el cauce piloto cuando en el río se presentan las condiciones medias de la época de estiaje.
- En la sección media del cauce piloto, se obtiene el esfuerzo cortante que el flujo ejerce sobre el fondo,  $\tau_o$

$$\tau_o = \gamma RS$$

Donde:  $\tau_o$  es el esfuerzo cortante que el flujo produce en el fondo, en  $(N/m^2)$ ,  $\gamma$  es el peso específico del agua, en  $(N/m^3)$  y  $(S)$  es la pendiente hidráulica o pérdida de carga por unidad de longitud.

- Se calcula el esfuerzo cortante crítico  $\tau_c$  el cual es el esfuerzo necesario para iniciar el arrastre de las partículas de fondo.
- Se compara  $\tau_o$  con el esfuerzo cortante crítico, de tal manera que:  $\frac{\tau_o}{\tau_c} = \epsilon$ .
- Se recomienda que  $\frac{\tau_o}{\tau_c} = \epsilon$  sea igual a 3 para garantizar el arrastre generalizado de partículas. Por tanto, el ancho mínimo es el que conduce a la condición:

$$\tau_o = 3\tau_c$$

El esfuerzo cortante crítico se puede obtener con la gráfica de Shields (Ver Figura 7.27) o con la ecuación de Maza que propuso para esa curva en 1989, la cual establece que: (Maza, 1996)

Si  $D_* \leq 333$ :

$$\tau_c = g(\rho_s - \rho)D_m \left[ \frac{0.2196}{D_*} + 0.77 \exp \left\{ - \left( \frac{30.35}{D_*} \right)^{0.563} \right\} \right]$$

Cuando  $D_* > 333$  se utiliza la relación:

$$\tau_c = 0.06g(\rho_s - \rho)D_m$$

en que:

$$D_* = D_m \left[ \frac{\Delta g}{\nu^2} \right]^{1/3}$$

Donde:  $\rho_s$  es la densidad de las partículas, en  $kg/m^3$ ,  $D_m$  es el diámetro medio de las partículas del fondo, en  $m$ ,  $\nu$  es la viscosidad cinemática del agua, en  $m^2/s$ ,  $D_*$  es un número adimensional de la partícula y  $\Delta$  es la densidad relativa sumergida, se obtiene de la relación  $\frac{\rho_s - \rho}{\rho}$ .

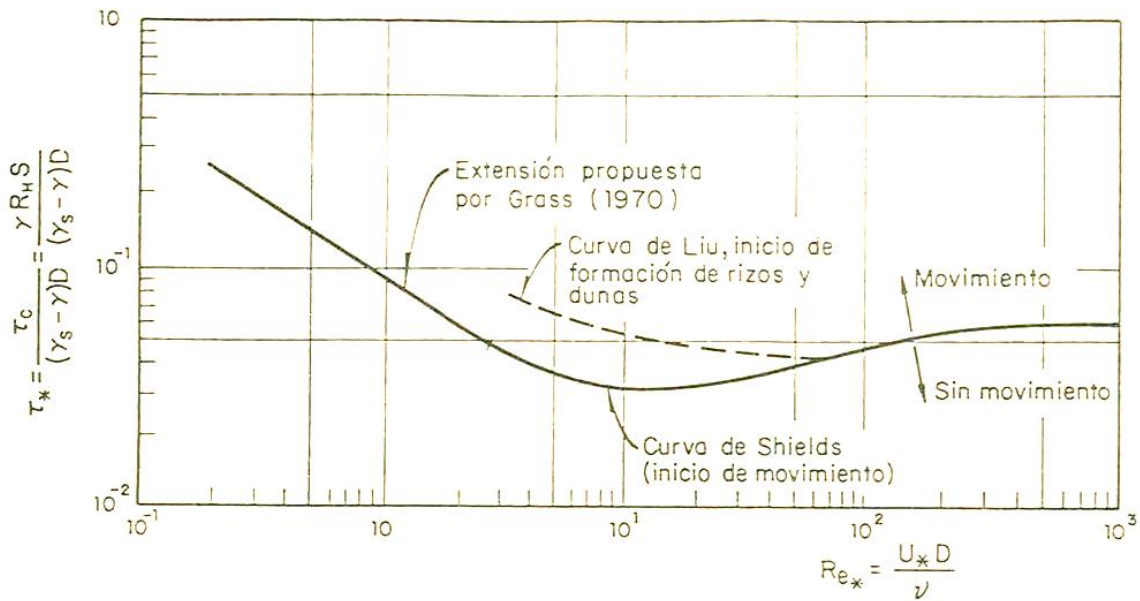


Figura 7.27. Gráfica de Shields (Maza, 1987)

Existen otros criterios para calcular  $\tau_c$ , ya sea en materiales cohesivos o no cohesivos, de los que se pueden mencionar: la formula de Mayer- Peter Müller, Laursen, para suelos granulares (éstos no se explican ya que quedan fuera del alcance de este documento).

En el momento en que se efectúa un corte de meandros y durante el proceso erosivo, como resultado del cual se amplía el cauce piloto, se cumple la relación:

$$Q_r = Q_c + Q_m$$

Donde,  $Q_r$  es el gasto total de río,  $Q_c$  es el caudal a través del cauce rectificado y  $Q_m$  es el gato que pasa por el meandro, todos estos gastos están dados en  $m^3/s$  Ver Figura 7.28.

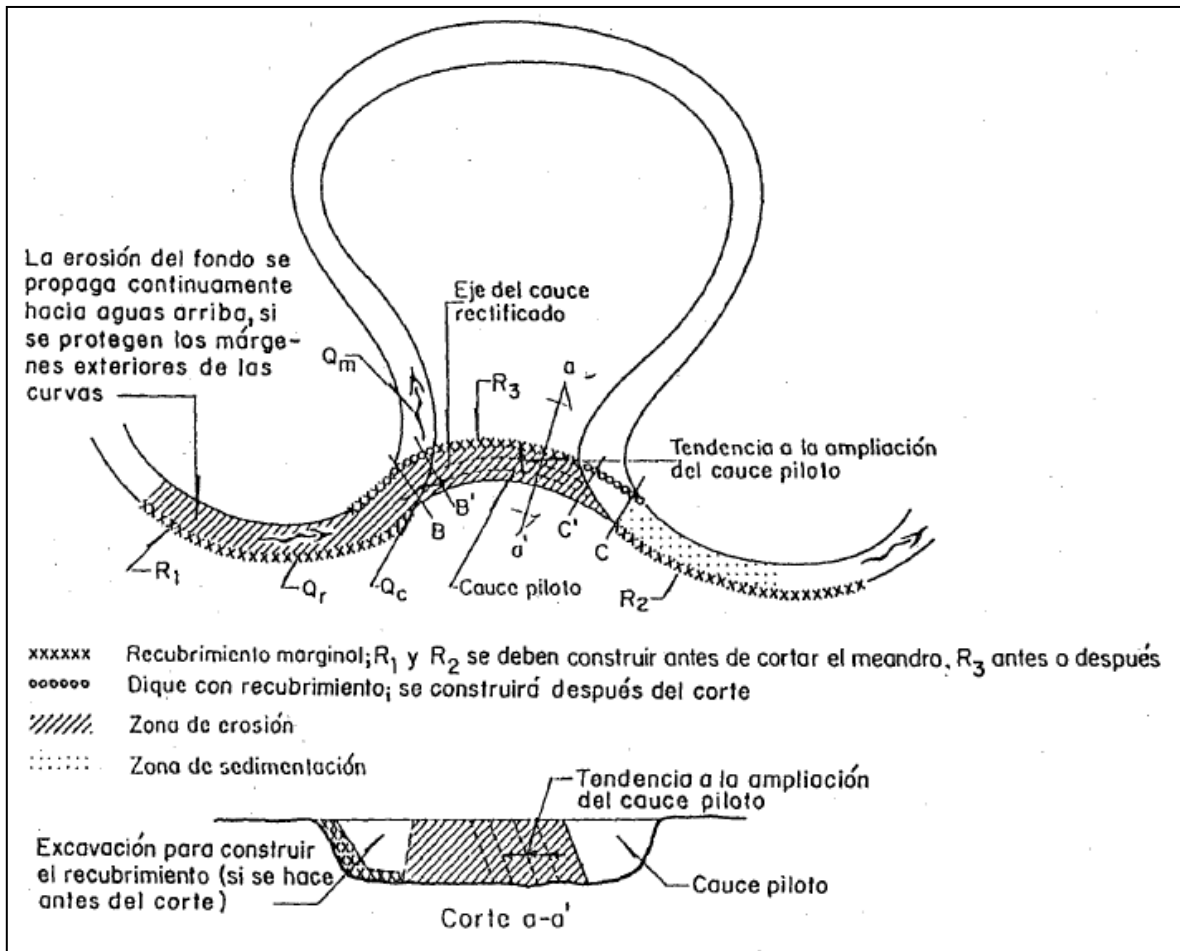


Figura 7.28. Corte de un meandro. (Maza, 1996)

El río transporta una cierta cantidad de sedimentos que es función, entre otros factores, de su pendiente. Como en el tramo rectificado o donde se cortó el meandro la pendiente es mayor, en él se transporta más material. Como de aguas arriba llega una cantidad menor, la diferencia la toma del fondo y éste es erosionado; dicha erosión hace descender el fondo y con ello aumenta el área hidráulica del cauce. (Maza, 1996)

El incremento del área hidráulica ocasiona que el río se desborde con gastos mayores, con lo que se incrementa el periodo de retorno de estos desbordamientos, es decir, se reduce su probabilidad de ocurrencia.

Si el material es más resistente por tener mayor tamaño, pero sobre todo por tener cohesión, en caso de ser arcilloso se debe excavar una sección con ancho mayor, de tal manera que con esos radios hidráulicos mayores el flujo alcance velocidades que tengan

el poder erosivo necesario, lo cual implica alcanzar la condición  $\tau_o \geq 3\tau_c$ , si esto no ocurre, la sección del cauce piloto se excavará casi con el mismo ancho que el río.

Es necesario tomar en cuenta que debido al depósito generado aguas abajo del tramo rectificado, es necesario realizar trabajos de dragado, a fin de evitar remansos que afecten el funcionamiento hidráulico de la obra. Sin embargo, se deberá tener en mente cuando se trate de corrientes con material muy fino, no será necesario dragar.

#### **7.1.2.6. Presas de almacenamiento.**

Las presas constan de un dique principal 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 en los puertos y ésta 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 se conduce el agua que se utiliza para generar energía eléctrica, para consumo humano o para usos agrícolas. (Maza, 1996). Ver Figura 7.29

El propósito principal de estas 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 objeto de controlar avenidas. Las presas aportan otros beneficios adicionales ya que sirven como zonas de esparcimiento, para practicar deportes acuáticos y para desarrollos piscícolas.

En la operación normal de una presa siempre se presenta un conflicto de intereses. Por un lado, quienes tienen a su cargo el manejo de los ríos y el control de las avenidas desean que los niveles del agua sean bajos, sobre todo al principio de la época de lluvias, con objeto de disponer de un volumen de regulación de avenidas suficientemente grande y evitar derrames por la obra de excedencias. Por el otro, quienes aprovechan el agua para riego y generación de energía eléctrica principalmente, quieren que los niveles del agua sean siempre los más altos posibles para disponer del recurso con seguridad. Esto obliga a análisis cuidadosos para maximizar los beneficios y minimizar los riesgos de inundación aguas abajo.



Figura 7.29. Presa hidroeléctrica.

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; sin embargo, el monto de este beneficio generalmente no es cuantificado en los estudios de factibilidad de presas y generación de energía eléctrica o riego. Esta función de control depende de la relación entre el volumen de la avenida, 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, o volumen de control.

Durante las etapas de planeación, factibilidad, anteproyecto y proyecto se deben realizar una serie de estudios que pueden ser necesarios en todas las etapas del trabajo variando en cada una de ellas la profundidad de los mismos, de acuerdo con los objetivos y la magnitud de la obra. A continuación se citan algunos de ellos: (Arreguín, 2000)

- *Estudios hidrológicos.* En el proyecto de una presa derivadora, se debe contar con datos tales como: capacidades (de azolves, muerta, útil, de control de avenidas,

de regulación), niveles (muerto, mínimos y máximos de operación) y gastos de diseño (de las obras de toma, desvío, control de avenidas y de excedencias). También se requieren estudios sobre el nivel freático en la boquilla y en el vaso, y de la calidad del agua.

- *Topografía.* Una vez hecho un reconocimiento, preferentemente aéreo complementado con apoyo terrestre, se fijarán los monumentos para apoyar los levantamientos topográficos, los controles horizontales y verticales establecidos por cualquier sistema de triangulación. La longitud de los lados así como las escalas de los planos deberán establecerse de acuerdo con el tipo de terreno y las dimensiones del mismo, también será importante construir un sistema de coordenadas de la región en estudio.
- *La forma de la boquilla.* influye en la selección del tipo de presa, una boquilla amplia con taludes muy tendidos será propicia para la construcción de una presa de tierra, gravedad, o contrafuertes, ver Figura 7.30, cosa que no sucede en una muy estrecha, ver Figura 7.31, ya que debido a la corta distancia de la presa construida sobre los taludes, estará influenciada por el comportamiento de los mismos, pudiendo provocar tensiones y como consecuencia fisuras en una presa de tierra. En general, deberá tomarse en cuenta el efecto de las condiciones de frontera, no se recomienda disponer estructuras cuyo trabajo sea totalmente bidimensional y que transmitan las cargas a la cimentación únicamente en planos verticales; es más correcto proponer estructuras que trabajen -y se calculen- tomando en cuenta las condiciones de apoyo en tres dimensiones (presas de gravedad con juntas inyectadas y presas en arco). La topografía influye también para determinar la capacidad del vaso, por medio de sus curvas de área y capacidades, ver Figura 7.32.

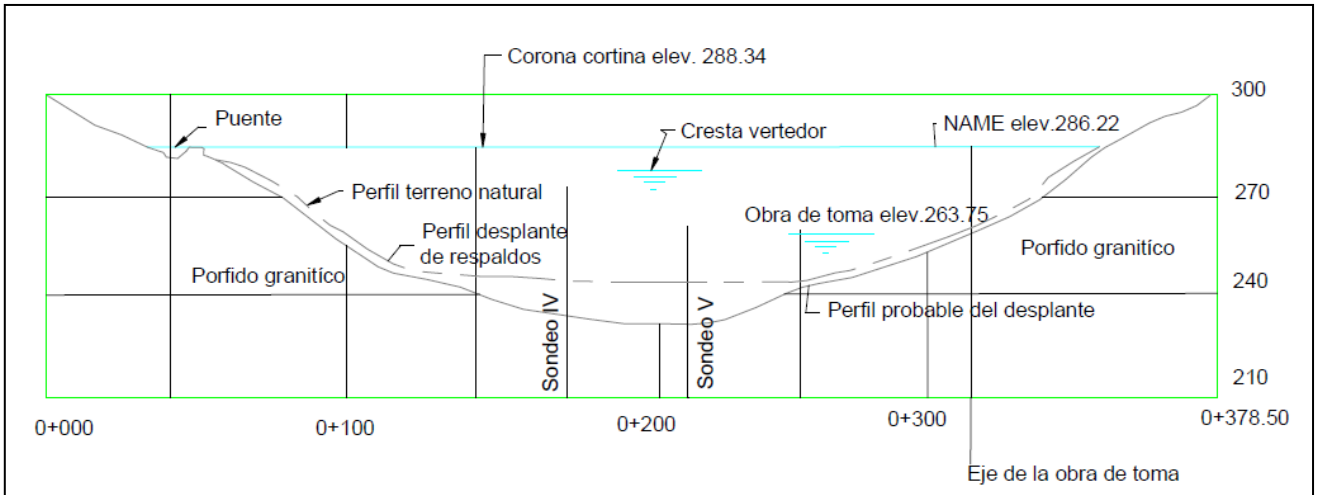


Figura 7.30. Boquilla de una presa de materiales graduados. (Arreguín, 2000)

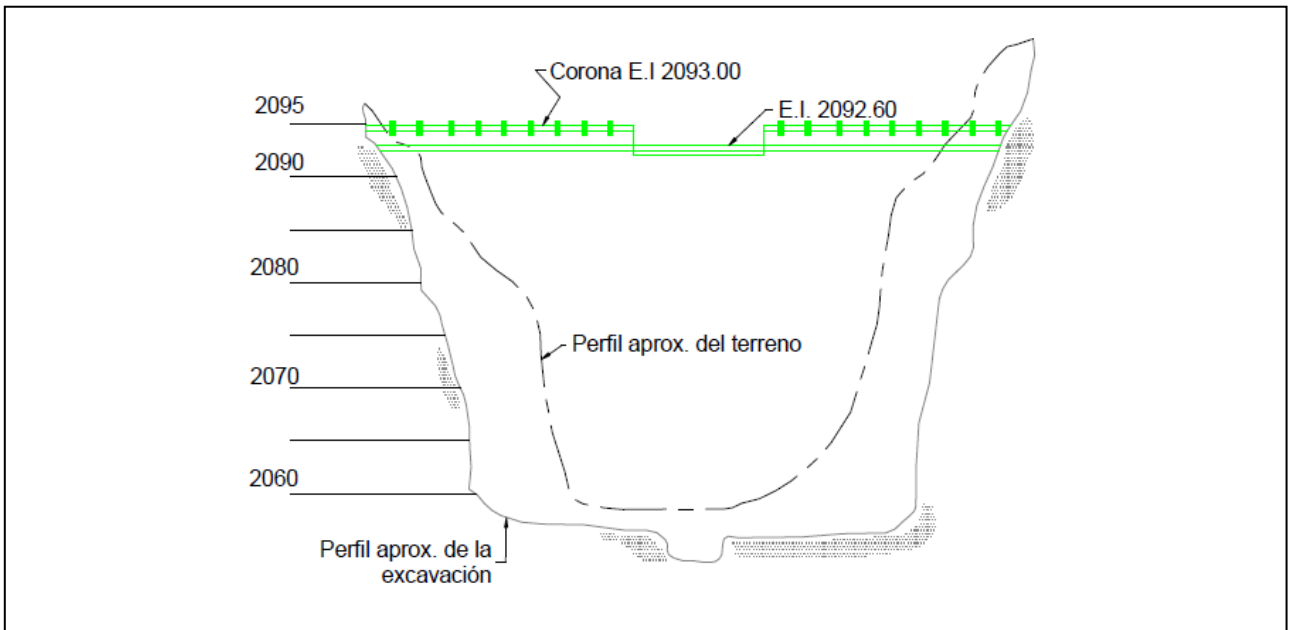


Figura 7.31. Boquilla de una presa de arco. (Arreguín, 2000)

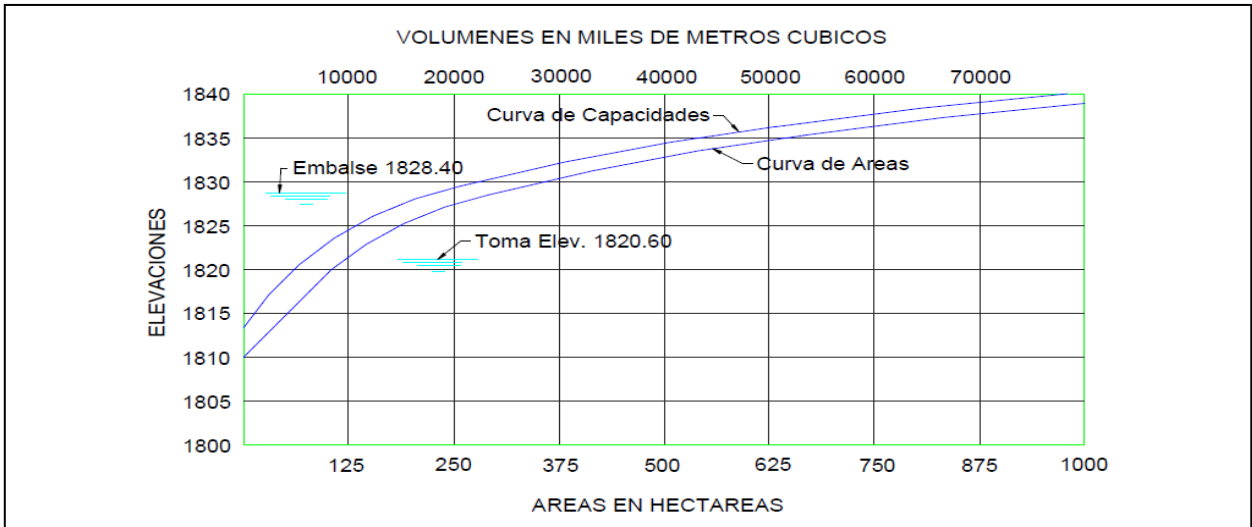


Figura 7.32. Curvas de áreas capacidades de una presa. (Arreguín, 2000)

- *Geología.* Simultáneamente a los estudios topográficos es conveniente iniciar los geológicos, algunos de ellos son los siguientes:
  - Obtención de la sección transversal geológicas en el sitio. Ver Figura 7.33

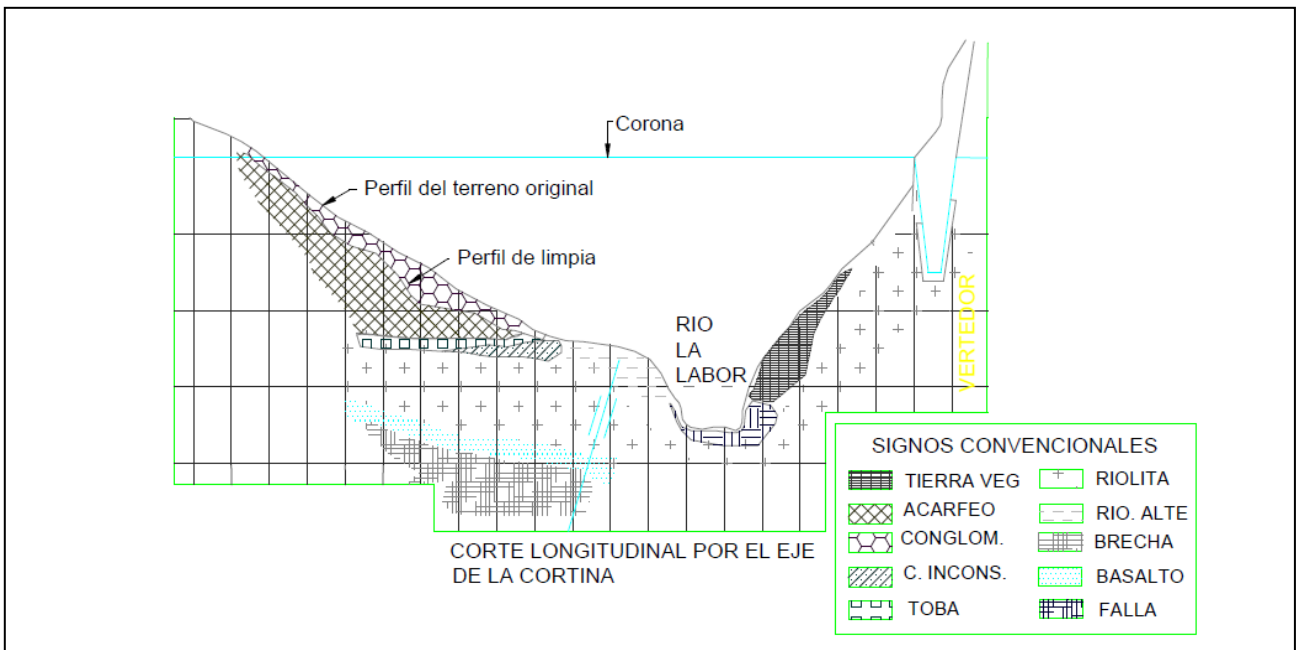


Figura 7.33. Corte geológico de la boquilla de una presa. (Arreguín, 2000)

- Análisis de las formaciones geológicas, poniendo especial atención en zonas de calizas cavernosas, gravas, depósitos glaciares permeables, depósitos de sal o cualquier otra que pueda afectar la viabilidad de la presa.
- Determinación del nivel freático en el embalse y la boquilla.
- Ubicación de manantiales en la zona de estudio.
- Localización de afloramientos de roca.
- Resultados de sondeos con posteadora o pozos de prueba, o perforaciones con broca de diamante y recuperación de corazones, en la zona de cimentación. Ver Figura 7.34.
- Muestras de suelo y subsuelo en el vaso.
- Fallas, fracturas, echado de las rocas.
- Localización de los materiales con que se va a construir la cortina.

Son problemas muy importantes el flujo del agua y las fallas por efectos dinámicos en la cimentación, pues la transmisión de esfuerzos a la misma así como su capacidad influyen directamente en la selección del tipo de presa. En general, se puede decir que una presa de arco requerirá una mejor calidad de terreno que una de contrafuertes, y ésta que una de gravedad y finalmente, la de gravedad necesita mejores condiciones que una de tierra, debido en parte a que la primera tiene una mejor área de apoyo. La dirección de los echados (sentido de las capas de roca) también es determinante para efectos de selección. Además se debe considerar aspectos geológicos que puedan afectar o influir en la ubicación del sitio de posibles fugas o deslizamientos de taludes.

- *Tipo, cantidad y localización de materiales.* Dentro de los reconocimientos geológicos, deben localizarse y describirse con detalle los materiales que se propone usar. Una vez seleccionados los bancos, evaluando las características de los materiales, ver Figura 7.35, y otras posibles fuentes de materiales, debe realizarse un estudio económico comparativo, donde se consideren distancias de acarreo y costos de obtención (compra o extracción y proceso de materiales) y seleccionar la opción de costo mínimo. Otro aspecto importante a considerar, es la factibilidad de obtener mano de obra en la región de construcción.

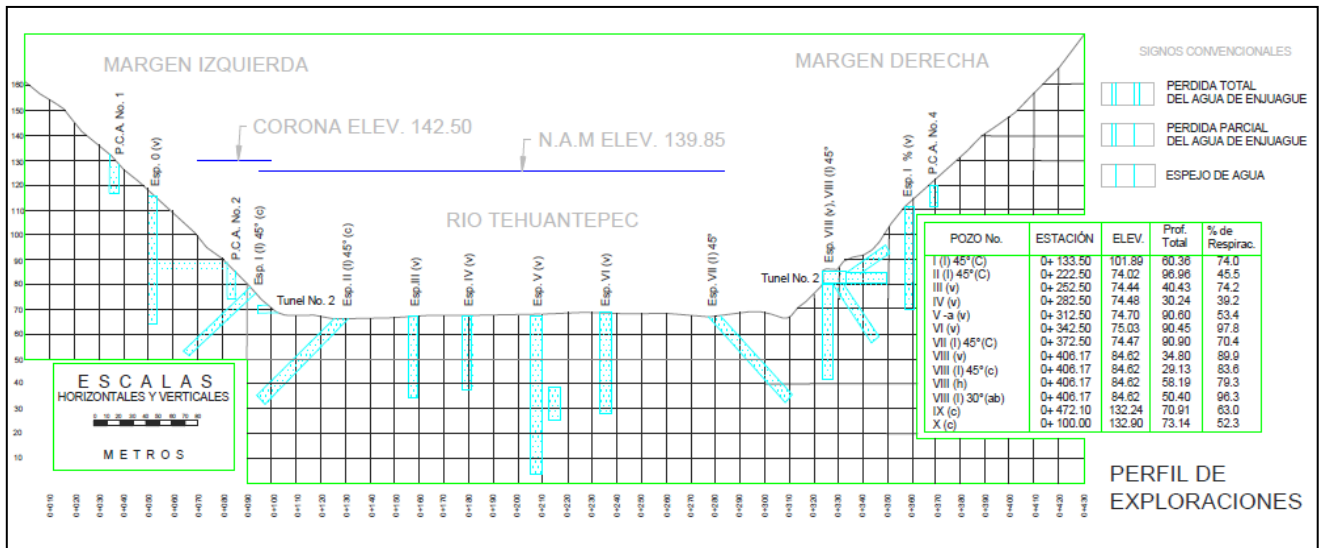


Figura 7.34 Perfil de exploraciones geológicas para una cortina. (Arreguín, 2000)

- Acceso a la obra.** Se deben localizar con todo cuidado los caminos de acceso a la obra, ver Figura 7.36, el campamento para trabajadores, la posibilidad de llevar hasta el lugar la energía requerida por la maquinaria y el campamento, determinar distancias a estaciones de ferrocarriles o a cualquier otro punto de interés para los fines constructivos.
- Características climatológicas.** Conocer las condiciones climatológicas es importante para el correcto diseño de la presa, así como para la programación de las etapas de construcción. La lluvia por ejemplo, puede afectar al diseño de las obras de desvío y a la construcción de presas de tierra o enrocamiento, ya que sería muy difícil el control del contenido del agua durante la compactación; además de que esto mismo originaría grandes aumentos de la presión de poro. En una presa de concreto, influiría sobre el revestimiento, y así se podrían citar muchos problemas más ocasionados por la lluvia. En algunas regiones donde el clima es extremo, las presas de concreto no diseñadas adecuadamente podrían sufrir desintegración por intemperismo.

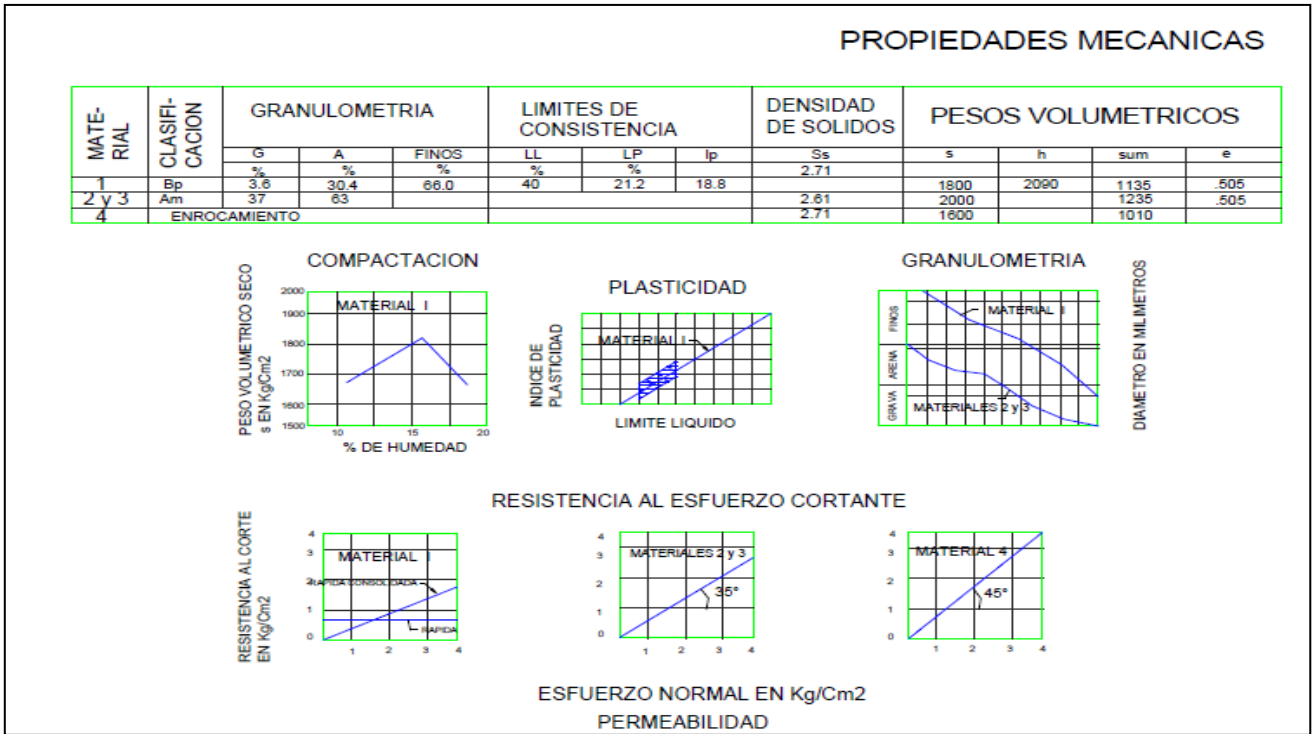


Figura 7.35. Propiedades mecánicas de los suelos. (Arreguín, 2000)

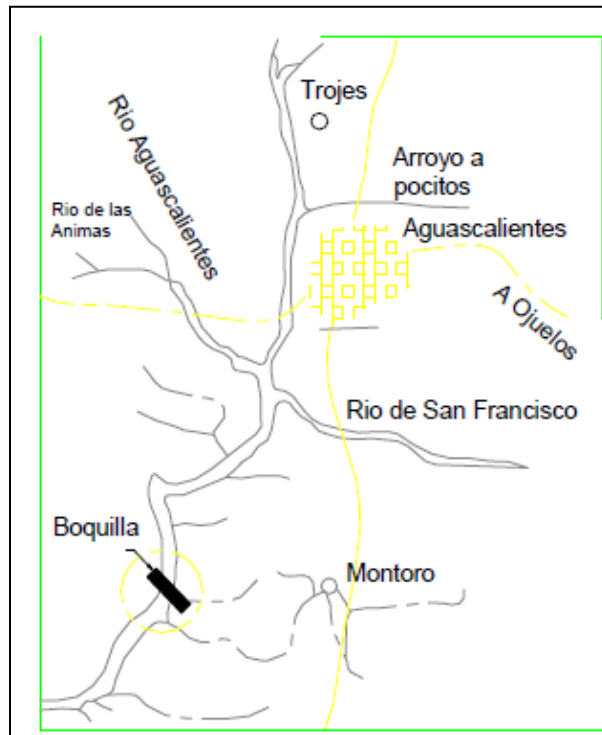


Figura 7.36. Localización de un sitio para la construcción de una presa. (Arreguín, 2000)

- *Análisis económico.* El costo de la obra es importante, en relación con los beneficios que de ella se esperan. Es conveniente realizar un estudio económico de las alternativas técnicamente factibles y escoger la que tenga un costo total mínimo esperado, si todas ellas pueden producir los mismos beneficios. Usualmente, la comparación se hace sobre la base de los presupuestos de construcción y equipo, adicionando de las indemnizaciones.

Existen varias clasificaciones de las cortinas: atendiendo a su altura, a sus funciones o a otras características, sin embargo la clasificación más común responde a sus materiales de construcción y a su concepción estructural. (Arreguín, 2000)

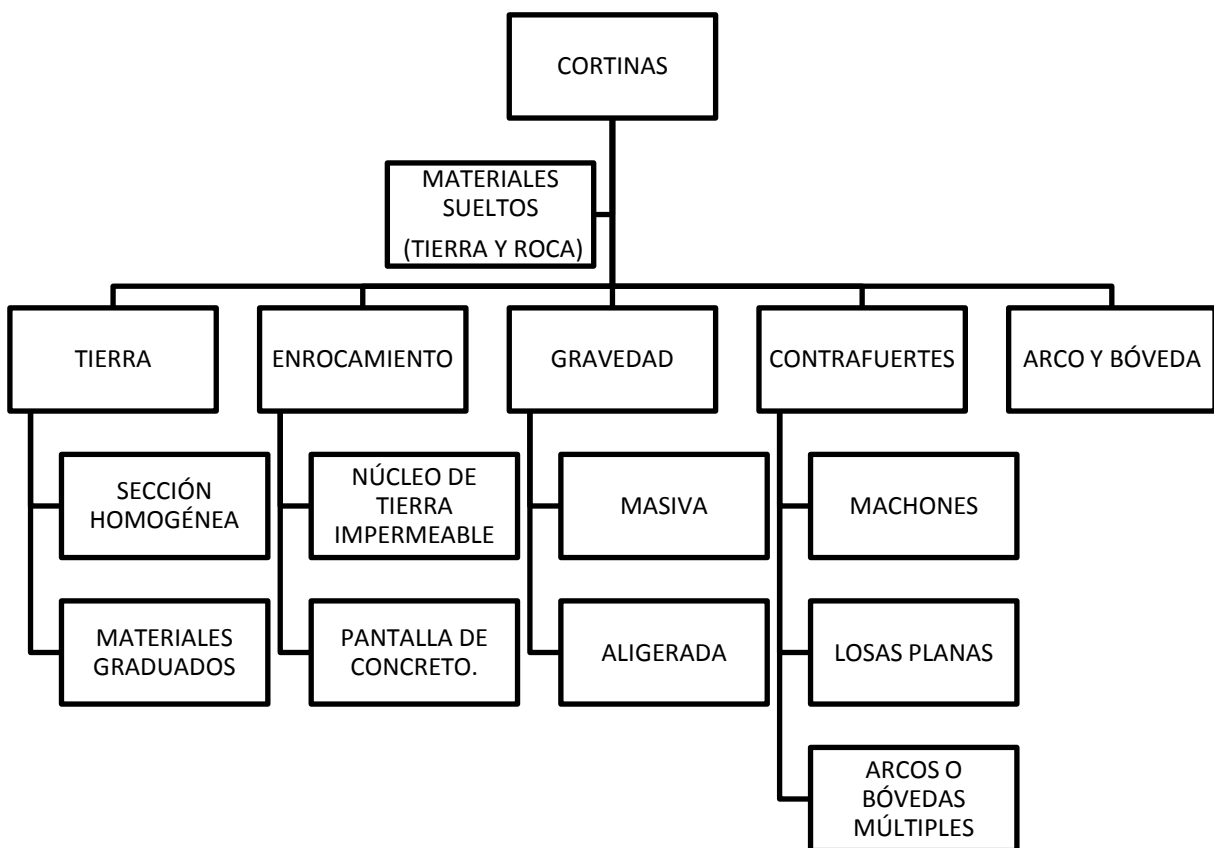


Figura 7.37. Clasificación de las cortinas. (Arreguín, 2000)

En las presas para generación de energía eléctrica, el NAMINO corresponde a la elevación mínima del embalse que permite la operación de las turbinas. En ellas la capacidad para retención de azolves puede ser menor o igual que la capacidad muerta. En las presas para usos agrícolas y de abastecimiento de agua potable, el NAMINO

coincide con el nivel inferior de la obra de toma, y en ellas, la capacidad muerta coincide con la necesaria para retener azolves.

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, resulta ser muy costosas.

#### **7.1.2.7. Presas rompe-picos.**

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 estructuras son poco eficientes como estructuras evacuadoras. (Maza, 1996)

El objetivo de este tipo de estructura es regular las avenidas que se generan a lo largo del cauce sobre el que están construidas. Normalmente, se emplean en corrientes pequeñas y su principal característica es la poca altura de su cortina y, consecuentemente, su reducida capacidad de almacenamiento. (Salas, 1999)

La cortina generalmente es de concreto o de mampostería y de preferencia debe estar cimentada en roca. Cuando lo anterior se cumple, la parte superior de la cortina se conforma como un vertedor de cresta libre; en otras palabras, la cortina es vertedora. La altura usual de las presas rompe-picos no sobrepasa de 20 metros, ya que no se pueden permitir velocidades erosivas que destruyan o alteren el concreto o acero en las estructuras de desagüe, o 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. Con ello, la presa funciona como rompe-picos y retenedora de azolves. (Maza, 1996).

El funcionamiento de la obras 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. Si se llega a presentar la avenida de diseño seleccionada para esta obra, por la obra de desagüe pasará 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 de tiempo en que el agua escurre por la obra de

desagüe como por el vertedor de excedencias, mientras que parte del volumen queda almacenado como ya se ha indicado. Cuando termina de pasar la avenida, el agua y los sedimentos siguen saliendo por el desagüe hasta que el vaso se vacía nuevamente.



Figura 7.38. Presa rompe-picos del río Santa Catarina, Monterrey

Las presas rompe-picos se utilizan normalmente en torrentes en donde las condiciones de cimentación son favorables y las avenidas son 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 las torrentes tienen generalmente fuerte pendiente y los embalses formados son 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. Ver Figura 7.39. El número de presas rompe-picos que se colocarán en cascada dependerá de las condiciones geológicas y topográficas del tramo, del volumen del embalse que cada una pueda formar y del volumen de la avenida de diseño.

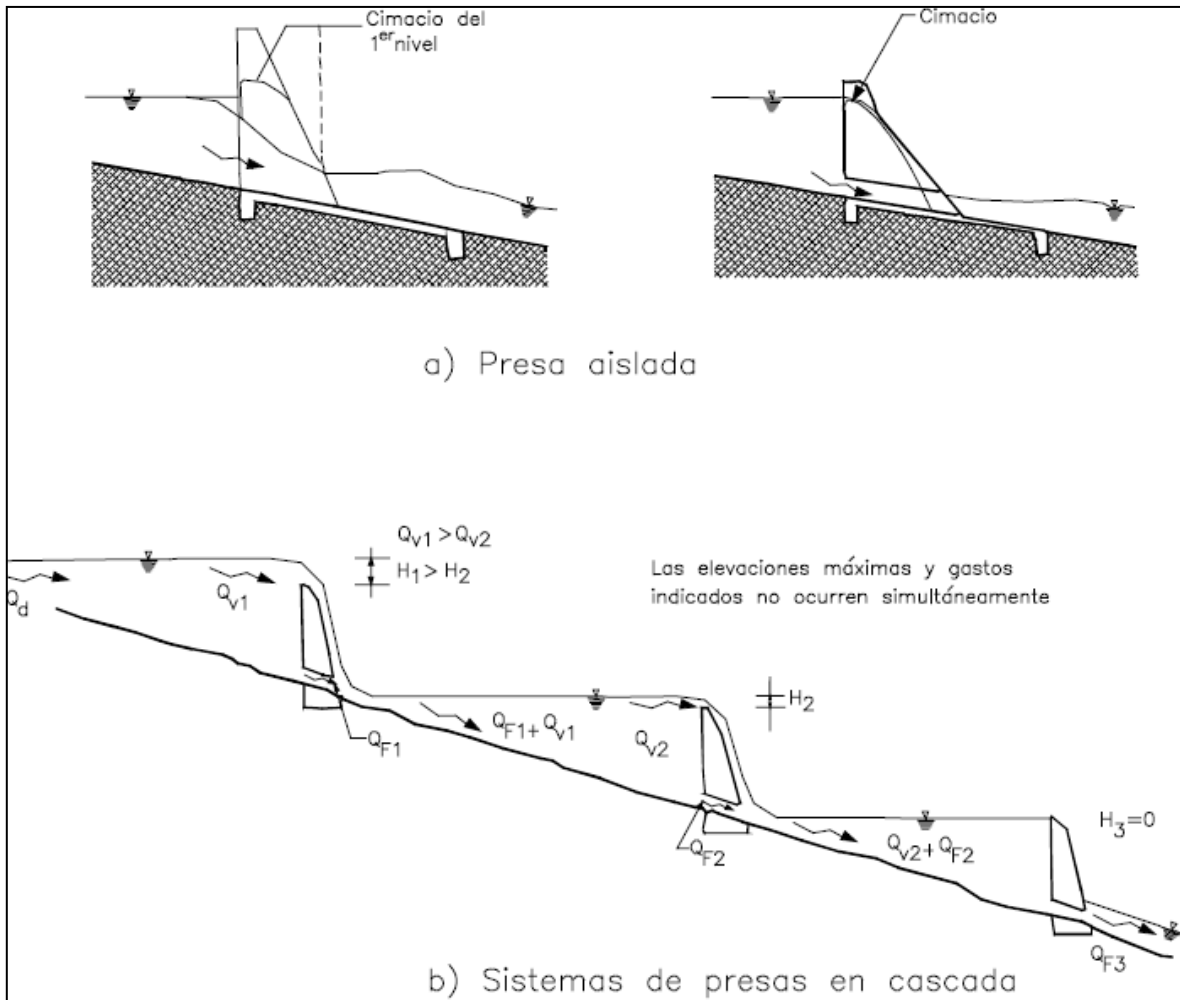


Figura 7.39. Alternativas de presas rompe-picos. (Maza, 1996)

Así, por ejemplo, suponiendo que se tiene tres presas rompe-picos escalonadas y son 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. Ver Figura 7.39. 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 está lleno hasta la elevación de la cresta del vertedor 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 evidente éste último mayor en la primera presa de aguas arriba.

Cuando no se tiene roca masiva en el fondo del cauce, o existe un material granular aguas debajo de la descarga de la obra de desagüe, se debe colocar una losa de

concreto, cuya longitud deberá permitir que sobre ella se produzca el salto hidráulico y el régimen del escurrimiento sea nuevamente subcrítico. Dicha losa debe rematarse con un dentellón y aguas abajo del mismo colocar un tapete de roca que no sea arrastrado por la corriente y que proteja la losa de concreto al evitar la erosión del fondo del río

#### **7.1.2.8. Presas para retener azolves.**

Son pequeños diques interpuestos a la circulación que se coloca en torrentes y arroyos. Generalmente tienen una altura entre 2 y 10 metros, aunque también se han construido hasta de unos 35 metros.

Consiste 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. Ver Figura 7.40. Usualmente no tienen obra de toma y toda el agua pasa sobre el vertedor. Cuando el dique es de mayor altura y se alcanza a formar un embalse, que funciona como tanque de sedimentación, se construyen en el cuerpo de la cortina uno o varios orificios para desaguar lentamente el agua acumulada. A diferencia de las presas rompe-picos, estas descargas no se localizan al pie de la cortina 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. (Maza, 1996)

Debe tenerse en mente que el propósito de estas presas es no alterar 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 esos materiales. Todo ello favorece que al descargar esos arroyos o torrentes en otros más grandes e importantes, lo hagan con menos volúmenes de sedimentos, y por tanto no se azolven estos últimos. La pendiente de los arroyos usualmente es mayor que la de la corriente principal en la cual descargan, y esta última puede no tener la misma capacidad de transporte de sedimentos que los primeros. De no evitarse la sedimentación de los cauces de aguas abajo, éstos perderán área hidráulica al subir de nivel el fondo y, en consecuencia, se desbordaran con gastos menores y producirán inundaciones. Ésta sedimentación es la que se pretende evitar con la construcción de presas para retener azolves en los afluentes y arroyos. (Maza, 1996)

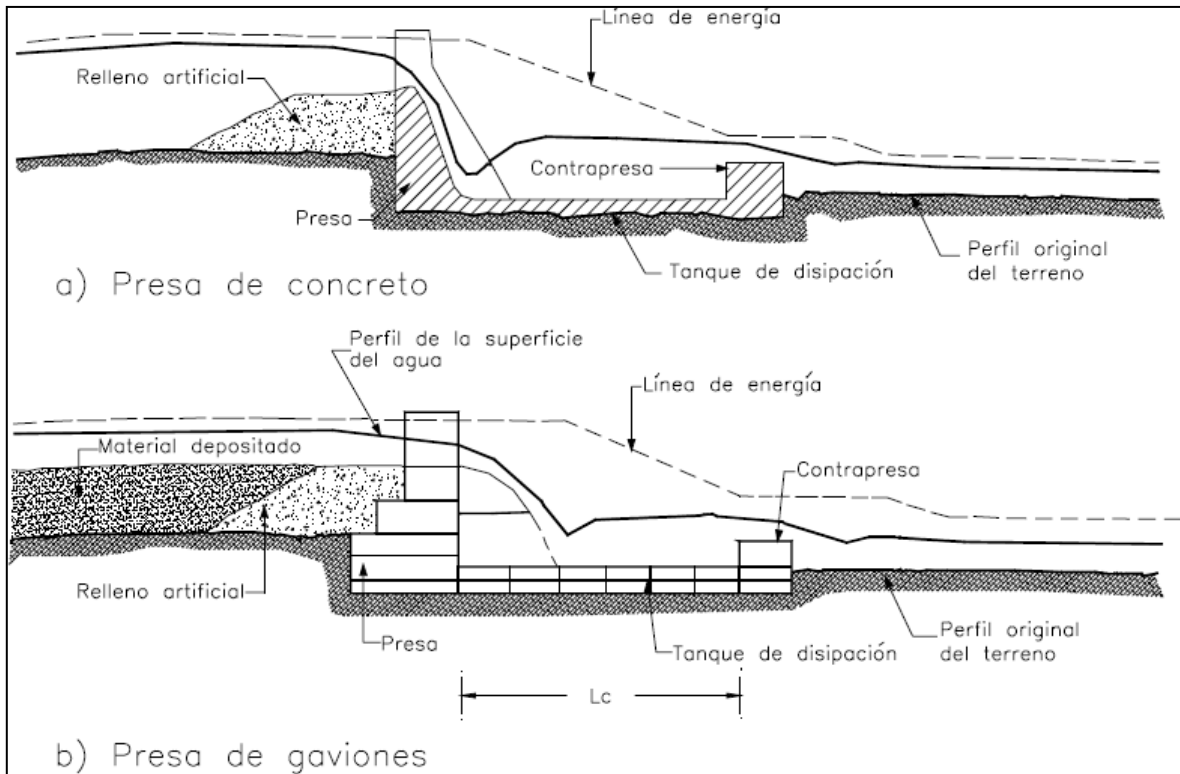


Figura 7.40. Esquema de una presa retenedora de azolves. (Maza, 1996)

La acción benéfica de estas obras se logra completar cuando se reforestan las pequeñas cuencas de los arroyos donde son construidas.

#### 7.1.2.9. Canalización o entubamiento de un cauce.

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 pasen 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. Con ello, se logran reducir las inundaciones y aprovechar los terrenos aledaños a las obras de conducción. (Maza, 1996)

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 o 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 las orillas del nuevo cauce y se reconstruyen sus puentes y alcantarillas. (Ver Figuras 7.41y 7.42. Maza, 1996)

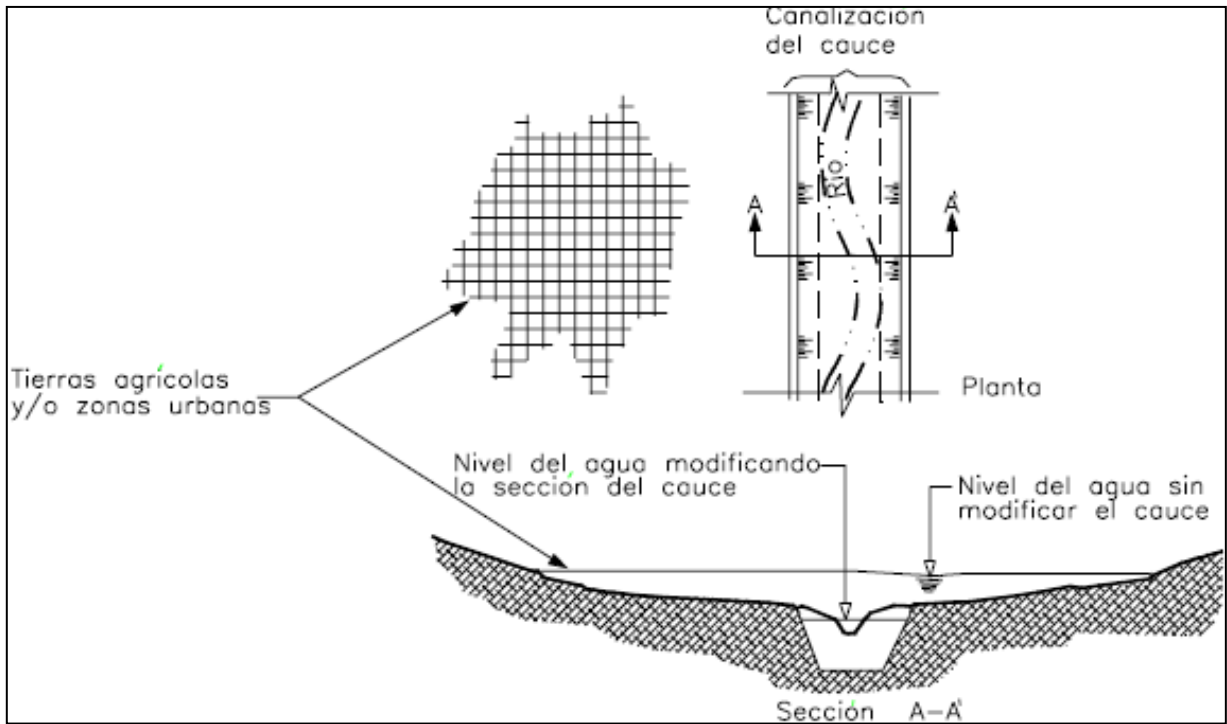


Figura 7.41. Canalización de un cauce. (Maza, 1996)

En la Figura 7.42 se muestra el efecto del entubamiento de un cauce. Cuando los tubos quedan enterrados, bajo el nivel del terreno natural. Ésta solución ofrece la ventaja de que el terreno que queda por arriba del entubamiento se puede destinar a otros usos. Ésta 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 aprovecha las áreas aledañas que antes se inundaba y que ahora quedan libre de ese efecto. (Maza, 1996)

En ocasiones, cualquiera de estas dos medidas sirve también para controlar la erosión en tramos relativamente pequeños de cauces que tengan fuerte pendiente y poblaciones a sus lados. Ésa erosión puede poner en peligro a estructuras y casas o bien provocar problemas de sedimentación aguas abajo. (Maza, 1996)

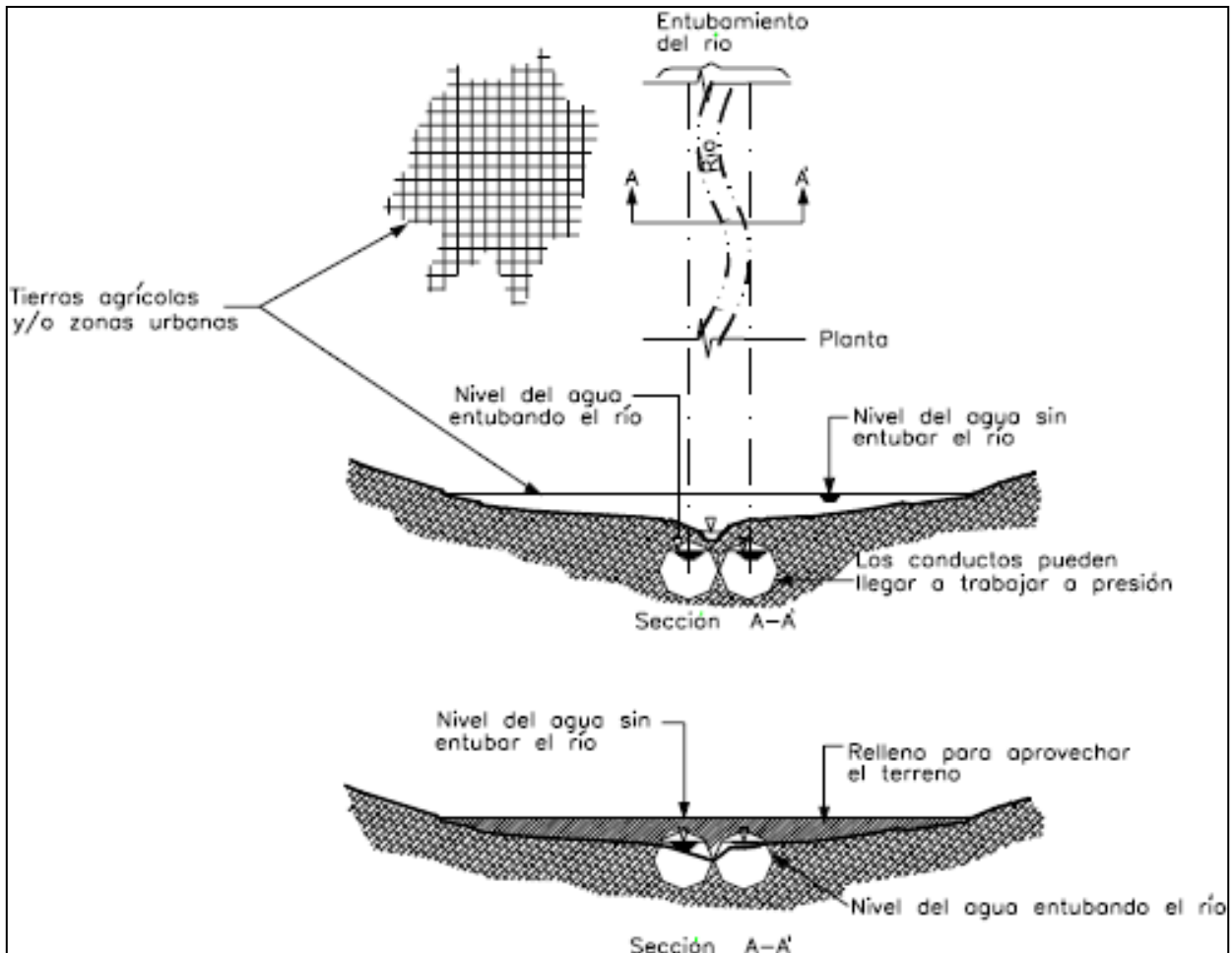


Figura 7.42. Entubamiento de un cauce. (Maza, 1996)

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 de estas soluciones requiere que el área de la sección transversal sea menor que la existente en condiciones naturales, ya que la modificación de un cauce aumenta la velocidad del agua. Por ello, debe protegerse el fondo y las márgenes con concreto, mampostería o tablaestacados metálicos o de concreto. (Maza, 1996)

Al diseñar éstas obras deben considerarse las transiciones entre el cauce natural y la entrada y salida de ellas. En la entrada se debe diseñar una contracción y en la salida una expansión; principalmente en ésta última, la transición debe tener enrocamiento al final de ellas para evitar erosiones locales. (Maza, 1996)

En los tramos donde los ríos atraviesan poblaciones y haya una gran variación entre los gastos de estiaje y de la época de lluvias y si el entubamiento resulta muy costoso, se

debe recurrir a la canalización del cauce, con una sección compuesta que forme tanto el cauce principal como el de avenidas. Las orillas de ambos cauces deberán estar protegidas con roca, concreto o gaviones. Estas canalizaciones se diseñan para avenidas con periodos de retorno iguales o mayores que 100 años como ya se había comentado.

Los terrenos del cauce de avenidas a ambos lados del cauce principal se pueden destinar a áreas de recreación como jardines y campos deportivos, pero sin construir nada que entorpezcan el libre paso del agua durante las avenidas. Maza, 1996)

Desde el punto de vista económico, para amortizar el costo de las obras, se puede considerar que la canalización o el entubamiento de alguna corriente, dentro de una zona habitada, incrementa el valor comercial de los terrenos aledaños debido a que con la venta de esos terrenos es posible absorber parte del costo de las obras mencionadas.

#### **7.1.2.10. Sistemas de bombeo y desencharcamiento en puntos permanentes.**

El manejo del agua residual en una población se lleva a cabo por medio de sistemas de recolección, así como de tratamiento, reuso y disposición. En cada uno de ellos, es necesario contar con una serie de muy diversas estructuras. Entre éstas se encuentra los sistemas de bombeo, cuya función es elevar el agua de una cota inferior a otra superior, con el propósito de hacer que el agua posteriormente llegue a su destino por gravedad. Así mismo, los cárcamos son piezas fundamentales para mitigar las inundaciones en relación con el drenaje sanitario y pluvial.

Los sistemas de bombeo se utilizan cuando el nivel de la superficie del agua en el dren está 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. Los sistemas 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 estaciones de bombeo intermedias pueden conducir el agua a cauces naturales o comunicar a un dren con otro que tenga su plantilla a una elevación mayor. En las que extraen el agua, del área por drenar hacia ríos o lagunas, el agua bombeada es conducida a ellos por medio de tuberías o canales de descarga.

Puesto que el objetivo básico de los sistemas de bombeo es elevar el agua, éstos se componen por cámaras, bombas y equipos auxiliares.

Los sistemas de bombeo, consisten básicamente de dos componentes, la estructura para interceptar y contener el agua donde se homogeniza la carga de bombeo y se encuentran el equipo complementario, y otra que sirve para proporcionar la energía necesaria para elevar el agua acumulada y que constituye el quipo de bombeo. El diseño de los primeros y la selección de los segundos son básicos para el correcto funcionamiento de los sistemas de bombeo.

Cabe señalar que, en principio, los sistemas de bombeo deben ser concebidos como una excepción y no como una regla en los sistemas de alcantarillado, dado que dificultan la operación y la torna más costosa en comparación con los sistemas que operan por gravedad. Sin embargo, se debe reconocer como indispensable para vencer los tramos contra pendiente o mover caudales en terrenos planos. En consecuencia, los sistemas de bombeo, al igual que su tamaño y ubicación, deben atender a criterios tanto técnicos como económicos. Adicionalmente se debe recordar que en todo momento se bombea agua residual y/o pluvial al cual con frecuencia contiene sólidos y diversos contaminantes que ocasionan problemas adicionales de operación.

Los sistemas de bombeo se usan para impulsar todo tipo de agua (Residual, pluvial, industrial, etc) cuando:

- La cota del área de donde se capta el agua es muy baja como para drenar por gravedad a colectores existentes o en proyecto.
- Se requiere drenar a zonas situadas fuera de la cuenca vertiente.
- El bombeo disminuya los costos para instalar el sistema de drenaje posterior para dar servicio a una zona determinada.

Los sistemas de bombeo se pueden clasificar de diversas formas, y pueden ser de acuerdo con:

- Su capacidad.
- El método de construcción empleado (en el sitio, prefabricados, etc)
- La ubicación de las bombas.
- La fuente de energía(eléctrica, motores diesel, etc)

El volumen mínimo necesario del sistema de bombeo depende del tipo y funcionamiento de las bombas. Si éstas son de velocidad variable, de forma que se varía el caudal de bombeo de acuerdo con el agua residual que llega, el volumen requerido es pequeño, siendo suficiente aquel que permita el cambio de la capacidad de bombeo cuando se arranca o para una bomba antes de alcanzar el nivel definido para éste.

Debe recordarse que las bombas que se usan, serán las disponibles a nivel comercial, y en ese sentido se seleccionan aquellas que mejor se acomode a las circunstancias particulares de la obra.

La elección y justificación del tipo de bomba se hace escogiendo, en las condiciones normales de marcha y el mejor rendimiento posible, que proporcionen el caudal y la altura manométrica deseada.

Para seleccionar los equipos de un sistema de bombeo los factores a tener en cuenta incluyen:

- Caudal de proyecto e intervalo de los mismos.
- Ubicación de cárcamo de bombeo.
- Diseño de la tubería de impulsión
- Características de las curvas de caudal-altura de las bombas.

Una vez evaluado estos factores, puede procederse a la selección del número y capacidad de las bombas, el tipo de accionamiento y el tamaño óptimo de la tubería de impulsión.

Normalmente, el primer paso consiste en definir las características del sistema, encontrar una bomba o conjunto de ellas que manejen el flujo. Esto se hace al graficar la curva del sistema en una hoja con las curvas características de bombeo. El punto de operación es aquel donde se interceptan la curva del sistema y la curva de la capacidad de bombeo. Se obtiene así la presión y el flujo al cual se opera el sistema de bombeo. La bomba debe seleccionarse de tal forma que el punto de operación sea tan cercano como sea posible a su máxima eficiencia. Ver Figura 7.43.

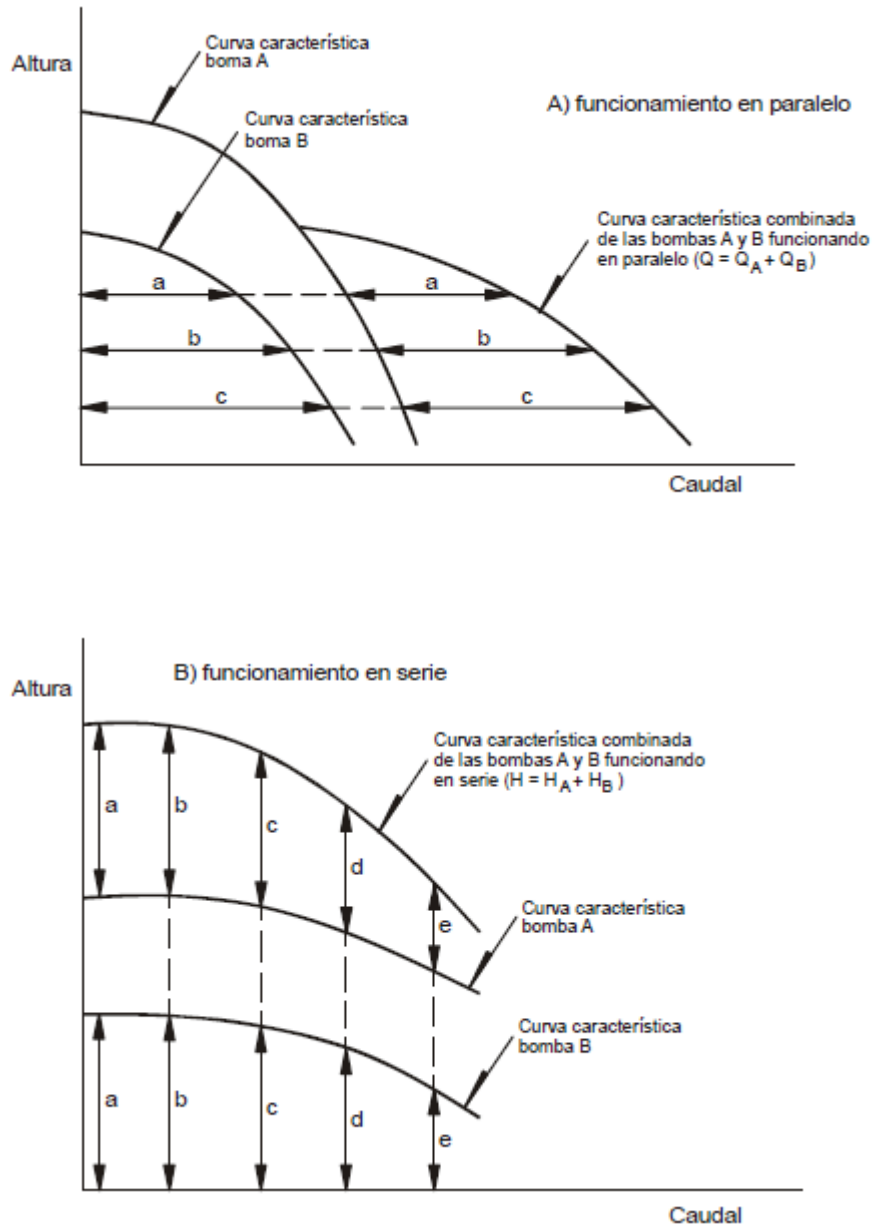


Figura 7.43. Representación esquemática del funcionamiento de varias bombas.

Las bombas pueden conectarse en serie o paralelo. Para series de operación a una capacidad dada, la presión total es igual a la suma de las presiones adicionadas por cada bomba. Para la operación en paralelo, la descarga total se multiplica por el número de bombas para una presión dada. Es de notar, sin embargo, que cuando se usan dos bombas en serie o en paralelo, ni la presión ni la capacidad para una curva presión de sistema se dobla.

#### **7.1.2.11. Reforestación, control y restauración de suelos.**

La vegetación de una cuenca, cuando es abundante, tiene influencia sobre la acción de la lluvia y la magnitud de los futuros escurrimientos superficiales, sus principales efectos son: (Maza, 1996)

- Reduce o evita el impacto de las gotas contra el suelo. Acción tanto más importante cuando más suelto esté el suelo o menos densa sea la cobertura vegetal.
- Retiene parte del agua, tanto al mojar la vegetación propiamente dicha como la hojarasca.
- Disminuye las velocidades de desplazamiento de las láminas de agua superficial y retarda su concentración.
- Facilita e incrementa la infiltración con la consecuente recarga de acuíferos y disminución de los volúmenes escurridos superficialmente.
- Evita o reduce la erosión del suelo, por la acción combinada de lo señalado en los puntos anteriores.

La pérdida o destrucción de la vegetación y cobertura vegetal de una cuenca ocasiona entre otros efectos los que a continuación se señalan, y que repercuten en los escurrimientos de los arroyos y ríos: (Maza, 1996)

- 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.
- Disminuyen la infiltración, sobre todo si las pendientes del terreno son altas. Ello puede incrementar, en forma notable, el volumen de la avenida.
- Incrementa considerablemente los volúmenes de sedimentos que llegan a los arroyos y ríos. Si ellos no tienen capacidad para transportarlos se produce un azolvamiento de los cauces y su capacidad hidráulica. Así mismo, favorecen el azolvamiento y la obstrucción de puentes y alcantarillas, y reducen la vida útil de las presas.

De los efectos indicados, el último es el más importante en cuanto a inundaciones se refiere, ya que al llegar más sedimentos a los ríos cambian sus condiciones de estabilidad. Lo primero que ocurre es el llenado parcial de los cauces con esos

sedimentos, después la formación de cauces tranzados 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 proceder a su reforestación. Cuando los terrenos de la cuenca se aprovechan para la agricultura, se deberán utilizar técnicas adecuadas para eliminar la pérdida de suelo.

La reforestación es una práctica vegetativa importante para la protección, conservación y restauración de suelos, pero debe ser acompañada de diferentes prácticas mecánicas que aumenten la supervivencia, mejoren su desarrollo y con ello contribuyan a disminuir la degradación del suelo. Las consecuencias de la deforestación y de la degradación del suelo forestal son: la erosión, sedimentación en lagos, ríos y lagunas; disminución en la captación de agua y recarga de mantos acuíferos en varias regiones del país, inundaciones, reducción del potencial productivo por la pérdida paulatina de fertilidad de suelos e impactos negativos en la biodiversidad: los efectos resultantes son pobreza y migración de la población rural. El proceso de deforestación y degradación del suelo se inicia al fragmentar la vegetación.

La reforestación es un conjunto de actividades que comprende la planeación, la operación, el control y la supervisión de todos los procesos involucrados en la plantación de árboles. (CONAFOR, 2010)

Para que la reforestación se logre se deben realizar los estudios de campo necesarios, que permitan conocer las condiciones del sitio a reforestar y definir las especies a establecer, el vivero de procedencia, el medio de transporte, las herramientas a utilizar, la preparación del suelo, el diseño, los métodos, los puntos críticos de supervisión durante las actividades de campo, la protección, el mantenimiento y los parámetros con los cuales se evalúa el éxito de la plantación. Ver Figura 7.44 (CONAFOR, 2010)

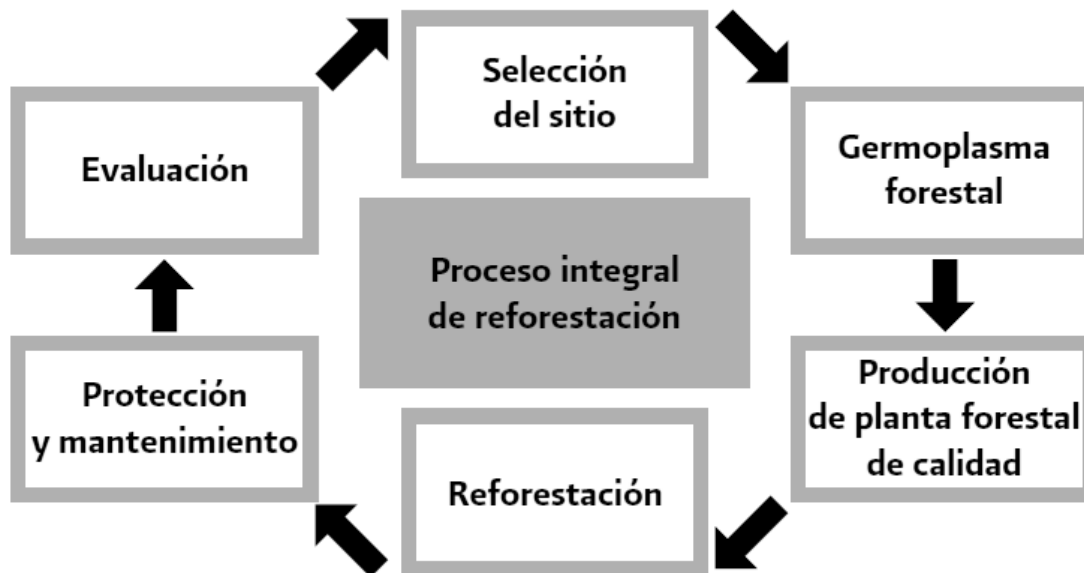


Figura 7.44. Componentes del proceso integral de reforestación. (CONAFOR, 2010)

El suelo es un recurso natural considerado como no renovable por lo difícil y costoso que resulta recuperarlo o mejorar sus propiedades después de haber sido erosionado o deteriorado física o químicamente.

Estudios recientes muestran que 64% de los suelos de México presentan problemas de degradación en diferentes niveles, de la superficie degradada, el tipo de erosión más importante es la hídrica, que afecta el 37 % ( 73,000,000 hectáreas). Su efecto más evidente es la formación de cárcavas, cuya superficie afectada comprende una extensión de 12 % (24,000,00 hectáreas). También se ha identificado que la causa principal de la degradación del suelo se debe a la deforestación asociada a los cambios del uso de suelo y actividades agrícolas. (CONAFOR, 2010)

Por ello, es importante considerar acciones de protección, conservación y restauración de suelos forestales integradas al manejo de inundaciones. Algunas de las obras para el control y mejoramiento del uso del suelo son los siguientes:

**Presas de malla de alambre electro-soldada o ciclónica.**

Las presas de malla electro-soldada o ciclónica son estructuras para controlar la erosión en cárcavas. Son similares a las presas de gaviones, sólo que éstas no son prefabricadas, sino que se arman en el lugar de acuerdo con las características de las cárcavas. Ver Figura 7.45 (CONAFOR, 2004)



Figura 7.45. Presas de malla electro-soldada o ciclónica. (CONAFOR, 2004)

Sus objetivos son el controlar la erosión, reducen la velocidad del escurrimiento, además de impedir el crecimiento de las cárcavas.

Éste tipo de estructura es una alternativa intermedia en cuanto a su uso y costo, y antes de la construcción se deben considerara los siguientes aspectos: (CONAFOR, 2004)

- Altura.
- Espaciamiento.
- Empotramiento.
- Corona de la presa.
- Vertedor.
- Delantal.
- Procedimiento de construcción.

#### **Presas de morillos.**

Son estructuras conformadas con troncos de diámetros mayores a 10 centímetros las cuales se usan temporalmente y se construyen en sentido transversal a la dirección del

flujo de corrientes superficiales en cárcavas pequeñas y angostas para el control de azolves. Ver Figura 7.46. (CONAFOR, 2004)



Figura 7.46 Presa de morillo. (CONAFOR, 2004)

Como objetivos se tiene que se intenta reducir las velocidad de escurrimiento, retener azolves, propiciar condiciones favorables para el establecimiento de cobertura vegetal que estabilice el lecho de la cárcava, proteger obras de infraestructura, tales como presas hidráulicas, caminos y puentes, así como la retención de humedad.

#### **Presas de ramas.**

Son pequeñas estructuras construidas con ramas entrelazadas en forma de barreras que se colocan en sentido transversal a la pendiente para controlar la erosión en cárcavas.

Como objetivo intentan controlar la erosión, reducir la velocidad de escurrimiento, retener azolves y proteger obras de infraestructura.

Este tipo de presas se pueden utilizar para protección de erosión, en zonas o lugares donde se disponga de material vegetal muerto, como son ramas, troncos, producto de podas, etc. Ver Figura 7.47 (CONAFOR, 2004)



Figura 7.47. Presas de ramas. (CONAFOR, 2004)

#### **Presas de piedra acomodada.**

Son estructuras construidas con piedras acomodadas, las cuales se colocan transversalmente a la dirección del flujo de la corriente y se utilizan para el control de la erosión en cárcavas. Como beneficio presentan el retener suelo, estabilización de lechos y permite el flujo normal de escurrimiento superficial.

La construcción de presas de piedra acomodada ha sido una de las prácticas de conservación de suelos más utilizada para el control de azolves en cárcavas en las diferentes regiones del país, debido a la facilidad de su construcción y a la disponibilidad del material que se requiere. Ver figura 7.48. (CONAFOR, 2004)



Figura 7.48. Presas de piedra acomodada. (CONAFOR, 2004)

En la parte de planeación de su construcción es importante considerar las partes de la presa. Las cuales se esquematizan en la Figura 7.49. (CONAFOR, 2004)

Para construir presas de piedra acomodada se deben identificar previamente los sitios donde se ubicarán, así como considerar la disponibilidad de piedra en dicha zona.

Las dimensiones de una presa de piedra acomodada depende de la pendiente o grado de inclinación que presente la cárcava, así como de la profundidad y cantidad de escurrimientos superficiales.

Es conveniente asegurar que la estructura sea lo más resistente a volcaduras provocadas por las corrientes de agua que impactan las paredes, por lo que se recomienda fijar adecuadamente.

Además es conveniente iniciar el control de cárcavas en la parte alta de las cuencas, donde se origina el problema de erosión.

Por último las presas de piedra acomodada se recomiendan en cárcavas con pendientes máximas de 35 % y su altura total de la estructura no debe exceder 1.5 metros. Además es conveniente plantar especies forestales o pastos en los terraplenes que se van formando con la acumulación de sedimentos, una vez que se hayan estabilizado.

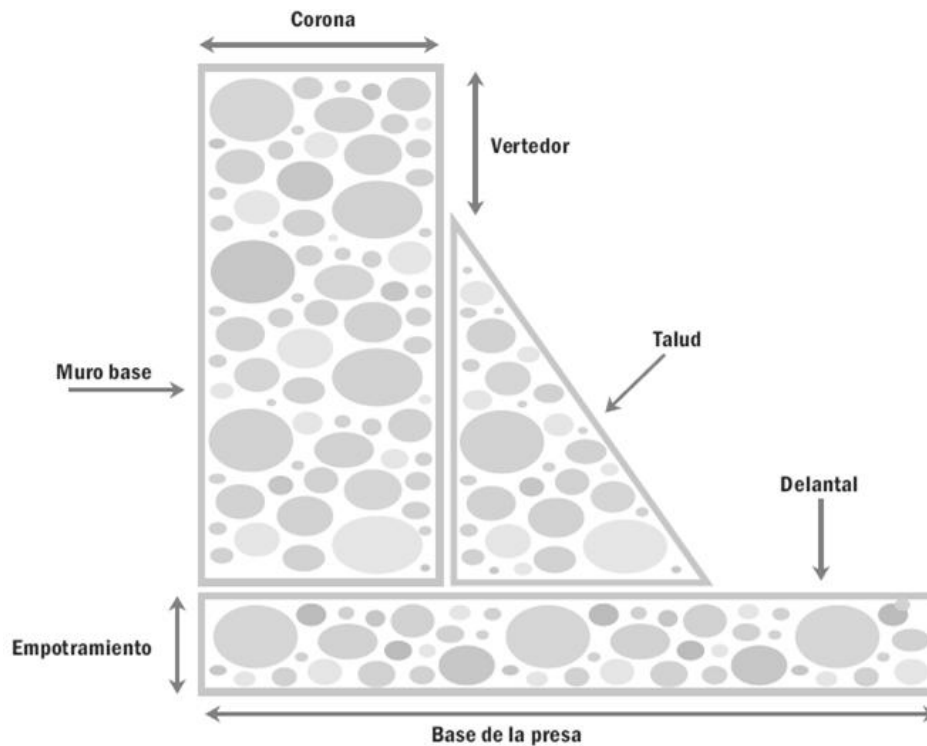


Figura 7.49. Partes que constituyen una presa de piedra acomodada. (CONAFOR, 2004)

### Presas de geocostales.

Es una estructura de geocostales (geotextiles rellenos de suelo) que se ordena en forma de barrera o trinchera y se coloca en contra de la pendiente, para el control de la erosión en cárcavas. Ver Figura 7.50 (CONAFOR, 2007)



Figura 7.50. Presas de geocostales. (CONAFOR, 2007)

### **Cabeceo de cárcavas.**

Es el proceso mediante el cual se realizan acciones en la parte inicial de una cárcava para evitar su crecimiento en longitud aguas arriba, es decir, para prevenir y detener la erosión. Dicha actividad consiste en el recubrimiento con material inerte como piedras, cemento o material vegetal muerto de estructuras que tienen la finalidad de amortiguar la energía de caída del escurrimiento. (CONAFOR, 2007)

Tiene como beneficio el evitar el crecimiento longitudinal de la cárcava y por lo tanto la erosión, estabilizar y cubrir los taludes en la parte inicial de la cárcava y disminuir la pendiente de los taludes para evitar deslizamientos. Ver Figura 7.51



Figura 7.51. Recubrimiento de una cárcava. (CONAFOR, 2007)

### **Estabilización de taludes.**

Se denomina estabilización de taludes al desplante o recubrimiento practicado en taludes laterales de cárcavas, cauces intermitentes, caminos, arroyos o ríos para evitar o disminuir la erosión y permitir el desarrollo de la vegetación. Se logra cubrir el suelo descubierto, evitando el impacto de las gotas de lluvia y las corrientes de agua, disminuyen la erosión en cárcavas y mejoran la calidad del agua. (CONAFOR, 2007)

Los recubrimientos utilizados pueden ser de diferentes materiales, como malla de alambre, malla sombra, gaviones, piedra acomodada, ramas, troncos, residuos de cosecha, costales rellenos, etc. Ver Figura 7.52. (CONAFOR, 2007)



Figura 7.52. Estabilización de talud con piedra. (CONAFOR, 2007)

### **Protección y conservación de caminos.**

Los caminos son indispensables para el aprovechamiento forestal, pero también son la principal fuente de erosión en estas áreas. Por ello, después de su construcción se deben implementar estructuras de mantenimiento, sobre todo aquellas que tengan que ver con la evacuación del agua, que es el principal agente en la destrucción de caminos y erosión de suelos. Ver Figura 7.53. (CONAFOR, 2007)

Con estas estructuras se pretende mantener los caminos en buen estado, mejorar el tránsito de vehículos y permite en cierta manera el ahorro en los costos de mantenimiento de los caminos.



Figura 7.53. Obras de protección y conservación de caminos forestales.

(CONAFOR,2007)

### **Terrazas de muro vivo.**

Son terraplenes que se forman gradualmente, a partir del movimiento de suelo que se da durante las labores de cultivo en terrenos de ladera y es retenido por setos de diversas especies de árboles o arbustos que se establecen siguiendo curvas de nivel.

Con este tipo de estructura se logra la disminución de la pendiente, impiden la formación de cárcavas, reducen el contenido de sedimentos en el agua que escurre, así como su velocidad, favorece a una mayor infiltración, aportan materia orgánica al suelo, mejoran los sistemas de producción en laderas y generan productos adicionales, como leña o forraje. Ver Figura 7.54(CONAFOR, 2007)

Para el diseño de terrazas de muro vivo es necesario conocer previamente la pendiente del terreno y la cantidad de lluvia anual que se presenta en el lugar. Con estos datos se determinan el espacio entre hileras.



Figura 7.54. Terrazas de muro vivo. (CONAFOR, 2007)

#### **Terrazas de formación sucesiva.**

Son terraplenes que se forman por el movimiento del suelo entre los bordos de tierra. Estos detienen el suelo que proviene del área entre terrazas, construyendo un canal de desagüe aguas abajo del bordo. (CONAFOR, 2007)

Con este tipo de estructura se retiene el suelo, favorece a una mayor retención de humedad, además del desarrollo de especies forestales y vegetación natural y la disminución de la longitud de la pendiente y por tanto la erosión del suelo.



Figura 7.55. Terraza de formación sucesiva o paulatina. (CONAFOR, 2007)

### **Terrazas Individuales.**

Son terraplenes de forma circular, trazados en curvas a nivel de un metro de diámetro en promedio. En la parte central de ellas se establece una especie forestal con el cual se permite el control de erosión, se retiene y conserva la humedad en áreas localizadas, favorecen el aprovechamiento de fertilizantes, incrementan la supervivencia de árboles en la reforestación y aceleran el desarrollo de especies vegetales. (CONAFOR, 2007)

Las terrazas individuales se deben construir en suelos con profundidades mayores a 30 centímetros, se deben alinear en curvas a nivel y separarse de acuerdo con la pendiente y densidad de plantas que requiere cada especie forestal. Ver Figura 7.56.



Figura 7.56. Terrazas individuales. (CONAFOR, 2007)

### **Zanjas trincheras (tinajas ciegas).**

En el diseño de este tipo de obras, se debe considerar al recurso agua como el elemento más importante de administrar, ya que es posible controlar el volumen y la velocidad de los escurrimientos superficiales mediante el uso de zanjas trincheras. Estas zanjas benefician directamente al suelo al evitar erosión y promover mayor supervivencia del área de escurrimiento, esto es, la superficie de aguas arriba de la zanja, por donde escurre el agua precipitada que llega directamente a la zanja. Ver Figura 7.57. (CONAFOR, 2007).



Figura 7.57. Zanjas trinchera. (CONAFOR, 2007)

#### **7.1.2.12. Edificaciones a prueba de inundaciones.**

Para zonas con alta frecuencia de inundaciones, que por una u otra razón ya no es posible reubicar, uno de los caminos a seguir para mitigar los daños repetitivos que se tienen por inundaciones, es similar al que se utiliza en el caso de otros peligros naturales para los cuales no se puede nulificar la exposición, como en el caso de los sismos: se construye de tal manera que la vulnerabilidad al peligro sea reducida hasta alcanzar un nivel aceptable de riesgo. (CONAGUA, 2011)

Siguiendo la idea de que la medida de control de inundaciones está diseñada para la inundación producida por el caudal correspondiente al periodo de retorno seleccionado, se requiere definir la extensión de la misma, el tirante en cada sitio y las velocidades de flujo que se presentaría en cada sitio de la zona. Así pues, el ideal será construir edificaciones que sean invulnerables a estas condiciones de tirante y velocidad dadas. La humanidad ha usado este concepto en muchos sitios a lo largo de la historia, tanto así

que existen edificaciones que se encuentran en sitios donde el terreno está bajo el agua el mayor tiempo, estas edificaciones se les conoce como palafitos.

La medida más evidente es el construir el primer nivel útil de la edificación por arriba del nivel de inundación que se definió para el sitio en el que está ubicada la edificación. Esto implica necesariamente que en el nivel del suelo local no exista nada pues puede ser utilizado como estacionamiento, como espacio de esparcimiento familiar, etc. (CONAGUA, 2011)

Las construcciones a prueba de inundaciones son definidas como el conjunto de medidas que son proyectadas para reducir las pérdidas de edificios ubicados en las terrazas o planicies de inundación durante la ocurrencia de las crecidas. Estas medidas son: (Tucci, 2007)

- Sellado temporal o permanente en las aberturas de las estructuras.
- Elevación de las estructuras existentes.
- Construcción de pequeñas paredes o diques circundando la estructura.
- Uso de material resistente al agua.
- Reglamentación de subdivisión y código de construcción.



Figura 7.58. Viviendas a prueba de inundaciones en Veracruz. (Valdés, 2011)

### **7.1.2.13. Combinaciones más usuales de acciones estructurales.**

Las obras que en forma aislada se construyen con mayor frecuencia para controlar inundaciones son las presas de almacenamiento y los bordos longitudinales. A éstos 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 los arroyos y ríos que atraviesan poblaciones, las obras más frecuentemente utilizadas son las canalizaciones y entubamientos, y los muros longitudinales.(Maza, 1996)

El control de inundaciones a lo largo de un río no siempre se logra con una sola de las acciones estructurales descritas, sino con la combinación afortunada de varias de ellas, cuando las condiciones geográficas y topográficas lo permiten. Las combinaciones más usuales son: (Maza, 1996)

- Presas de almacenamiento en cascada.
- Presas de almacenamiento y bordos longitudinales con la remoción de la vegetación en el cauce de avenidas.
- Presas de almacenamiento, bordos longitudinales y desvíos permanentes con remoción de la vegetación en el cauce de avenidas y en el de desvío.
- Presas de almacenamiento pequeñas o presas rompe-picos en cascada y entubamiento o canalizaciones a lo largo de poblaciones.
- Presas retenedoras de azolve y/o rompe-picos y canalizaciones a lo largo de poblaciones.

Además 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 solo hasta una red completa. Incluye la excavación de los drenes, así como la de los tajos y túneles que sean necesarios.
- Estaciones de bombeo.
- Compuertas
- Puentes y alcantarillas
- Dragados de cauces y drenes actuales.
- Remoción de la vegetación en cauces y drenes existentes.

#### 7.1.2.14. Selección del tamaño óptimo de una obra de protección.

Debido al carácter aleatorio de las avenidas, en la mayoría de los casos no es posible realizar obras de una magnitud tal que eliminen totalmente el riesgo de inundación. Más bien, es necesario diseñar la capacidad de la obra para que, sin costos excesivos, se proporcione una protección adecuada. (Guerrero, 1996)

Puede decirse que conforme se incrementa la magnitud de la obra, se incrementa la protección proporcionada, pero también su costo. Debe existir, por tanto, un tamaño óptimo para el cual la suma de los daños por inundación más el costo de la protección sea mínima. Ver Figura 7.59. (Guerrero, 1996)

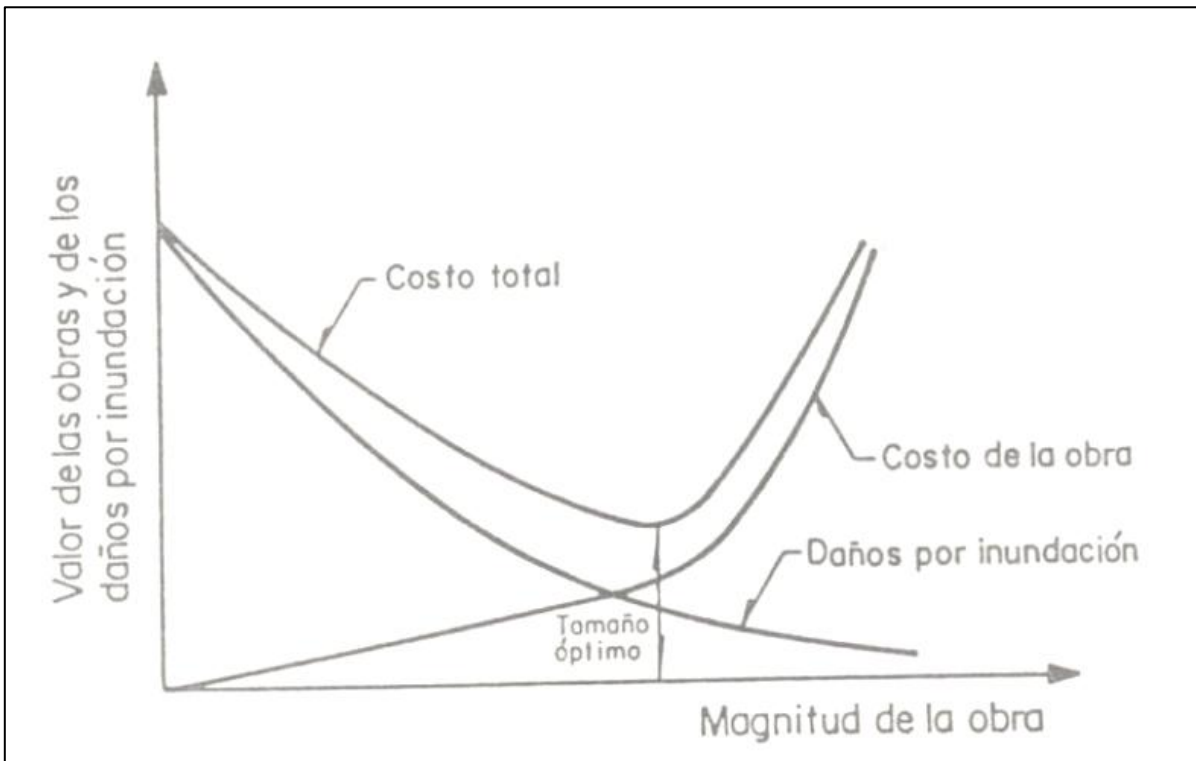


Figura 7.59. Selección de la magnitud óptima de una obra de protección. (Guerrero, 1996)

## **7.2. Medidas correctivas.**

En cuanto a las medidas correctivas, de las acciones estructurales, estas van encaminadas a la pronta atención de una emergencia en caso de una inundación, corresponde a las medidas estructurales necesarias para restablecer en lo posible las condiciones originales de funcionamiento de la cuenca o bien buscar soluciones que protejan a la población contra las condiciones perjudiciales a que queda expuesta en las etapas posdesastre (emergencia, rehabilitación y reconstrucción)

### **7.2.1. Construcción de bordos temporales.**

El uso de sacos de arena es una forma sencilla, pero eficaz para prevenir o reducir los daños por inundación. Cuando es debidamente llenado y colocado puede actuar como una barrera para desviar el agua. El saco de arena no garantiza un sello que impida el paso del agua pero es usado satisfactoriamente en la mayoría de las situaciones. También son usados para prevenir el desbordamiento de ríos y canalizar el flujo hacia algunas áreas específicas.

Dado que un bordo de sacos de arena puede fallar si no se construye correctamente, la formación de personas sobre los procedimientos adecuados para la colocación de sacos de arena es muy importante. Por lo que es de gran prioridad cuando se utiliza estos procedimientos la planificación y organización. (La identificación de personal para la supervisión de este tipo de proyectos es recomendable).

Las bolsas son hechas de diversos materiales, pero las más comunes son de polipropileno tejido, suelen medir unos 14 centímetros de ancho, por unos 60 centímetros de largo. Existen otros tamaños de bolsas, pero los sacos son más fáciles de manejar con un peso de relleno que se limita a unos 20 kilogramos. .(USACE, 2001)

Al seleccionar la ubicación para el bordo, es necesario revisar el sitio para aprovechar las características naturales de la tierra para que el bordo sea lo más corto y lo más bajo posible. Evitar obstáculos que puedan debilitar el bordo, no construir el bordo contra la pared de un edificio para evitar afectaciones debido a las fuerzas que se tienen en el bordo.

Los sacos de polipropileno, están disponibles en la mayoría de los proveedores de bolsas de plástico. Estos se almacenan durante mucho tiempo con un mínimo de cuidado, pero

no son biodegradables, por tanto, tienen que ser eliminados, o se mantendrán en el entorno durante un tiempo largo. De ser posible no utilizar bolsas de basura, ya que son demasiado resbaladizas para apilar.

Los bordos con sacos de arena se pueden construir fácilmente por dos personas, ya que la mayoría de los individuos tienen la capacidad física para llevar o arrastrar un saco de arena con un peso aproximado de 20 kg. (USACE, 2001)

El llenado de un saco de arena es una operación de dos personas. Ambas personas deben usar guantes para proteger sus manos. Un miembro del equipo debe colocar la bolsa vacía ligeramente por delante de los pies extendidos con los brazos extendidos, desplegando la garganta de la bolsa en forma de un collar, con esto permite que el otro miembro del equipo vacíe una pala llena en el extremo abierto del costal. La persona que sostenga la bolsa debe estar de pie con las rodillas ligeramente flexionadas y la cabeza lejos de la pala. Ver Figura 7.60.(USACE, 2001)

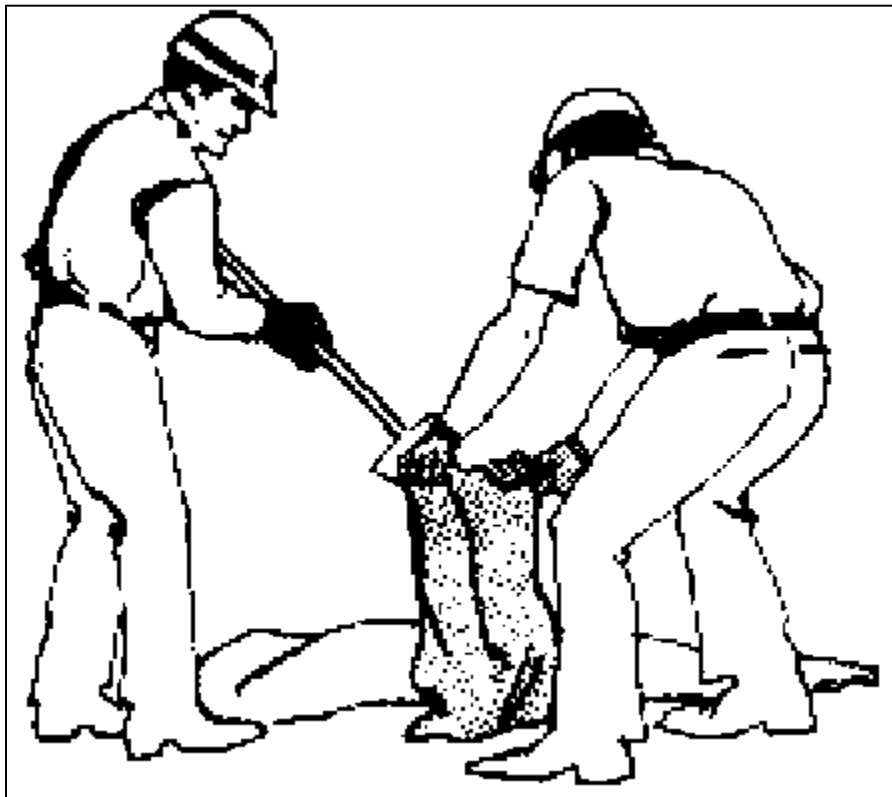


Figura 7.60. Llenado de un saco de arena.(USACE, 2001)

Los sacos deben ser llenados sólo un poco más de la mitad de su capacidad para evitar que la bolsa pese demasiado y permitir que los sacos al momento de ser apilados formen un buen sello como barrera para el paso del agua.

Para la operación a gran escala sobre el llenado de sacos de arena, se puede acelerar el procedimiento con embudos de metal y equipos de carga de alimentos. Sin embargo el equipo requerido no siempre está disponible durante una emergencia. Ver Figura 7.61.



Figura 7.61. Máquina tipo araña para el llenado de sacos de arena.

Para la colocación de los sacos de arena se recomienda quitar todos los desechos de la zona donde se va a colocar el saco. Se recomienda doblar el extremo abierto de la parte sin cubrir de la bolsa para formar un triángulo. Colocar además los sacos a lo largo y paralelo a la dirección del flujo, con el extremo abierto del lado seco o no expuesto al paso del agua. Figura 7.62.(USACE, 2001)

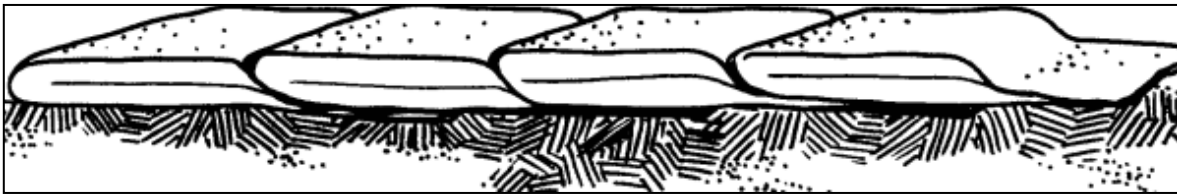


Figura 7.62. Apilamiento de sacos de arena.

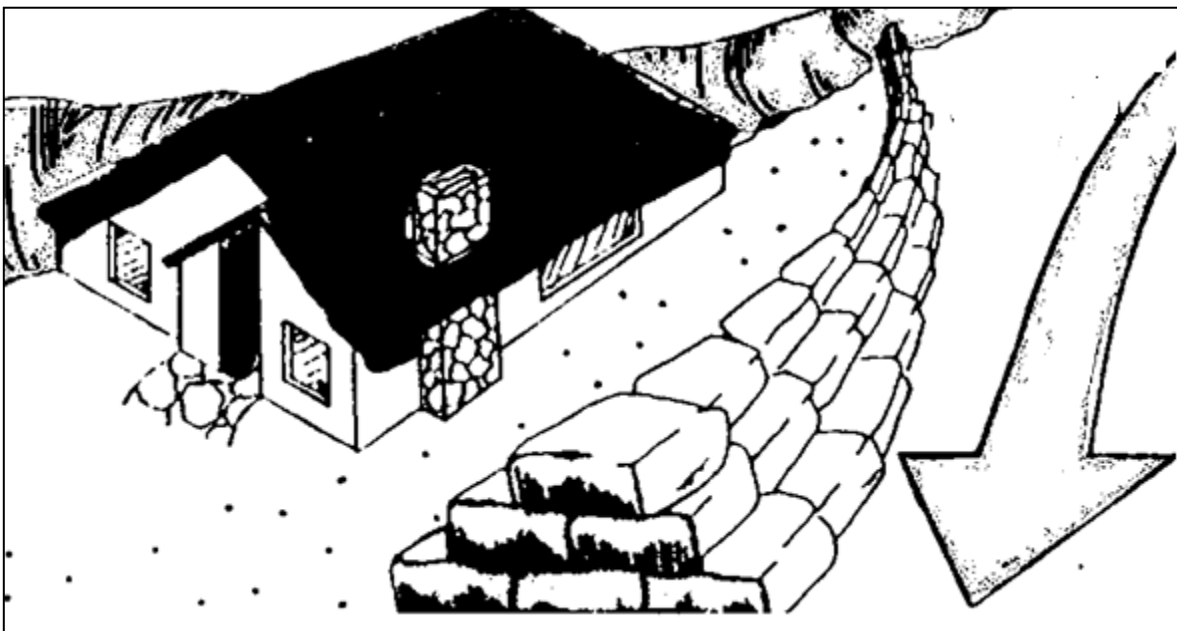


Figura 7.63. Dirección del flujo y escombros. (CSB, 2012)

El método de colocación se utiliza el llamado método pirámide, el cual consiste en colocar los sacos de arena hasta formar una pirámide colocándolos longitudinal y transversalmente uno tras otro. El Cuerpo de ingenieros de la armada de EE.UU. recomienda que para la construcción de un bordo la anchura de la base sea tres veces la altura de este. Ver Figura 7.64. (USACE, 2001)

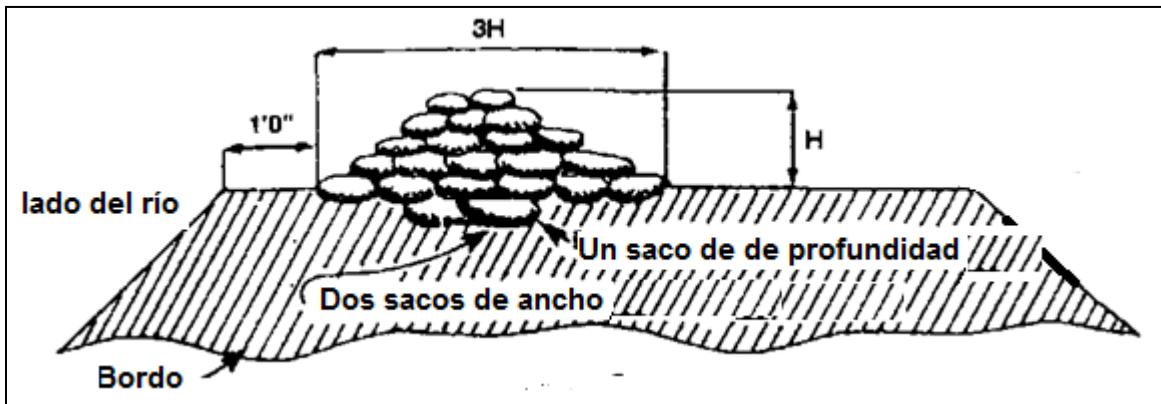


Figura 7.64.Recomendación de USACE, para la altura de bordos construidos con sacos de arena. .(USACE, 2001)

Se debe tener cuidado al apilar los sacos de arena tal y como se muestra en la Figura 7.65. Es recomendable terminar cada capa antes de comenzar la siguiente. Además de compactar los sacos firmemente en el lugar para eliminar huecos y crear un sello firme.

En cuanto al material de relleno de los sacos hay muchas variedades. Lo más razonable es utilizar materiales que se encuentren al alcance.

Cabe señalar que los sacos de arena no sellarán completamente el paso del agua. Estos se deterioran cuando son expuestos a la lluvia y al sol por varios meses, de tal modo que si los sacos son colocados con demasiada anticipación, puede que no sean tan efectivos al momento de que sean necesarios. Si es requerido los sacos permanezcan por un largo tiempo la adición de cemento puede incrementar su efectividad. Además los sacos de arena son básicamente usados para protegerse contra corrientes pequeñas. Para la protección de corrientes mayores, se requiere de otro tipo de estructuras que son más de forma permanente.

En los casos cuando se exceda de una altura de 1.0 metros se considera necesario realizar el sellado con una lamina de plástico para mejorar la estanqueidad del agua.

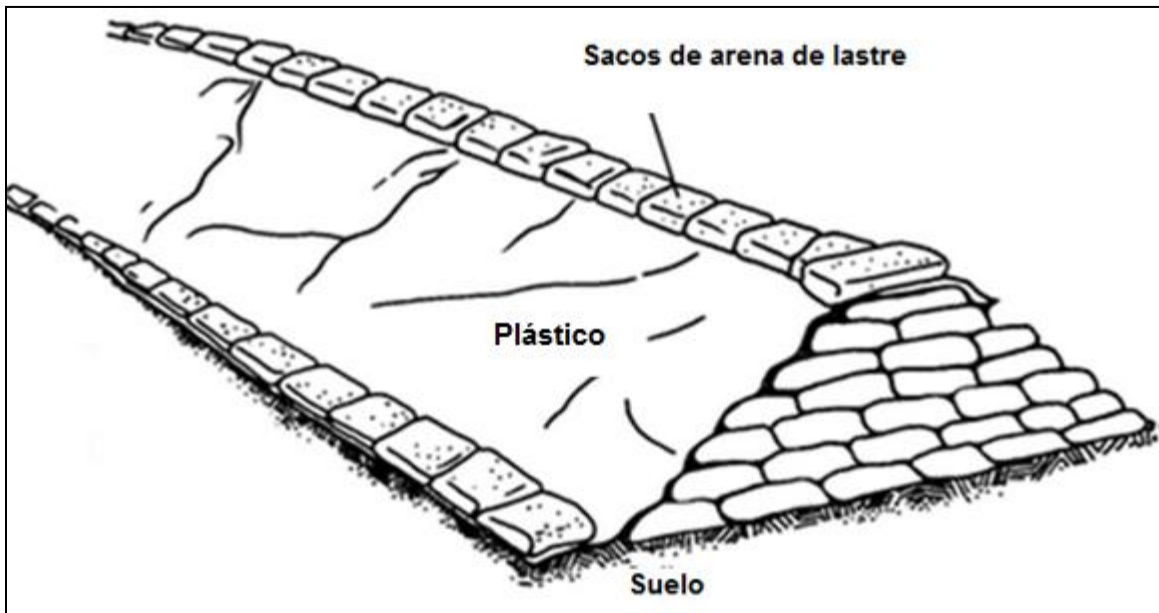


Figura. 7.65. Sellado del borde con costalera. (USACE, 2001)

El objetivo de este tipo de obra de emergencia pueden ser: evitar el desborde del río o la derivación de flujos de lodo y piedra hacia las áreas pobladas; evitar la filtración del río; evitar pérdida de terreno debido a la erosión; reducir el daño que puede producir las inundaciones sobre las viviendas, sistemas de agua y drenaje debido al impacto de rocas y otros materiales.

Las obras de emergencia se caracterizan por: la existencia de condiciones temporales y materiales que limitan la ejecución de obras de carácter permanente o definitivo. (Aumento de caudal en un río, insuficiencia de maquinaria, probabilidad de una inundación); la priorización de la salud y vida de los pobladores y en segundo términos la protección de los bienes materiales; el apoyo de la población afectada así como la utilización de materiales de la zona.

Las obras de emergencia pueden tener un efecto negativo en el largo plazo, en cuyo caso es preferible reemplazarlas una vez pasada la temporada de lluvias.

Las obras de emergencia se implementan o ejecutan en los denominados puntos críticos que están definidos como los lugares por donde los flujos de agua o lodo pueden penetrar y causar mayores daños.

Estos puntos pueden estar en las curvas de los ríos, en terrenos ribereños con alturas menores a un metro y medio respecto al nivel del río, lugares donde no existe defensas o estas son insuficientes, las riberas opuestas a aquellas que cuentan con bordos longitudinales, puentes, y otras construcciones que puedan causar daño a la población o interrumpir los servicios básicos, vías importantes que puedan ser destruidas u obstruidas afectando el tránsito vehicular

### **7.2.2. Suministro de agua potable.**

Junto con el alimento y albergue, el agua potable y saneamiento son las intervenciones más prioritarias en una situación de emergencia. La falta de condiciones sanitarias después del desastre a menudo acarrea consecuencias sumamente graves para la población y causa aún mayor sufrimiento, que la propia inundación. Por lo tanto, agua y saneamiento deben figurar entre las prioridades de las autoridades locales. Cuando más rápidas y efectivas las medidas, menor será el daño. (Tzathkov, 2007)

Los servicios como el abastecimiento de agua y alcantarillado son vulnerables a los desastres; las instalaciones se pueden dañar, las tuberías se pueden romper y las operaciones se pueden interrumpir por cortes de energía eléctrica. Después de una inundación, el agua se convierte en el bien más importante para la población afectada.

El agua es uno de los principales medios de transmisión de enfermedades, por consiguiente, al proveer la cantidad adecuada de agua a las poblaciones afectadas, las autoridades deben asegurar su potabilización. (Tzathkov, 2007)

La principal causa de diseminación de enfermedades durante una emergencia se debe a las excretas. La ruta es oral-fecal, lo que implica que son las manos, la comida y el agua, los que transportan enfermedades como las diarreas (cólera, la shigelosis, hepatitis y la fiebre tifoidea). Otras enfermedades, también transmitidas por excretas involucran un ciclo de transmisión por medio del suelo como es el caso de las helmintiasis y otro tipo de lombrices que se desarrollan a partir de heces de animales o humanos infectados. También hay infecciones al consumir carne de res o cerdo contaminado por excretas humanas. (Tzathkov, 2007)

La mayor parte de enfermedades de importancia, transmitidas por medio de las excretas, lo son también por medio de agua. En este sentido, el suministro de agua limpia es la base para controlar la diseminación de la enfermedad. Por ello, el objetivo durante una emergencia para el sector hidráulico es: dotar suficiente agua de calidad para aseo personal, lavado de manos y manejo de excretas y motivar a la gente para observar prácticas mínimas de higiene. (Tzathkov, 2007)

En situaciones de emergencia la falta de agua puede incluso provocar la muerte de personas por deshidratación, particularmente de aquellas que sufren de diarrea.

En algunas condiciones, el agua también sirve como medio para que se desarrollen insectos como el gusano de guinea y la bilharzia transmisor de la esquistosomiasis. Las moscas y los mosquitos constituyen también un medio de diseminación de la enfermedad al posarse en aguas muy contaminadas o en las excretas. (Tzathkov, 2007)

Diversas instituciones han desarrollado guías sobre los requerimientos mínimos, no sólo de agua y saneamiento sino también para los albergues, comida, tipo de ayuda, atención médica y nutrición. Las más conocidas son las denominadas “Proyecto esfera para establecer los estándares mínimos de respuesta humanitaria”, cuya eficiencia ha sido probada en campo.

Un programa de agua debe basarse en aspectos de salud pública, estar coordinado con el sector salud y ser dinámico (adaptarse para atender las necesidades que cambian con el tiempo) (Tzathkov, 2007)

Lo mínimo que se debe conocer sobre el nivel de salud de la población afectada es: (Tzathkov, 2007)

- *Tasa de mortalidad.* La situación general de salud pública afectada por una catástrofe se puede conocer por medio de la tasa cruda de mortalidad, comúnmente expresada como el número de muertes por cada 10,000 personas por día. Con base en ella, se acostumbra clasificar los desastres como sigue en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3. Clasificación de los desastres en función de la tasa de mortalidad. (Tzathkov, 2007)

Catastrófico:	>5muertes/10,000hab:día
Fuera de control:	>2muertos/10,000hab:día
Situación muy seria:	>1muerto//10,000hab:día
Bajo control:	<1muerto/10,000hab:día
Tasa normal o de fondo para países pobres	0.5muertos/10,000hab:día

La tasa cruda de mortalidad da una idea rápida del nivel de salud de la población sin embargo, no dice por qué muere la gente, cuanta está enferma y cuál es el sector más afectado. De hecho, no proporciona información hasta que la gente comienza a morir. Por ello se requiere contar con datos sobre las causas de muerte y desagregar la tasa anterior, para definir los sectores que requieren atención. (Tzathkov, 2007)

- *Tasa de morbilidad.* De mayor utilidad son las tasas de morbilidad desagregada por tipo de enfermedad y sectores de población para evaluar el nivel de salud. La morbilidad usualmente se expresa como la prevalencia, esto es, el número de personas que sufren de una enfermedad particular en un periodo.
- *Tasa de morbilidad epidémica y endémica.* Una enfermedad es endémica cuando ha estado presente en la población por varios años y la tasa de mortalidad se ha establecido en un valor normal, o epidémica, si hay un rápido incremento de la incidencia de la enfermedad debido a que ésta es nueva, hay variaciones estacionales para su transmisión, o bien, existe una mayor susceptibilidad por algún motivo. La enfermedad se debe localizar en forma definida en tiempo y espacio para su correcta determinación.

Durante una emergencia se debe buscar tener un nivel mínimo de agua suministrada en cuanto a cantidad y calidad lo más pronto posible.

En muchos casos y particularmente cuando la población es muy numerosa los posibles suministros se reducen a unas cuantas opciones que son los cuerpos de agua superficiales pues pueden ser tratados mediante métodos probados, confiables y disponibles para obtener suficiente en cantidad y calidad adecuada.

El agua superficial es la fuente más común por su fácil acceso y cuantificación. Se puede hacer mucho para mejorar la calidad original del agua cruda y hacer que el tratamiento se tome más efectivo simplemente protegiendo la fuente de agua.

Mediante la potabilización se intenta eliminar, remover o destruir los patógenos que puede haber en el agua. Para ello, en emergencias lo que se usa es clorar para desinfectar y contar con un poder residual de protección durante el transporte, manejo y uso del agua. Los métodos que se emplean durante las emergencias deben ser confiables, tolerantes a variaciones de operación, capaces de tratar agua con diversas calidades, fáciles de monitorear, operar con recursos y herramientas fáciles de tener, baratos y efectivos. Las técnicas más empleadas son: floculación con sulfato de aluminio, sedimentación y cloración con polvo de hipoclorito de alta capacidad. Pero se pueden emplear otros reactivos tanto para la coagulación como desinfección. En agua turbias, los microorganismos se encuentran adheridos a las partículas y éstas deben ser eliminadas por sedimentación, coagulación-floculación o filtración antes de que se pueda realizar la desinfección en forma eficiente.

Los componentes del proceso de potabilización, a continuación se detallan: (Tzathkov, 2007)

- *Obras de toma.* El punto de captación ya sea de un río o lago requiere ser seleccionado, la obra diseñada y construida para captar la mejor calidad posible del agua.
- *Pretratamiento.* Conviene emplear un filtro lento o de desbaste grueso para remover sólidos grandes antes del tratamiento y hacer éste más rápido, eficiente y barato.
- *Coagulación.* Es la adición de reactivos para generar que las partículas pequeñas se aglomeren y sedimenten. En emergencias, casi siempre se emplea sulfato de aluminio, el cual opera en un intervalo de pH de 6 a 7.5 por lo que puede ser necesario ajustar el pH posteriormente. La forma de operación es añadir sulfato de aluminio previamente disuelto, al agua cruda justo a su entrada en un punto con alta turbulencia para generar un mezclado rápido. Posteriormente, la presencia de remolinos suaves en esquinas durante el llenado del tanque es suficiente para hacer una mezcla lenta, esto se logra al meter el agua en un ángulo adecuado para formar flóculos. Cuando el tanque está lleno, se deja el agua en reposo para

que los flóculos sedimenten. Es necesario el monitoreo de la cantidad de sulfato de aluminio añadido para evitar el empleo excesivo y costos del reactivo.

- *Desinfección.* Aunque el pretratamiento y la coagulación-floculación remueven patógenos es preciso desinfectar el agua para cumplir con niveles adecuados. Aunque existen diversas opciones como: hervir el agua, aplicar luz ultravioleta o añadir reactivos, el cloro es el compuesto que siempre se usa en emergencias debido a que: destruye los patógenos del agua en un tiempo razonable, funciona en un amplio intervalo de temperaturas, tiene un poder residual de desinfección, desinfecta sin efectos tóxicos para el hombre, es posible medir su contenido en el agua de forma simple y rápida, hay una disponibilidad confiable y segura en cualquier parte a un costo razonable y puede ser transportado, almacenado y manejado en forma relativamente segura con ciertas precauciones.

En circunstancias extremas, se deben clorar aguas turbias teniendo presente que el resultado será limitado y de sabor desagradable, al tener que añadir cantidades importantes del reactivo.

Para el proceso se prepara una solución al 1%, la cual se añade al tanque a medida que es llenado para que se mezcle con el agua. Se da un tiempo de permanencia de 30 minutos. Cabe recordar que el cloro trabaja más rápidamente a temperaturas mayores y pH ácidos. Si el pH es superior a 8.5 el poder desinfectante se reduce y se debe, por tanto, incrementar el tiempo de retención. (Tzathkov, 2007)

Existe preocupación sobre el efecto de beber agua clorada debido a los subproductos denominados organoclorados. Pero los riesgos de éstos son, con mucho, menores y menos probables que los que hay por consumir agua sin desinfectar. (Tzathkov, 2007)

Independientemente del método que se seleccione, se debe realizar un monitoreo diario e incluso con mayor frecuencia para verificar si se está aplicando la dosis correcta.

Al principio, cuando es necesario suministrar agua a partir de una fuente turbia, lo que se hace es contar con dos tanques improvisados donde en uno se añada el sulfato de aluminio y se sedimente el agua. En el otro, se realiza la cloración para luego proceder a distribuir el agua. En estas condiciones se debe operar las 24 horas para obtener la máxima cantidad posible. (Tzathkov, 2007)

Posteriormente, el sistema se puede expandir añadiendo más tanques y bombas para operar en paralelo y disminuir el tiempo de operación. Con el tiempo, se deben buscar soluciones que requieran menos trabajo, reduzcan la dependencia de reactivos que no se obtengan localmente y disminuyan los costos de operación.

Existen varias alternativas para desinfectar y purificar el agua en pequeña escala que pueden aplicarse en el hogar. Entre ellos se encuentran: (Abilés, 2008)

- *Hervir el agua.* En el caso de América latina y el Caribe, el método más usado de la desinfección de los suministros de agua a nivel domiciliario es hervir el agua. Se trata de un método muy eficaz, ya que los organismos patógenos transmitidos por el agua al ser expuestos a temperaturas de 90° a 100° centígrados los mata o inactiva. El agua tiene que calentarse hasta que hierva durante aproximadamente unos tres minutos. Si es necesario el almacenamiento del agua hervida en otro recipiente casero, es importante que éste sea desinfectado antes de transferir el agua. Hervir el agua tiene varias desventajas. La más importante es que no proporciona protección contra la recontaminación. Ya que no se tiene ninguna protección residual, lo que significa que, después de hervirse, habrá que tenerse mucho cuidado con la recontaminación causada por los contaminantes transportados por el aire.
- *Desinfección química.* Existen varias sustancias químicas que se emplean para desinfectar el agua. Entre estas, las más utilizadas en casos de emergencia, a nivel domiciliario e individual, son el cloro y el yodo en compuestos sólidos y líquidos. El yodo, el hipoclorito de sodio y el hipoclorito de calcio pueden obtenerse frecuentemente a nivel local en las comunidades. Cada uno de estos puede utilizarse eficazmente como desinfección de agua si se aplica en forma adecuada. En la desinfección de emergencia de volúmenes mayores de agua potable puede emplearse ventajosamente el gas de cloro líquido.
- *La radiación de luz ultravioleta.* Es un método efectivo de desinfección para aguas claras, pero su efectividad es reducida significativamente cuando el agua es turbia o contiene constituyentes tales como nitrato, sulfato y hierro en su forma ferrosa. Este método de desinfección no produce ningún residuo que proteja al agua contra una nueva contaminación y que podría servir para propósito de control y vigilancia. La luz ultravioleta ha sido usada para desinfección en varios países desarrollados, pero se le aplica muy rara vez en países en desarrollo.

Como alternativa se puede optar por la distribución masiva de tabletas, polvo o líquidos desinfectantes, sólo que debe ser tomada en consideración en las siguientes circunstancias: (Abilés, 2008)

- Si las personas afectadas saben cómo usarlos.
- Si las personas afectadas pueden recibir adiestramiento para su uso inmediatamente después del impacto, mediante una enérgica campaña de información.
- Si se distribuyen los depósitos de almacenamiento de agua adecuados.
- Si el personal de salud publica ayudan a asegurar el uso adecuado continuo de los comprimidos.
- Si existe una red de distribución local que garantice un suministro continuo y adecuado para cubrir las necesidades durante toda la fase de emergencia, y al comienzo de la fase de rehabilitación.

En general pueden distribuirse estos desinfectantes a personas o a grupos pequeños y controlados para que purifiquen pequeñas cantidades de agua durante una o dos semanas. Debe hacerse todo lo posible para restablecer la cloración normal.

Cabe señalar que el agua es un elemento esencial para la vida y la salud. En situaciones de emergencia, a menudo, no está disponible en cantidades ni en calidad conveniente, lo cual pone un gran peligro para la salud. (Abilés, 2008)

En emergencia se debe tomar las siguientes medidas.

- Calcular las necesidades de agua y efectuar inmediatamente una evaluación de los posibles abastecimientos de agua.
- Inventariar todos los depósitos de agua y evaluar en términos de calidad y productividad cada uno de estos abastecimientos.
- Proteger los abastecimientos de agua de la contaminación y conseguir suficiente cantidad de agua de buena calidad.
- Mejorar el acceso a los abastecimientos construyendo fuertes y un sistema de almacenamiento y distribución para repartir la cantidad suficiente de agua en buen estado, incluyendo un suministro de reserva.
- Llevar a cabo análisis periódicos de la calidad del agua.
- Crear la infraestructura para su funcionamiento y mantenimiento.

- Archivar y actualizar la información sobre recursos hidráulicos obtenida durante la evaluación de las necesidades, planificación, construcción, funcionamiento y mantenimiento

Una persona puede sobrevivir más tiempo sin comida que sin agua. El abastecimiento de agua exige una atención inmediata desde el principio de una emergencia. La finalidad es disponer de agua suficiente para poder distribuir la cantidad necesaria y garantizar su potabilización. (OPS, 2007)

Las necesidades que se deben tener en cuenta son: (OPS, 2007)

- *Demanda.* Calcular por lo menos 15 litros de agua por habitante al día. La asignación mínima de supervivencia no puede ser inferior a 7 litros por habitante al día.
- *Calidad.* Para preservar la salud pública, es preferible disponer de una gran cantidad de agua razonablemente pura que de una cantidad menor de agua muy pura.
- *Control.* El agua tiene que ser potable; deben analizarse la calidad física, química y bacteriológica de las nuevas fuentes de abastecimiento antes de hacer uso de ellas, y repetir luego éste análisis de forma periódica, así como inmediatamente después de un brote de cualquier enfermedad que pudiese estar producida por la insalubridad del agua.

Las necesidades mínimas de agua varían en cada situación y se incrementan con la temperatura ambiente y el ejercicio físico. Por lo que es deseable contar con las siguientes cantidades de agua: (OPS, 2007)

- Asignaciones mínimas de supervivencia: 7 Lt/hab:día, litros por persona al día. Esta cantidad debe incrementarse de 15 a 20 litros por habitante al día lo antes posible.
- Centros hospitalarios: de 40 a 60 Lt/hab:día
- Centro de alimentación: de 20 a 30 Lt/hab:día

Considerando que generalmente la etapa inmediatamente posterior al evento tiene una duración limitada, que rara vez excede un mes, en la cual existe una fuerte participación externa y que los productos químicos ingeridos por corto tiempo no tienen mayor impacto

en la salud de los consumidores, se recomienda aplicar los valores indicados en la Tabla 7.4, que han sido conciliados a partir de las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados y el Proyecto Esfera. (OPS, 2007)

Tabla 7.4. Relación de parámetros fisicoquímicos. (OPS, 2007)

<b>Parámetro fisicoquímico</b>	
<b>Determinación</b>	<b>Concentración o Valor.</b>
Cloro residual	0.5-1.0 ppm*
Turbiedad agua subterránea	10 UNT**
Turbiedad de agua superficiales	5 UNT**
Potencial de Hidrogeno (pH)	6.5-8.5

\*ppm(parte por millón) equivale a 1mg/l(miligramo por litro)

\*\*UNT(Unidad nefelométrica de turbidez)

Cabe indicar que los parámetros de cloro residual varían. En condiciones normales entre 0.2 y 0.5 ppm; lo ideal es 0.5 ppm a la salida del tratamiento y no menos de 0.2 ppm en el punto más alejado de la red. Dado que en situación de desastre, generalmente el agua se contamina y su nivel de turbiedad se eleva, se recomienda hiperclorar el agua con concentraciones de hasta 1.0 ppm para proteger la salud de la población afectada.

Adicionalmente, si las circunstancias lo permiten, se deberán ejecutar la evaluación de la concentración de coliformes termotolerantes o E-coli, los cuales no deberían estar presentes en el agua destinada al consumo humano.

En el contexto de la emergencia, si la situación lo permite y se cuenta con equipos más especializados para analizar la calidad del agua, se recomienda aprovechar la oportunidad para hacer análisis más completos de las fuentes de agua y aumentar los puntos de muestreo para fortalecer los programas de vigilancia y control de la calidad del agua.

Finalmente los tres aspectos fisicoquímicos fundamentales en una situación de emergencia o desastre en relación con la vigilancia de la calidad del agua de consumo humano y que deben ser monitoreados son: el cloro residual, el pH y la turbiedad. Estas tres determinaciones fisicoquímicas se consideran claves por que están directamente

relacionadas con la desinfección, el mantenimiento del nivel de cloro libre residual en el agua y por tanto, con la posibilidad de transmisión de agentes patógenos.

Para la evaluación de la calidad bacteriológica del agua de consumo humano de emergencia, se presentan dos alternativas: (OPS, 2007)

- Ensayo del H<sub>2</sub>S (Sulfuro de hidrogeno), método cualitativo de presencia/ausencia (P/A). El ensayo del sulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S) es uno de los métodos más sencillo para evaluar la calidad bacteriológica del agua; se caracteriza por su bajo costo y la claridad en la interpretación de los resultados. Este ensayo consiste en la determinación cualitativa de bacterias productoras de H<sub>2</sub>S, cuya detección se asocia a la presencia de contaminación bacteriana de origen intestinal, que incluye las bacterias del grupo coliforme. Los resultados se expresan en forma cualitativa, como presencia o ausencia de las bacterias productoras de H<sub>2</sub>S, indicadoras de contaminación por bacterias de origen intestinal.
- Método de presencia-ausencia de bacterias coliformes. Es un procedimiento simplificado para la determinación cualitativa de coliformes en agua destinada al consumo humano; más simple y económico que la técnica de tubos múltiples y la de filtro de membrana, que son pruebas cuantitativas. Asimismo, el Colilert es un producto para análisis, detección y cuantificación de coliformes totales y E.coli, en muestras de agua de cualquier tipo. Es un reactivo con una formulación especialmente diseñada a base de sales y sustratos con nitrógeno y carbono. La metabolización de estos nutrientes produce un color amarillo y fluorescencia, con lo cual queda confirmada la presencia de coliformes totales y de E.Coli, respectivamente.

Además en situación de emergencia se pueden tener las plantas paquete que consisten de unidades móviles que por sí mismas tratan el agua hasta un elevado nivel de calidad. Con frecuencia se emplean para suministrar agua por el ejército durante las prácticas de campo y hospitales. La mayor parte de estos sistemas no acepta agua turbia. Por lo general este tipo de dispositivos se emplea para suministrar agua en los centros de alimentación, hospitales de campo o estaciones de apoyo. Ver Figura 7.66.



Figura 7.66. Planta potabilizadora portátil.

En caso que no se cuente con la potabilización adecuada o se tenga interrumpido el servicio, una alternativa es dotar de agua potable por medio de camiones pipa. Esta alternativa no es viable cuando, los caminos se encuentran inundados o las vías de comunicación estén colapsadas.

También se puede realizar el suministro por medio del agua embotellada, siendo este uno de los tipos de suministro más costoso, pero de los que se puede considerar seguro para la salud de la población afectada por la inundación. Aunque también su disponibilidad se limita a la capacidad que se tenga para trasladar el agua hacia las zonas afectadas.

### **7.2.3. Desencharcamiento y drenaje de zonas inundadas.**

Otra de las actividades de carácter correctivo una vez ocurrida la inundación, es el desalojo de agua, con el propósito de proporcionar a la población afectada una respuesta inmediata ante los efectos producidos por las inundaciones. En México se cuenta con Centros Regionales para Atención de Emergencias (CRAE), estos centros se encuentran

equipados para dar respuesta inmediata y con esto mitigar daños que puede producir una inundación. Se encuentran distribuidos territorialmente en diferentes entidades federativas y están a cargo de la Comisión Nacional del Agua.(CONAGUA). (Ver Figura 6.1 del capítulo 6).

El trabajo de desalojo de agua en las zonas inundadas generalmente se realiza utilizando equipos de bombeo portátil (bombas charqueras), en el cual el objetivo principal es expulsar el agua (Ver Figura 7.67 a y b). Es recomendable la utilización de bombas que permitan el acarreo de sólidos en suspensión; como son las bombas de flujo mixto o de diafragma, y las bombas centrífugas con impulsor helicoidal. Ver Figura 7.67.

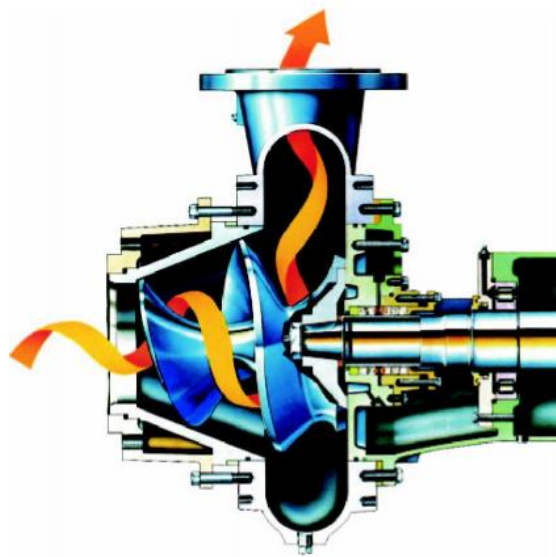


Figura 7.67a. Bomba centrífuga con impulsor helicoidal.

También se pueden utilizar drenes en forma de canal cuya sección es excavada en el terreno, con el fin de conducir el agua que se encuentra confinada y que no puede escurrir de forma natural. Esto es posible sólo si existen las condiciones geográficas y topográficas adecuadas.

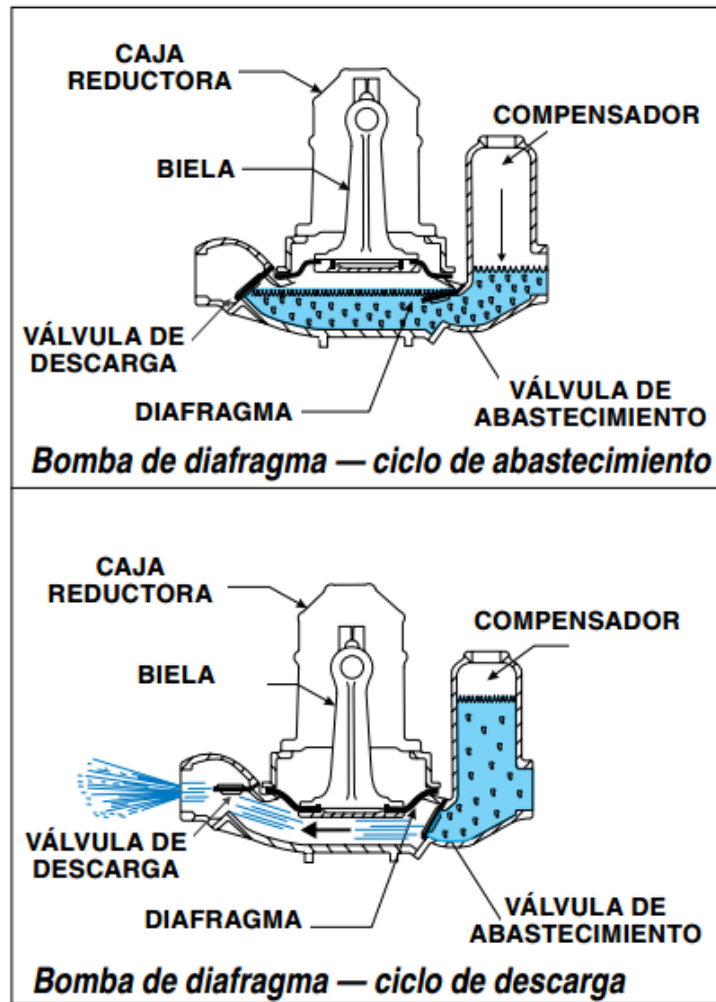


Figura 7.67b. Bomba de diafragma o tipo pistón.

#### **7.2.4. Reubicación de la población.**

Esta es la primera de las medidas que estarían orientadas a reducir la exposición, aunque desde el punto de vista de vida humana, también su vulnerabilidad. Evidentemente la información más importante para la implementación de esta medida es la correcta definición de las zonas que serían inundadas para el caudal de diseño, quizá en combinación con cualquier otra medida simultánea que modificará esta zona inundada. Por supuesto habrá que definir también los tirantes y posibles velocidades de flujo en cada subzona, para definir cuáles son las que verdaderamente requiere reubicar por razones de protección a la vida humana, las que requieren reubicación por daños menores a enseres domésticos y muebles y las que la requieren por la dificultad de proveer servicios a la gente que queda atrapada en sus casas por inundación con tirantes menores. (CONAGUA, 2011)

La reubicación de un sector importante de la población es un camino lleno de minas: minas legales, minas normativas, minas presupuestales, minas de no disponibilidad de terrenos propiedad de la autoridad, minas de problemas sociales, minas de contrarrestar los intereses creados con la población en condiciones precarias y rigurosas, inclusive minas de equidad entre la población reubicada y el resto de la población.

Para darle robustez a esta medida, resulta esencial hacer un completo análisis de riesgos de los terrenos destino a donde la población será reubicada. También, por la misma razón, resulta importante establecer mecanismos realistas para que las zonas de las que se remueven a las familias en riesgo, no vuelvan a ser colonizadas por población que puede ver en esta maniobra una oportunidad para hacerse de una habitación, riesgosa, pero al fin y al cabo una habitación. (CONAGUA, 2011)

La destrucción de las casas habitación en la zona de riesgo de inundación resulta muy controversial e importantes esfuerzos de comunicación con la sociedad son necesarios para que la medida sea socialmente aceptada. (CONAGUA, 2011)

Darle un uso, aceptable para una zona inundable con cierta frecuencia, más allá de simplemente zona inundable reduce la posibilidad de una reocupación. Los parques naturales y recreativos de uso para toda la sociedad puede ser una buena opción. Pero debe evitarse que la población interprete que la reubicación fue realizada por razones de

crear dichos parques naturales o recreativos. El énfasis debe ser siempre en la seguridad de las familias reubicadas.

Naturalmente, la reubicación de una zona inundable en principio no debe producir ningún perjuicio para la población aguas arriba o aguas abajo del sitio de la reubicación. La reubicación es una medida estructural que obedece a mitigar la vulnerabilidad en determinadas zonas de riesgo reconocida.

Generalmente se ejecuta durante los tiempos de reconstrucción, consiste en desplazar a la población de terrenos expuestos a un riesgo a una zona no susceptible a las inundaciones.

Para este caso la decisión estriba en que todas las salidas técnicas o estructurales y no estructurales, tienen un costo excesivo o muy por encima de los costos asociados a los bienes protegidos, o bien cuando el riesgo a pérdidas de vidas humanas es muy alto y no se puede desarrollar infraestructura de protección contra inundaciones, se optará preferentemente por la reubicación, la cual en sí, puede resultar también una solución gravosa. La reubicación en las zonas urbanas se dará de preferencia cerca de la población, con el objeto de economizar en la dotación de servicios y equipamiento urbano. Cuando no hay tiempo disponible para realizar análisis intensivos o detallados (decisiones de menos un mes de plazo para ser tomadas). Se recomienda adquirir imágenes de satélite del sitio en los días posteriores al evento que originó el desastre, y con ayuda de algún modelo digital de elevaciones, tomar algún criterio morfológico de la mecánica de las inundaciones, erosiones y depósitos en planicies así como los abanicos aluviales, se trata de una evaluación geomorfológica del sitio, asistida por geólogos del consultivo técnico para elegir prontamente sitios dónde históricamente no existen evidencias de actividad hidrología, fluvial intensa o reciente. (CONAGUA, 2011).

Cuando se visualizan un año de análisis y existen recursos para hacer los estudios. Se realiza el siguiente procedimiento que no necesariamente pueden ser consecutivos, en ocasiones son simultáneos: (CONAGUA, 2011)

### Identificar el peligro.

- Levantamiento de las manchas de inundación históricas o las plumas de sedimentos activas parte de los abanicos aluviales en cuencas cortas de cambio brusco de pendiente.
- Levantar la topografía de cauces y zonas de inundación.
- Calibrar modelos numéricos.
- Construir modelos físicos, si hay tiempo disponible.
- Modelación de varios escenarios variando la magnitud de las inundaciones.
- Asumir periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años para identificar las zonas de riesgo.
- Publicar los planos, con las autoridades que converja en atribuciones en control de territorio y determinación del riesgo.

### Censo.

Es una de las labores más difíciles de la tarea de reubicación, correspondiente al levantamiento del censo de las personas afectadas por el evento o aquellas que están en riesgo a un evento calculado. Esta tarea generalmente se realiza por instancias locales o federales de la SEDESOL. En esta etapa es necesario contar con los polígonos de inundación para que se coteje vivienda por vivienda la condición de afectación. En el levantamiento del censo es necesario identificar los siguientes criterios:

- Las viviendas a reubicar perdieron posibilidad de rehabilitación, están destruidas o inhabilitadas.
- Resultaron ubicadas en un lugar donde el tirante produce una velocidad mayor a 2 m/s.
- En el análisis costo beneficio es más factible reubicar que desarrollar infraestructura de protección contra inundaciones.
- Es más de dos ocasiones han sido siniestradas las viviendas a pesar de la infraestructura.

### Elección del sitio de reubicación.

Esta tarea comienza por el análisis de los probables sitios, en los cuales es necesario evaluar si los sitios de reubicación no están sujetos a riesgos también. Los sitios para dicha selección son todos aquellos terrenos propiedad de los gobiernos municipales o

estatales donde aun no se tengan construcciones. También es necesario establecer una estrategia de crecimiento urbano tomando en cuenta el crecimiento expansivo, la re-densificación y el urbanismo y arquitectura que se adapta al medio. Cada una de estas opciones implica una disposición de terrenos distinto, incluso de un espacio urbano ya afectado y ocupado, más que extenderse a nuevas áreas seguras. Para realizar la evaluación de nuevos terrenos para ocupación urbana. Se evalúan los siguientes aspectos: medio físico natural, infraestructura, aspectos urbanos y aspectos socioeconómicos.

#### **7.2.5. Construcción de vías de acceso.**

Este aspecto tiene como principal objetivo el restablecer de manera inmediata, la comunicación terrestre que permita el flujo de bienes y servicios a la población que haya sido afectada. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes –SCT-, sigue un procedimiento para afrontar las situaciones de emergencia donde se divide en tres etapas dicho procedimiento. (SCT, 2011)

##### **i. Antes de la emergencia.**

El objetivo que debe emprenderse antes de la emergencia, es del tipo preventivo destinado a fortalecer la capacidad de los Centros SCT para atender las posibles emergencias que se presentan. Las acciones preventivas se enlistan en seguida:

- a. Establecer un Centro Operativo en la Dirección General del Centro SCT
- b. Tener disponible en los Centros de SCT por lo menos cuatro rampas construidas con tubería de acero cédula 40 de 10 pulgadas de diámetro, con longitud mínima de 10 metros y ancho de 3.5 metros.
- c. Contar con al menos 2,000 costales y la arena suficiente para llenado de éstos, así como con un mínimo de 30 tubos P.V.C de 120 centímetros de diámetro.
- d. Contar con material friccionante, cuyo volumen no debe ser menor de 1,000m<sup>3</sup>
- e. Tener disponible varias plantas portátiles de energía eléctrica a base de combustible.
- f. Prever el almacenamiento de combustible en lugares estratégicos.

- g. Contar con una lista de bancos y almacenes de materiales en la que se incluya su ubicación y capacidad, en tabla y localizados en un mapa.
  - h. Tener un inventario de rutas alternas, ya sea por medio de carreteras secundarias o caminos vecinales, presentado en tabla y localizados en mapas.
- ii. Durante la emergencia.

Como objetivo en esta etapa se tiene el de conocer a la brevedad la localización y magnitud de los daños que sufran los tramos carreteros, a fin de adoptar las medidas para atender de inmediato los puntos fallados. Además de establecer comunicación con representantes de otras dependencias federales (TELMEX, CFE, CONAGUA, etc) para coordinar acciones de reparación de daños compartidos.

- a. Los integrantes del centro operativo deberán trasladarse de inmediato a las zonas donde se esté dando la situación de emergencia, recabando y valorando el estado físico de la red a cargo del Centro SCT.
- b. Coordinar los trabajos que pudieran restablecer la transitabilidad por los tramos afectados.
- c. Consultar la información referente a la naturaleza y características de la inundación.
- d. Emitir boletines para mantener informada a la población sobre el estado que guarde la infraestructura carretera.
- e. Estudiar en el caso de que durante la emergencia se haya resultado afectado un puente, la conveniencia de instalar un puente provisional tipo Mabey o de Pontones.

iii. Después de la emergencia.

El principal objetivo de las actividades que se llevan a cabo después de una emergencia, es el restablecimiento de la comunicación, es decir, dar paso en forma provisional y en menor tiempo posible en el sitio en que la inundación causó daño. Para esto se requiere:

- a. Restablecer el servicio provisionalmente.
- b. Elaborar el reporte de daños.
- c. Dar respuesta inmediata con la capacidad instalada.
- d. Establecer una estrategia para determinar el procedimiento constructivo a seguir, para dar solución en cada lugar crítico donde se tenga daños.

### Puentes metálicos prefabricados. "Mabey"

Las estructuras Mabey son estructuras modulares de acero de alta resistencia, proyectadas para formar un puente simple de tablero inferior, es decir, la superficie de rodamiento de la calzada está soportada por dos vigas principales. (SCT,2011)

Las vigas principales están compuestas de un cierto número de paneles unidos con pernos, extremo a extremo y conectados lateralmente, cuando sea necesario, para formar vigas rígidas de una orilla a otra. (SCT,2011)

Los travesaños que soporta la calzada se colocan sobre los cordones inferiores de los paneles, conectando y distanciando correctamente las vigas principales, al mismo tiempo que soporta las armazones de acero de la calzada. (SCT,2011)

En todo los tipos de estructuras, el panel es el componente básico y la manera mediante la cual, se agrupan unos paneles con otros determina la carga que puede soportar la estructura. (SCT,2011)

Dentro de las características principales del concepto de puente modular se tiene: (SCT,2011)

- Puentes de claro y capacidad variable que pueden ser construidos con calidad y rapidez ya que sus elementos se pueden intercambiar sin mayor problema.
- Existen tablas preestablecidas que determinan las características del puente según el claro y la capacidad de carga requerida.
- Los puentes pueden ser construidos fácilmente por mano de obra no calificada bajo la supervisión de un ingeniero.
- Las partes que lo conforman se transportan con relativa facilidad, y con una cimentación simple en un mínimo de tiempo, las estructuras pueden ser puestas en servicio.
- Todas las piezas son galvanizadas, lo que implica un mantenimiento mínimo y el sistema piso de acero puede llevar asfalto si lo requiere. El sistema también es apropiado para su aplicación permanente.



Figura 7.68. Puentes tipo Mabey. (SCT,2011)

#### Puentes de pontones para emergencias.

Los pontones son cajas metálicas flotantes que unidas entre sí pueden dar paso al tránsito de vehículos sobre cuerpos de agua estancadas o cauces poco caudalosos con tirantes entre 0.5 y 5 metros.

Dado el peso y tamaño de estos elementos se requiere grúa para maniobrarlos. Además que para el transporte son necesarios camiones tipo tráiler.

Para instalar estos puentes se utilizan elementos llamados lápices que son tubos con punta empotrados en el fondo del cauce que sirven para fijar los pontones y que requieren de equipo pesado como retroexcavadora para su instalación.



Figura 7.69. Puentes de pontones. (SCT,2011)

### Puente de soporte seco.

Puede ser desplegado por ocho personas en poco más de una hora sobre una brecha de 45 metros a fin de ayudar a mantener el tráfico civil en movimiento.

- Sobre brechas de 22m a 46m. en incrementos de 6.
- Es capaz de soportar vehículos de hasta 120 toneladas.
- Ancho de 4.3 m con bordillos integrales.
- Se utiliza con diferentes alturas de riberas: +/- 3m.



Figura 7.70. Puente de soporte seco. (WFEL, 2012)

### Puente transbordador.

EL puente transbordador ha sido diseñado para despliegue inmediato en situaciones en las cuales es necesario restablecer los cruces con rapidez o cuando se requiere acceso nuevo para ayuda a las víctimas de desastres naturales.

- Es capaz de soportar vehículos de hasta 70 toneladas en distancias de 10m hasta 76 m.
- Construcción es a mano.

- Se puede transportar en remolques en vehículos 4x4.
- Ideal para situaciones que requieren soporte para cruce inmediato de brechas.



Figura 7.71. Puente transbordador. (WFEL,2012)

### **7.2.6. Albergues temporales.**

Frente al impacto de un fenómeno perturbador como lo es una inundación, una de las medidas de protección civil más utilizadas es la evacuación de los habitantes de la zona afectada, de manera que puedan evitarse mayores daños a su integridad física.

Una situación de emergencia produce en la población más vulnerable, alteraciones que limitan la realización de sus actividades y crea la necesidad de algún tipo de asistencia. La asistencia implica desde el restablecimiento de los servicios esenciales hasta el acondicionamiento de albergues o refugios de emergencia.

Un albergue o refugio se puede definir como un lugar físico destinado a prestar asilo, amparo, alojamiento y resguardo a personas ante la amenaza, u ocurrencia de una inundación. Generalmente es proporcionado en la etapa de Auxilio. Los edificios y espacios públicos son comúnmente utilizados con la finalidad de ofrecer los servicios de albergue en casos de desastre.

Una forma sencilla que se ha empleado muy frecuentemente para establecer la forma de actuación de una inundación ha sido en tres momentos: antes, durante y después. Siguiendo ese esquema, el establecimiento de albergues temporales también tendrá tres momentos que se ajustan al conjunto de las actividades correspondientes.

Antes. Las autoridades de protección civil deberán buscar, localizar, evaluar, concertar, informar a la población y establecer la planificación logística específica para cada albergue.

Durante. En el momento en que se determine que cierto núcleo de la población está en riesgo de sufrir el impacto de una inundación, o que ya se encuentra bajo sus efectos y se hace necesaria una evacuación, deben ponerse en marcha los procedimientos de recepción, acomodo y canalización de las personas en el albergue.

Después. ( en este caso, después de la llegada de los damnificados al albergue) Operar el albergue y sus procedimientos ajustándolos a la situación y manteniendo comunicación constante con los sistemas de protección civil, hasta su desactivación.

Una vez que ha sido puesto en operación un albergue temporal, el tiempo que estará en operación corresponde directamente a la duración de la inundación y/o de los trabajos

que permitan ofrecer seguridad y un mínimo de habitabilidad en las casas de los damnificados.

Dentro de los planes de protección civil será conveniente por tanto que, conocidos los riesgos a los que una zona está expuesta, se calculen los tiempos promedio que deberían estar en servicio los albergues, de acuerdo con el tipo de inundación y las capacidades de recuperación. Lo anterior es muy importante para determinar los tipos de recursos y alimentos, además de los volúmenes que será necesario llevar a los albergues. Conocerlo de antemano posibilita que las peticiones de ayuda sean más exactas y factibles de completarse.

Existen tres tipos de albergues temporales, los cuales son:

- Campamento no organizado. Es un asentamiento humano disperso sin coordinación, que carece de los servicios básicos necesarios, generalmente esta es la forma en que las víctimas se alojan después de acontecido una inundación,
- Campamento organizado. Es aquel que se instala en áreas abiertas y cuando no se cuenta con un inmueble, pero que cuenta con todos los servicios necesarios. Para su instalación se utilizan tiendas de campaña.
- Albergue temporal fijo. Es un inmueble de construcción sólida, que reúne todas las características generales de un albergue. Por ejemplo, escuelas, gimnasios, iglesias. Este tipo de albergue es el más conveniente ya que cuenta generalmente con todos los servicios o se tiene la posibilidad de instalarlos fácilmente.

Los sistemas locales y estatales de protección civil son las autoridades competentes para definir dónde habrá de establecerse un albergue temporal. Dicha definición y los procedimientos subsecuentes deben estar enmarcados en los planes de protección civil de cada localidad, de manera que exista un registro de instalaciones, susceptibles de ser transformadas en albergue en el cual se conozca la capacidad de alojamiento y, a partir de ese dato las necesidades de todo tipo, que conlleva a la operación de cada albergue.

No obstante el más práctico sistema de alojamiento temporal para las víctimas de un desastre es el domicilio de sus familiares, amistades, o personas con espíritu de solidaridad; procurando dentro de lo posible mantener juntos a los miembros de una misma familia, impulsando estrategias que los involucre en diversas actividades: preparación de alimentos, recreación, salud, agua y saneamiento, etc.

Como requisitos para establecer un albergue temporal se tiene que:

- Deben estar alejados de zonas de peligro.
- Deben tener un grado de vulnerabilidad bajo.
- Contar con espacios para ofrecer los servicios básicos.
- Situarse en lugares accesible.
- Contar con un sistema de comunicación.
- Contar con agua potable suficiente.
- Contar con servicios sanitarios.
- Área para atención médica.
- Tener espacio para dormitorios (Considerar 3.5m<sup>2</sup> por persona)
- Distancia mínima entre catres o colchoneta de 75 centímetros.
- Ofrecer 2,500 calorías por persona, al día (como mínimo)
- Disponer de al menos 15 litros de agua por persona al día.
- Retretes, uno por cada 40 personas,(una letrina por cada 20 refugiados)
- Estancias separadas para enfermos.
- Si es posible, contar con áreas de recreo.
- En cualquier tipo de refugio es importante considerar los riesgos de abuso sexual y psicológico.

Sobre los puntos anteriores hay que aclarar que muchos de esos requisitos quedan a criterios de las autoridades de protección civil. En todo caso, el criterio básico es mantener la vida y la salud de los damnificados en tanto se retorna a la normalidad.

El funcionamiento de los albergues debe contar con la organización de los servicios generales que garanticen las condiciones imprescindibles para la estancia en ellos. Comprende por tanto, entre otras actividades, las relacionadas con la coordinación de los suministros, las transportaciones, la vigilancia y cuidado de los bienes y recursos, así como la limpieza de las instalaciones con la participación de los albergados.

El manejo de los albergues es un tema siempre difícil, por tanto en cada uno de los albergues se debe elegir un coordinador como autoridad, y es quien tendrá la responsabilidad de la administración general del albergue, apoyado por voluntarios de la comunidad y representantes de las organizaciones presentes, asignándoles roles tales como: suministros, logística, alimentación, recreación, salud, seguridad, etc.

Es fundamental promover la participación de los albergados en la preparación, instalación, funcionamiento y mantenimiento del albergue. Para ello será necesario propiciar un ambiente democrático, donde todos puedan opinar y dar ideas, sin discriminación de ninguna clase. Como consideraciones generales para la administración de un albergue temporal se tiene en atención a damnificados lo siguiente:

- *Recepción y registro de damnificados.* El área de recepción de las personas que se alojarán en el refugio temporal, debe de situarse cerca de la entrada principal, en esta área se encontrarán personal de servicio social y personal de bodega. El personal de servicio social registrará a los evacuados, y los enviará al área de dormitorios para su instalación; el personal o encargado de la bodega distribuirá ropa de capa y explicará el sistema de solicitud de material.
- *Servicio de alimentos.* Se deberán tener previstos los siguientes alimentos: bebidas calientes, frías, galletas, pan dulce o algún alimento ligero. El encargado de este servicio debe cumplir con: la selección del personal para apoyar este servicio, fijar horarios para la elaboración y distribución de alimentos, coordinarse con el área médica y de servicio social en relación a la preparación de dietas especiales para las personas que la requieran y acordar con el encargado de la bodega el sistema de solicitud de materiales.
- *Sitios de dormitorios.* La recepción de personas se puede hacer en el siguiente orden: 1) primeramente se registran y se les manda al área de dormitorios para su instalación, 2) el área de registro es muy importante ya que ahí se detecta de inmediato al personal que requiere de asistencia especial, 3) se le proporciona atención medica o asistencia psicológica, en caso necesario, e 4) inmediatamente se proporcionar algún alimento ligero, que no sólo sirve para reconfortar, sino también para hacer sentir a la población, desde el momento de su arribo al refugio temporal, que no están solos y que existe una institución que se preocupa para aliviar su penosa situación.
- *Manejo social y psicológico.* La vida en un refugio temporal masivo se puede describir como insatisfacción en el mejor de los casos. Las personas con muy diferentes orígenes y estándares de vida se ven forzados a vivir con otros. La conducta social varía con cada familia. Muchos damnificados se perturban por los efectos del desastre, la alteración de sus patrones de vida y la incertidumbre del futuro. Otros más pueden sufrir perturbaciones emocionales, psicológicas. Todo

ello es complicado por la naturaleza de la vida en el albergue temporal. La mayoría de los ocupantes terminan adaptándose a la vida en el albergue temporal. Sin embargo otros no se adaptan. Por esas razones es esencial establecer normas y reglamentos para la vida en común. El administrador debe tener el control inmediato del albergue temporal y debe controlar la conducta personal que genere alteraciones como: el comportamiento sexual, peleas, juegos de azar, tabaquismo, alcoholismo, y el empleo inapropiado de suministros. Entre las medidas que deben mantenerse permanentemente están los primeros auxilios psicológicos para personas que sufren reacciones más duraderas y graves, debidas al estrés.

- *Servicios médicos.* Deben tener la más alta prioridad en la distribución de los recursos. Las necesidades varían de acuerdo a la naturaleza y magnitud del desastre.

Para la adecuada operación de un albergue temporal, las funciones y responsabilidades del personal que labora en los albergues deben estar previamente definidos e identificados. En general, para la operación y administración de un refugio temporal, se requiere contar con el siguiente personal.

- Administrador o encargado del albergue temporal.
- Encargado o subjefe del albergue temporal.
- Encargado de trabajo social.
- Encargado de servicio de salud y enfermería.
- Encargado de vigilancia.
- Encargado de alimentación.
- Encargado de bodega.
- Encargado de recreación.
- Encargado de asistencia psicológica.

Finalmente la operación de albergues en caso de inundación, debe ser programada para un tiempo aproximado de duración. Es muy común que los albergues temporales tiendan a prolongar su operación por más tiempo que el necesario, lo cual puede generar una situación de dependencia de las personas respecto a la institución que presta el servicio, así como un retraso en la recuperación de la comunidad y en la de los damnificados.

Es imperativo tratar de volver a la normalidad lo más rápidamente posible. Toda y cada una de las áreas del albergue temporal deberán elaborar, al término de la operación, un informe general sobre sus respectivas actividades (para su posterior evaluación).

## **8. Nuevas tecnologías en materia de protección de zonas urbanas ante inundaciones.**

Las nuevas tecnologías aportan numerosos desarrollos eficaces a la hora de mejorar el trabajo de los servicios de prevención de catástrofes y emergencias. Evitar y prevenir inundaciones, sacar vivas a personas enterradas entre escombros, restablecer una red de telecomunicaciones tras un evento que permita conectarse con poblados aislados, localizar a personas accidentadas en zonas remotas. Todas estas acciones y otras más se han simplificado enormemente con la aparición de las nuevas tecnologías. Estas están siendo aplicadas a diario, e intensamente, desde los diversos centros de prevención y emergencias, tanto para educar como para controlar y actuar en caso de que lo requiera la situación.

### **8.1. Equipos y dispositivos de defensa contra inundaciones.**

#### **8.1.1. Potabilizador de agua de inundaciones.**

Se trata de un dispositivo que emplea energía para realizar electrolisis de una salmuera; el cual genera cloro directamente en el líquido, como resultado forma una sustancia llamada hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ), similar al que se vende en supermercados para desinfectar el líquido.

Este equipo cuenta con una pila de combustible encargada de atraer el oxígeno del aire y el hidrógeno (Subproducto de la electrolisis) para generar electricidad, lo que representa una innovación a diferencia de los métodos existentes en el mercado.

Así mismo, la implementación de la pila de combustible permite mantener un alto rendimiento en la conversión solar, pues la energía eléctrica generada por esta batería se reutiliza en una bomba hidráulica, cuyo proceso traslada la salmuera a la celda de electrolisis.

Cabe destacar que el equipo está diseñado para utilizarse en lugares remotos donde no existe cableado de energía eléctrica, es de fácil transportación.

El proyecto se encuentra en fase de primer prototipo, el cual es capaz de potabilizar agua para al menos 400 personas. Sin embargo se espera que una segunda generación doble la cantidad con un equipo de dimensiones idénticas.



Figura 8.1 Potabilizador portátil de agua de inundación.

### **8.1.2. Nuevas herramientas para llenar sacos de arena.**

Una de las maneras más comunes de crear rápidamente una barrera para contener las aguas de una inundación es la construcción de un bordo hecho con sacos de arena. En situación de emergencia, el tener la mayor cantidad de sacos de arena es importante cuando se recurre a este tipo de barrera. Por lo que, la capacidad para poder llenar cada saco de arena se vuelve primordial, ya que de eso depende la capacidad de respuesta ante una inundación inminente. (Ver sección 7.2.1) Por esa razón se presentan herramientas que permiten reducir el tiempo de llenado en los sacos de arena como innovación tecnológica.

#### **Herramienta manual (GoBagger).**

Es una herramienta innovadora, que funciona como un tipo de pala con forma de embudo. Permite llenar sacos de arena más rápida y eficientemente. Ofrece la ventaja de una herramienta manual, la cual por simplicidad permite su movilidad, además de la facilidad de uso, flexibilidad y velocidad de llenado de los sacos de arena. El producto está elaborado con resina de alta densidad y pesa aproximadamente 2.0 Kilogramos. Su precio es alrededor de 60 dólares y su publicidad asegura que con ésta herramienta es posible llenar sacos de arena 5 veces más rápido. Ver Figura 8.2



Figura 8.2. Herramienta GoBagger

### **Accesorio de maquinaria pesada (The SandMaster)**

La tecnología reemplaza la mano de obra, es un aditamento diseñado para adaptarse a distintas retroexcavadora o minicargadoras. Su capacidad permite llenar 6,240 sacos de arena en 8 horas. Este producto fue patentado por Joseph Hartley, y su fabricación se realiza en Estados Unidos de América. Ver Figura 8.3. (Para mayor información consultar Barrier Systems LLC).

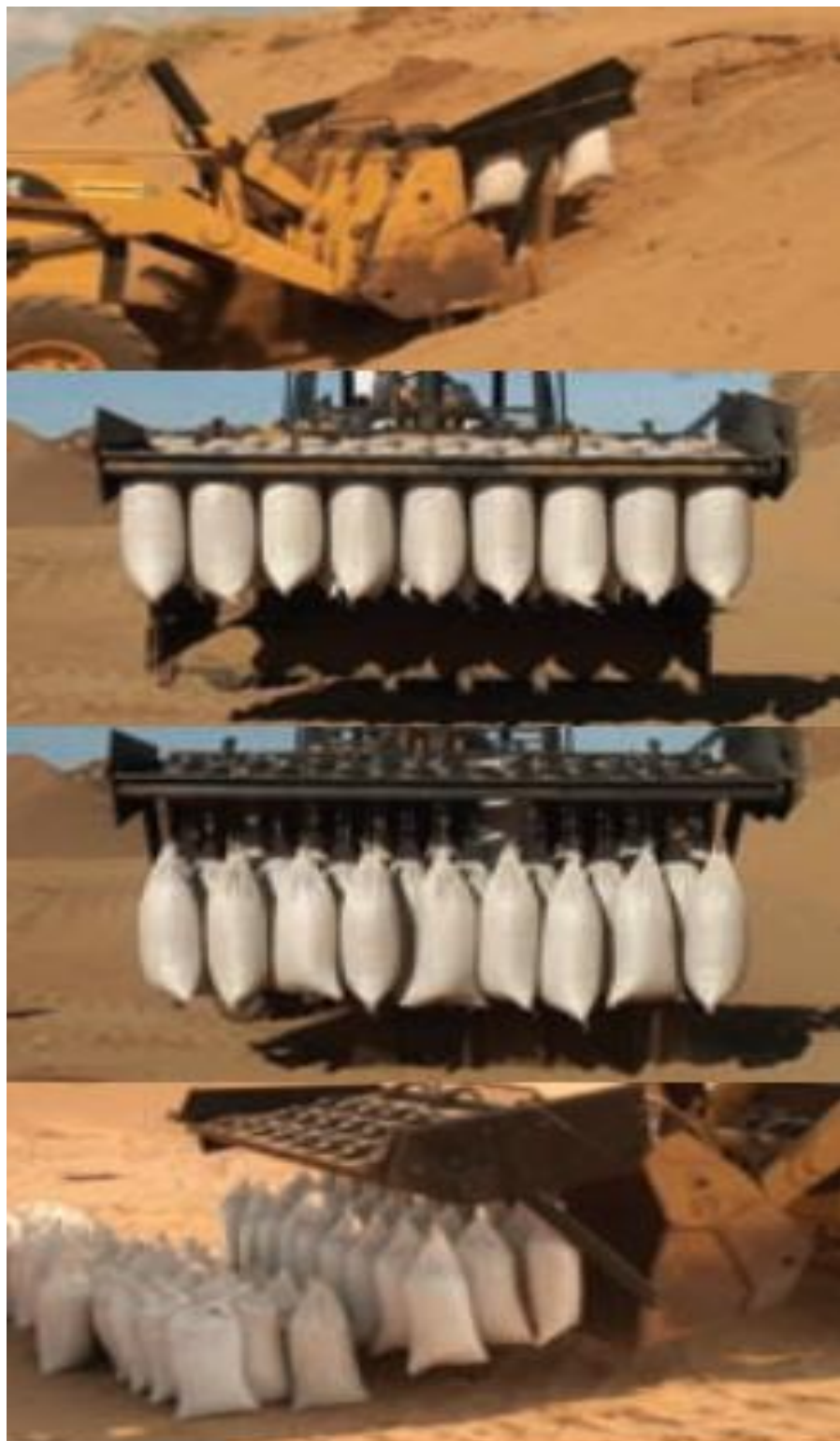


Figura 8.3. The Sand Master.

### 8.1.3. Bombas Flotantes.

La bomba flotante es un equipo único, con capacidades y aplicaciones inigualables por otros sistemas de bombeo, el equipo es una unidad operativa completa, diseñada para operaciones continuas, capaz de manejar grandes volúmenes de agua. La bomba puede ser instalada y puesta en operación en un periodo de tiempo corto, sin necesidad de obras civiles requeridas para otro tipo de bomba similar.

La bomba flotante es una herramienta extraordinaria para operaciones en zonas urbanas o rurales, donde es imposible o muy costosa una estación de bombas clásica, como son las aplicaciones para control de inundaciones, operaciones de emergencia, o bombeos temporales. Su diseño estructural y materiales están concebidos para operaciones continuas, por largos periodos de tiempo.

La bomba flotante es construida con elementos livianos altamente resistentes, requiriendo mantenimiento simples y de bajo costo. Para las bombas ETec, las cámaras de flotación están rellenas de espuma de poliuretano de baja densidad. Ver Figura 8.4. y se requiere un tirante de al menos 1.5 metros para el modelo más grande.



Figura 8.4. Bomba flotante ETec.

También existen bombas portátiles, que igualmente son flotantes, de inicio su diseño fue para el combate de incendios, aunque también sirve para el desalojo de agua de una zona inundada. Se presenta la bomba AQUAFast que es fabricada en Francia. Sus diferentes modelos permiten el desalojo de agua entre 150-1000 litros por minuto, trabajan con una profundidad mínima de dos centímetros. Para su operación se acopla a un motor de combustión interna de cuatro tipos con capacidad de 3.5 a 5 caballos de Vapor ( 3.65 kilo Watts) y su peso es de alrededor de 25 kilogramos. Ver Figura 8.5



Figura 8.5. Bomba Flotante AquaFast.

#### **8.1.4. Vehículos de rescate en zonas inundadas.**

##### **8.1.4.1. Autobús anfibia.**

Existen vehículos anfibios con gran aplicación en búsqueda y rescate en zonas inundadas, uno de ellos es el autobús anfibia. El autobús está basado aparentemente en una carrocería de autobús a la que se ha acoplado una superficie similar al casco de un barco, compuesta de aluminio de acero reforzado. Con la que las 15 toneladas de autobús pueden flotar en el agua. Una vez en el agua, un sistema de propulsión a chorro actúa a las órdenes del motor turbodiésel del autobús, impulsándolo a una velocidad máxima

sobre el agua de hasta 8 nudos, unos 15 km/hr. Puede navegar tanto en agua dulce como en agua salada. Ver figura 8.6.



Figura 8.6. Autobús anfibia.

#### **8.1.4.2. Lanchas.**

Las embarcaciones de rescate son uno de los vehículos socorridos para el rescate de personas que han sido afectadas por las inundaciones, existen gran cantidad de tipos de lanchas, los hay con remos, con motores de combustión, motores eléctricos, inflables, etc. En general cualquier lancha puede ser ocupada para rescate de personas en zonas inundadas, pero la mejor opción son lanchas o botes hechos de materiales resistentes a daños producidos por todo tipo de elementos urbanos sumergidos que normalmente podrían producir cortes o pinchazos en equipos inflables, así como la utilización de materiales aislantes de electricidad. Por ejemplo estas adaptaciones las tiene la lancha de rescate TK1. Ver Figura 8.7.



Figura 8.7. Lancha de rescate de inundación TK1.

#### 8.1.4.3. Helicópteros.

Un helicóptero es una aeronave que es sustentada y propulsada por uno o más rotores horizontales, cada uno formado por dos o más palas. Los helicópteros están clasificados como aeronaves de alas giratorias para distinguirlos de las aeronaves de ala fija, la principal ventaja de los helicópteros vienen dada por el rotor, que proporciona sustentación sin que la aeronave se esté desplazando, esto permite realizar despegues y aterrizajes verticales sin necesidad de pista.

Debido a las características operativas como son el aterrizar y despegar verticalmente, mantenerse volando en un mismo sitio por largos periodos de tiempo, así como las capacidades de manejo en condiciones a bajas velocidades ha sido elegido para llevar a cabo tareas que anteriormente no era posible realizarlas con otras aeronaves, o que hacerlo desde tierra resultaba muy lento o complicado. Hoy en día, los principales usos del helicóptero incluyen transporte, construcción, lucha contra incendios, búsqueda y rescate, usos militares o vigilancia.

Uno de los modelos utilizados en México, son los helicópteros EC-725 Cougar que tienen una capacidad para llevar hasta tres toneladas de peso y volar a una altura de 5 kilómetros sobre el nivel del mar, a una velocidad de más de 250 km/hr. La SEDENA

utiliza estos helicópteros en misiones de aplicación del plan DN III-E, evacuación de personas y transporte de abastecimientos. Ver Figura 8.8.



Figura 8.8. Helicóptero de rescate EC-725 Cougar.

#### **8.1.5. Dispositivos hidrométricos.**

Hasta hace poco, la forma en la que los instrumentos medían el caudal y la dinámica de la corriente había permaneció invariable. Las medidas del caudal se basan en medidores mecánicos de velocidad, que empleaban la fuerza del agua para hacer girar una hélice, método que se ha empleado desde principios del siglo pasado. Durante los últimos 20 años, la posibilidad de disponer de sistemas informáticos, electrónicos y con mejores baterías a precios reducidos ha conducido al desarrollo de instrumentos electrónicos para medir la velocidad, contribuyendo así al trazado de mapas de las condiciones hidrodinámicas de los ríos, algo que, anteriormente, hubiera sido imposible.

Hoy en día, los medidores electrónicos de velocidad que utilizan técnicas acústicas, de radar o por imágenes están revolucionando la medición de caudales del agua de la superficie y la dinámica de corrientes. En la mayor parte de emplazamientos de medida,

estos sistemas están reemplazando a los instrumentos mecánicos, convirtiéndose así en los instrumentos predilectos para medir la velocidad. Estos instrumentos ofrecen unas prestaciones superiores en términos de eficacia, rendimiento y seguridad. Además, los instrumentos electrónicos pueden medir velocidades más rápido en áreas más extensas, con una mayor resolución espacial y a un costo razonable que los instrumentos mecánicos previos.

La nueva y emergente instrumentación es capaz de medir características cinemáticas distribuidas espacialmente en dos y tres dimensiones y que pueden estar relacionadas con importantes aspectos morfológicos e hidrodinámicos de los cursos fluviales naturales. En algunos casos, como ocurre con los nuevos instrumentos basados en tecnologías de radar y de imágenes, el instrumento en sí no entra en contacto con el agua durante el proceso de medición. Por desgracia, ninguna de las guías de la OMW (Organización Meteorológica Mundial) menciona estas nuevas metodologías de medición.

Dos instrumentos electrónicos que permiten realizar la medición de velocidad son los perfiladores de corriente de efecto Doppler Acústicos y los velocímetros gráficos de partículas a gran escala, constituyen ejemplos de instrumentas nuevos y emergentes de medida de la velocidad que están cambiando el modo de medir los recursos hídricos de la superficie. Estos instrumentos pueden medir de forma eficaz las velocidades de los ríos que sean necesarias para comprender mejor los complejos procesos morfológicos, hidrológicos y ecológicos que afectan a los cauces fluviales, así como su interacción en condiciones normales y extremas. Ver Figura 8.9 y 8.10.



Figura 8.9. Caudalímetro de efecto doppler.



Figura. 8.10. PIV de gran escala.

#### 8.1.5.1. Estaciones meteorológicas.

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

Los instrumentos comunes y variables que se miden en una estación meteorológica incluyen:

- Termómetro, para la medición de temperaturas, en diversas horas del día.
- Barómetro, se realiza la medición de presión atmosférica.
- Pluviómetro, con el cual se realiza la medida de la cantidad de precipitación.
- Psicrómetro o higrómetro, medición de la humedad relativa del aire y la temperatura del punto de rocío.
- Piránometro, medición de la radiación solar (Directa y difusa)
- Heliógrafo, medida de las horas de luz solar.
- Anemómetro, medida de la velocidad del viento y veleta para registrar su dirección.
- Nefobasímetro, medida de la altura de las nubes, pero sólo en el punto donde éste se encuentre colocado.

La mayoría de las estaciones meteorológicas están automatizadas, y requieren un mantenimiento ocasional. Además, existen observatorios meteorológicos sinópticos, que sí cuentan con personal, de forma que además de los datos anteriormente señalados se pueden recoger aquellos relativos a nubes, visibilidad y tiempo presente y pasado. La recopilación de estos datos se denomina observación sinóptica.

Actualmente existen estaciones meteorológicas automatizadas que son portátiles en donde la serie más básica cuenta con sensores que miden el viento, presión, temperatura, humedad relativa y la precipitación. Además incluyen una entrada analógica/digital de 16 bits en caso de que se desee establecer una interfaz para sensores adicionales. Ver Figura 8.11.



Figura 8.11. Estación meteorológica portátil.

## **8.2. Materiales de construcción y sistemas de defensa para el control de inundaciones.**

### **8.2.1. Barreras semifijas Aquabarrier.**

Las barreras semifijas son diseñada como un sistema de defensa ante inundaciones, puede utilizarse para desviar el flujo pluvial de aéreas urbanas y de esta forma proteger a la población y las propiedades. La robustez del sistema hace que se pueda utilizar para prevenir la mayoría de las inundaciones. Son una alternativa a los métodos tradicionales

de estructuras fijas y cuenta con un sello hidráulico único de alta tecnología. Los sistemas de barreras semifijas son fáciles de transportar, se pueden montar y desmontar de forma rápida y también pueden permanecer como defensas fijas. Ver Figura 8.12.

Es un diseño estructural de alto desempeño que se incorpora a una plataforma de cimentación simple. Se sujeta mediante tornillos de acero inoxidable enganchados a dos canales de acero que corren a lo largo de la base de la barrera. Esta estructura proporciona resistencia adicional y aumenta significativamente el factor de seguridad para evitar el deslizamiento de la barrera. Conforme la inundación comienza a incrementar su nivel, los orificios localizados a tres diferentes alturas permiten la entrada del agua para sumar peso, lo que multiplica el lastre de la barrera.



Figura 8.12. Barreras semifijas Aquabarrier.

### **8.2.2. Barreras temporales Floodstop.**

Las barreras temporales son sistemas que permiten prevenir inundaciones de forma rápida y sencilla. Ayudan a proteger propiedades y terrenos, y permiten controlar el desbordamiento de ríos o afluentes. Son desmontables, reutilizables, se construyen en módulos flexibles. Además son fáciles de almacenar y ocupan poco espacio, su estructura permite que se apilen en bloques compactos para así reducir el espacio requerido. Se pueden aplicar en terrenos como: calles, pavimentos, pasto, arena o tierra firme. Ver

Figura 8.13. Su funcionamiento se realiza conforme el agua de inundación empieza a incrementar su nivel, esta ingresa por el orificio inferior de llenado, desalojando el aire por el orificio superior. La geometría de la barrera, y la suma del peso del agua en su interior mas el peso adicional de los candados de unión, hacen que el empuje del agua sea insuficiente para desplazar o voltear la barrera y que el empaque espumado adherido a la base de la barrera funcione como sello, minimizando las filtraciones hacia el área protegida. Las extremidades giratorias permiten la unión a paredes verticales y ajustarse a cualquier distancia de claro entre muros. En caso de requerir mayor resistencia se recomienda llenar con arena que servirá como lastre.



Figura 8.13. Barreras temporales Floodstop.

### **8.2.3. Sistemas modulantes AquaCell.**

El sistema AquaCell, es una técnica modular para la gestión de agua de lluvia que reduce el riesgo de inundación y de daños al medio ambiente. Se compone por una serie de cajones fabricados en polipropileno que son ligeros, resistentes, versátiles y proporcionan un volumen hueco del 95%, cada unidad acumula 185 litros. Estas unidades están firmemente unidas entre sí mediante unas grapas especiales y conectores verticales.

Pueden ser montados rápidamente en la obra con una configuración variable dependiendo de las necesidades de cada lugar.

Este sistema de cajones forma una estructura subterránea que permite almacenar de forma correcta el exceso de agua provocado por la lluvia, ya sea como un tanque de almacenamiento temporal o un tanque de infiltración.



Figura 8.14. Sistemas modulantes AquaCell.

#### 8.2.4. Sistema de defensa BB95.

El sistema de defensa Big-Bag95 es el producto de elección para la mayoría de las organizaciones municipales de Europa, Asia y Estado Unidos, que están involucrados directamente en la gestión de desastres provocados por las inundaciones.

La razón de elección de este tipo de protección es debido a la simplicidad del producto y su diseño tipo acordeón que proporciona una barrera, con respuesta rápida para situaciones de inundación. Tiene repelente de agua en uno de sus lados. Además, para permitir el drenado del agua proveniente de la lluvia tiene un componente de filtración con el fin de mantener la integridad de la barrera en todo momento.

El BB95 se fabrica a partir de un tejido de polipropileno muy sólido. Cada sistema cuenta con cinco celdas individuales, las dimensiones de cada celda es de (0.9x0.9x0.9) metros, la longitud total de un sistema (totalmente expandido) es de 4.5 metros. Cada celda tiene una capacidad de 0.73 metros cúbicos que en total en el sistema corresponde a 3.65 metros cúbicos. Fácil unión por medio de tornillos para un conjunto de sistemas de protección. Además destaca su fácil limpieza ya que cada celda puede ser retirada individualmente.

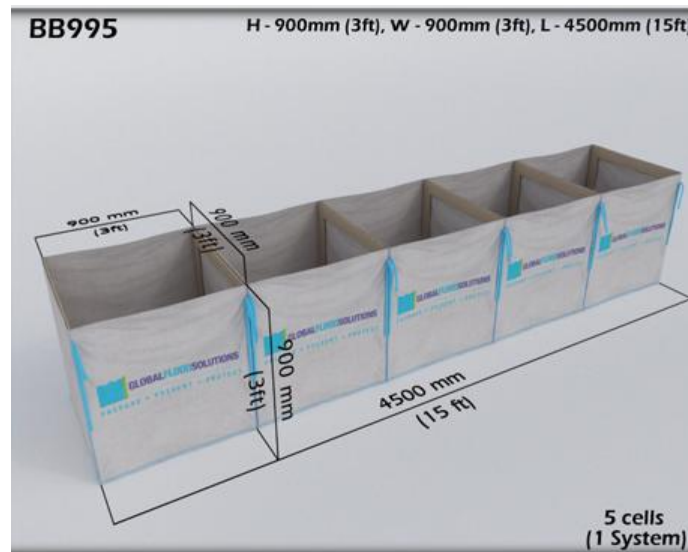


Figura 8.15. Sistema de defensa BB95

En situación de inundación, el sistema Big-Bag95 puede ser llenado con muchos tipos diferentes de material de relleno granular. La arena es la opción preferida para el material de relleno, ya que logra la mejor compactación.

Comparando con los sacos de arena, el sistema BB95 para su ensamble sólo se necesita de algunos minutos. El sistema extendido de BB95(4.5m) es el equivalente a 670 sacos de arena. La arena usada en el sistema puede ser reciclada y puede ser usado como un bordo permanente.



Figura 8.16. Deventer, Holanda (2011)

#### **8.2.5. Sacos de arena instantáneos.**

Los sacos de arena instantánea están hechos de yute junto con una capa delgada de algodón y contiene un gel absorbente de agua. Para activación del saco de arena, es necesario sumergirlo en agua durante unos tres minutos y éste crecerá de tamaño. El tamaño de cada saco de arena instantáneo es de 35cmx40cmx0.8cm, éste dispositivo se vende en cajas de 10 unidades. El uso de un saco de arena instantáneo es fácil y puede resultar una importante defensa alternativa a los tradicionales sacos de arena. Su peso inicial es de alrededor de 0.5 kg, una vez activado alcanza un peso de entre 12 a 15 kg con una dimensión de 35cmx40cmx15cm. Ver Figura 8.17.



Figura 8.17 Sacos de arena instantáneos.

### 8.2.6. Los geosintéticos

Los geosintéticos son un grupo de materiales fabricados mediante la transformación industrial de sustancias químicas denominadas polímero, que de su forma elemental de polvos o gránulos, son convertidos mediante uno o más procesos, en laminas, fibras, perfiles, películas, tejidos, mallas, etc. Son utilizados para mejorar las propiedades del suelo, ya que poseen propiedades mecánicas e hidráulicas útiles para ciertos tipos de suelos.

Los materiales geosintéticos pueden clasificarse en geotextiles, geomallas, geomembranas, geoceldas, etc.

Los geotextiles son mallas de fibras o hilos tejidos, no tejidos, atados o cosidos. Las mantas son flexibles y permeables y generalmente tienen la apariencia de un tejido. Los geotextiles son usados en aplicaciones de separación, filtración, drenaje refuerzo y control de erosión.

La función de separación tiene por objeto evitar de forma permanente el contacto entre dos superficies de diferentes propiedades físicas, impidiendo su mezcla y evitando que se contaminen, pero sin impedir el libre flujo de fluidos a través de la barrera creada.

La filtración se puede definir como la retención de partículas sujetas a fuerzas hidrodinámicas mientras permite el paso de fluidos. La misión es garantizar la estabilidad hidráulica del filtro. Se debe evitar la colmatación del geotextil.

Se podría definir drenaje como el proceso de transmisión de un fluido desde una localización a otra, es decir, la evacuación del fluido por el interior del geotextil, en el plano del geotextil.

La función de refuerzo tiene como misión el usar las propiedades de tracción del geotextil para mejorar las propiedades mecánicas y disminuir el nivel de cargas sobre el terreno, todo ello al repartir y homogenizar las cargas sobre una superficie mayor. Se pueden considerar dos tipos de refuerzo: estabilización del suelo como consecuencia del confinamiento de partículas de suelo eliminando el agua por subpresión, y refuerzo en tracción anulando las fuerzas de vuelco como por ejemplo en muros de contención intercalando capas de geotextiles hacia el interior del muro.

La protección es otra de las funciones de los geotextiles por lo que éstos actúan previniendo el deterioro de un sistema geotécnico y protegiéndolo de forma permanente. Un ejemplo es la protección con geomembranas, utilizadas como sistemas de impermeabilización, frente a los daños mecánicos, tanto al punzonamiento como a la abrasión.

Las geomallas son materiales geosintéticos que tienen una apariencia de malla abierta. La principal aplicación de las geomallas es el refuerzo de suelos.

Las georedes son materiales tipo malla abierta formados por dos conjuntos de hebras poliméricas gruesas y paralelas interactuando en un ángulo constante. La malla forma una manta con cierta porosidad que es usada para llevar relativamente grandes cantidades de fluido.

Geomembranas son láminas continuas y flexibles. Elaboradas de una o más materiales sintéticos. Éstos son relativamente impermeables y son usados como revestimientos de contenedores de fluidos y gases y como barreras de vapor.

Geoceldas son redes tridimensionales relativamente gruesas construidas por tiras de planchas de polímeros. Las tiras son juntas para formar celdas interconectadas que son rellenas con suelo y ocasionalmente concreto. En algunos casos las geoceldas han sido conectadas con barras verticales de polímero para formar estratos profundos de geoceldas llamados geocolchones.

Los geotubos forman una pared de seguridad entre los canales de inundaciones y la tierra ocupada. El producto puede ahorrar tiempo y dinero comparando con productos convencionales. (Sacos de arena)

Los geotubos es un producto que utiliza una fuente de agua disponible para contener y controlar las inundaciones. Lo único que se tiene disponible en una inundación es agua, lo cual se aprovecha éste material para construir bordos con geotubos, se pueden construir rápidamente con sólo dos personas y una bomba. Con esto permite colocar una gran cantidad de presas de geotubos con recursos limitados. Ver Figura 8.18



Figura 8.18 Geotubos para el control de inundaciones.

### **8.2.7. Casas flotantes.**

Son casas anfibias, utilizan una cimentación basada en unos pilotes muy especiales que evitan el movimiento horizontal dentro de un vaciado en el terreno, de tal manera que cuando las aguas inundan esa piscina, la casa comienza a flotar según el nivel de la inundación.

Las casas flotantes están diseñadas sobre un tipo de embarcación o casco, hecho de acero, madera, materiales plásticos, ferrocemento, etc, llamados pontones. Están unidos por costillas longitudinales y transversales del mismo material que separan dos cascos dejando un espacio a rellenar (poliuretano).

De esta forma se logra una estructura muy segura, además de liviana, muy bien aislada y con espacio habitable dentro del casco.



Figura8.19. Casa flotante.

### **8.3. Tecnologías informáticas y de comunicación.**

#### **8.3.1. Percepción remota.**

El concepto de percepción remota o teledetección hace referencia al conjunto de técnicas que permiten la observación de las propiedades de determinados objetos a distancia. Hoy en día, el significado más común del término hace referencia a las imágenes captadas desde un avión o satélite, especialmente éstas segundas y a los procesos de obtención, tratamiento y uso de la información registrada.

En los últimos años, la evolución tecnológica está permitiendo conseguir niveles de definición muy elevados en las imágenes captadas por sensores en plataformas orbitales y todo indica que pronto se conseguirá equipar ésta definición a la de la fotografía aérea convencional. Éste aspecto tiene consecuencias destacadas para el estudio de las inundaciones y su cartografía de riesgo, ya que una mayor definición en las imágenes permitirá una mayor apreciación de detalle de las características, el comportamiento y los efectos de éste tipo de fenómenos, y profundizar en el estudio de la presencia del ser humano sobre el territorio y la eficacia de sus estrategias de adaptación.

La fotografía aérea ofrece muchas posibilidades para el estudio de las inundaciones, en general es una fuente de información destacada para la confección de mapas de riesgo de inundación. Por su parte, las imágenes satelitales enriquecen la elaboración de la cartografía de riesgo contribuyendo por ejemplo, al seguimiento en el tiempo de las modificaciones de un río, hecho que permite caracterizar su curso y describir su dinámica. Éste tipo de imágenes ha servido también como soporte para el desarrollo de planes de ordenamiento territorial y para el estudio de la evolución de los cambios en los usos del suelo en áreas potencialmente inundables. Contrastando los datos captados antes y después de una inundación, se podría conocer los cambios que el fenómeno ha ocasionado en la topografía del terreno y así evaluar su impacto. .

#### **8.3.2. Imágenes satelitales.**

Existe una infinidad de aplicaciones para las imágenes satelitales, especialmente dentro de un sistema de información geográfica, entre ellos están la cartografía, planificación urbana, agricultura, desastres naturales, etc.

Entre las aplicaciones más implementadas se encuentra la prevención de desastres naturales y la coordinación de una respuesta rápida cuando han ocurrido. También la

evaluación de daños se puede revisar con éste tipo de herramienta. Ver Figura 8.20. Por ejemplo en México la Secretaría de Gobernación ha solicitado la revisión por medio de imágenes de satélites del área inundada en Tabasco, con el propósito de otorgar ayuda económica a los damnificados de las inundaciones ocurridas en Noviembre del 2007.

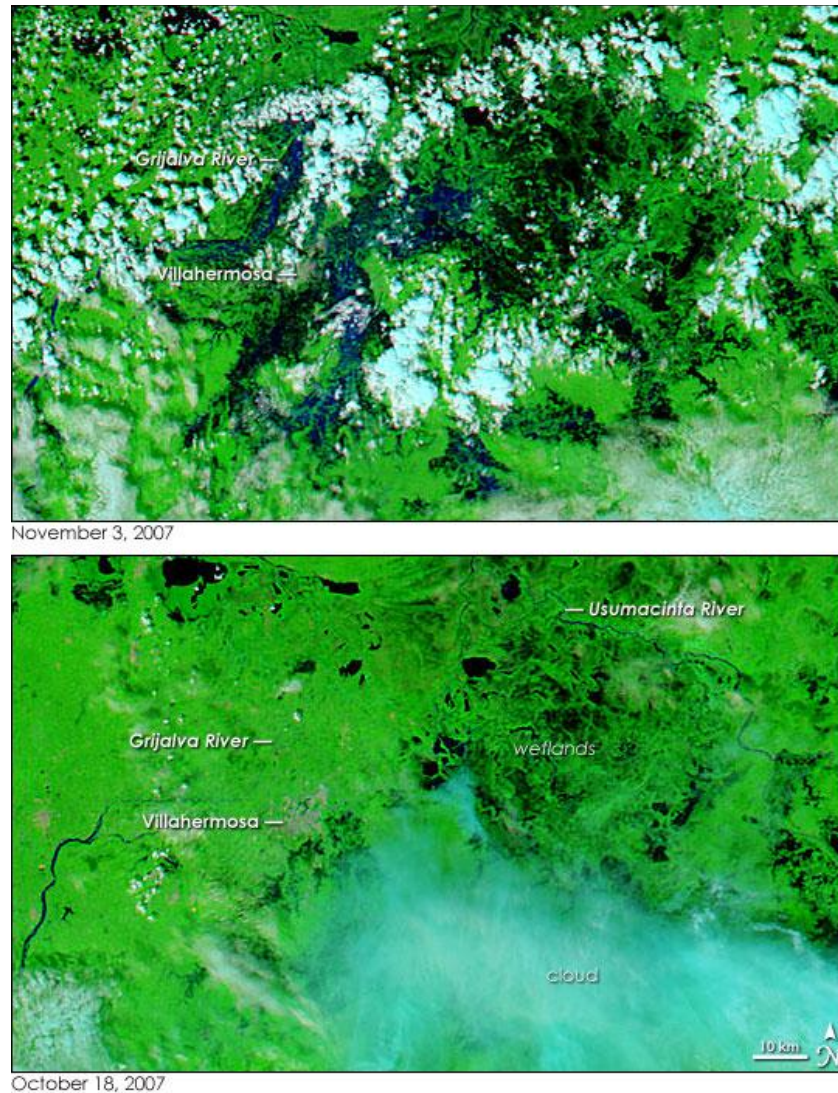


Figura 8.20. Inundaciones en Tabasco Noviembre 2007.

La prevención de inundaciones por medio de imágenes satelitales tiene como punto de partida los datos sobre las corrientes fluviales y de escurrimiento, así como las imágenes de los terrenos. Con el propósito de desarrollar modelos de pronóstico de inundaciones se analizan los mapas de los niveles alcanzados por el agua en diversas épocas. El tratamiento de estas imágenes se realiza mediante algoritmos matemáticos, con el cual se

permite la obtención directa de información sobre los niveles fluctuantes del agua. Al combinar esos análisis parciales o locales con modelos globales de pronóstico de inundación, se puede proporcionar mejores estimaciones de los cambios en los flujos de aguas fluviales.

También sirve para revisar los cambios fluviales de un cauce a través del tiempo, para crear una imagen de detección de cambios se aplican algoritmos especiales a dos imágenes de satélite de la misma zona, tomados en momentos distintos. El ordenador examina todos y cada uno de los píxeles de las dos escenas para determinar qué valores han cambiado. Ver Figura 8.21

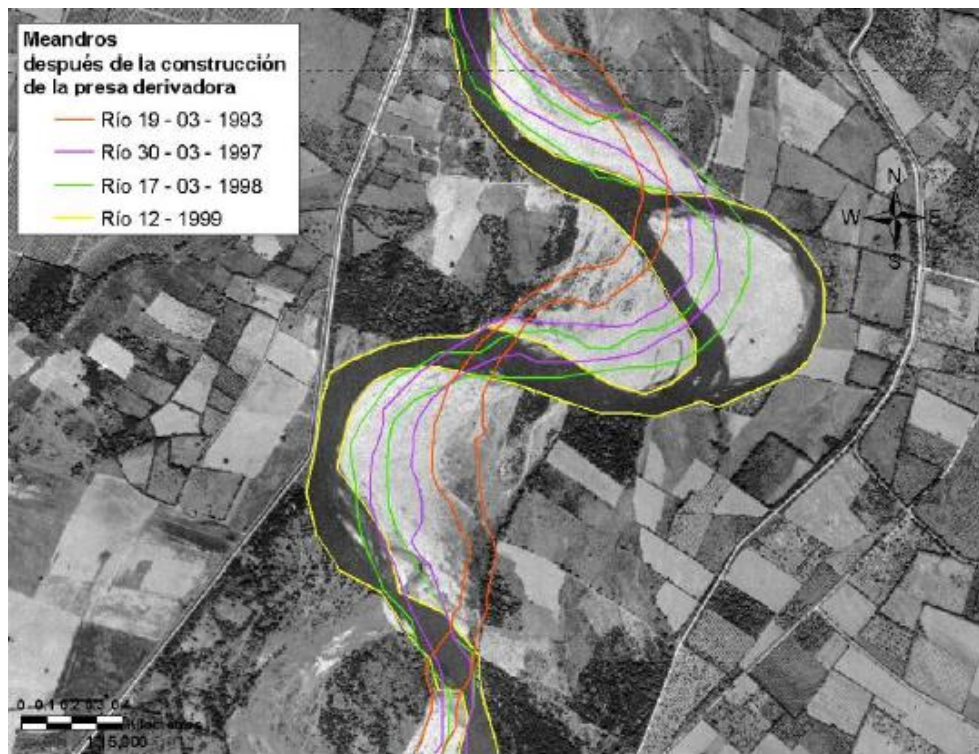


Figura 8.21. Morfología del río Verde, aguas debajo de la presa Ricardo Flores Magón.

Otra aplicación es la estimación de precipitación utilizando las imágenes de la banda infrarroja de satélites geostacionarios. Ésta técnica consiste básicamente en:

- Detectar y discriminar las nubes tipo cirrus,
- Detectar los toques que tienen las condiciones de una tormenta convectiva.
- Estimar la intensidad de la precipitación y el área que abarca dicha tormenta.

- Estimar la intensidad y el área de la zona de lluvia no convectiva que se presenta alrededor de las tormentas convectivas.
- Estimar la intensidad y área de la lluvia probable debajo de las nubes tipo cirrus en las cercanías de las tormentas convectivas.

La intensidad de una tormenta convectiva depende principalmente de la temperatura de la nube, y se obtiene en calibraciones previas. Para los otros tipos de lluvia, no convectiva y debajo de cirrus, la intensidad se considera una constante por calibrar. En todos los casos, los coeficientes calibrados dependen del tipo de sistema meteorológico, la región climatológica y la época del año.

En México se desarrolló un sistema llamado EPPrePMex, cuyo objetivo es la estimación y pronóstico de precipitación pluvial, de ahí su nombre. En un principio se enfocó al análisis de ciclones tropicales utilizando imágenes de satélite geoestacionarios. La versión actual puede estimar precipitación para distintos sistemas meteorológicos (Ciclones, sistemas de mesoescala, tormentas aisladas, etc) con las imágenes de satélite y de radar. El sistema ha sido comparado por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) con otros algoritmos que también estima lluvia, y los resultados han sido favorables. Ver Figura 8.22

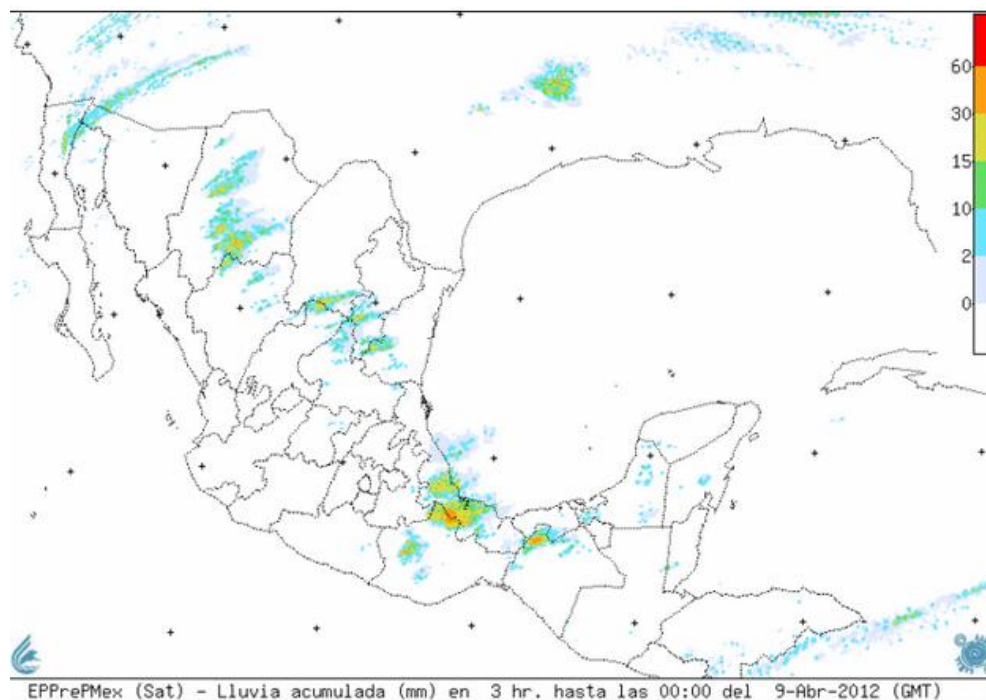


Figura 8.22. Estimación de lluvia con satélite a tiempo real.

### 8.3.3. Tecnología LIDAR. (Light Detection and Ranging)

Es una tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. Al igual que ocurre con la tecnología de radar, donde se utiliza ondas de radio en vez de luz, la distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada. En general, la tecnología LIDAR tiene aplicaciones básicamente en la determinación de modelos digitales de terreno (MDT), que sirven para conocer aspectos como la elevación de cualquier punto, la pendiente, los desniveles, las áreas factibles de inundación, los puntos de visión, los volúmenes de tierra, las cuencas, subcuencas, entre otros, por lo que se convierten en una fuente de información de gran utilidad en estudios del medio ambiente, hidrológicos, de agricultura, forestales, de energía, de zonas de riesgo, de telecomunicaciones, infraestructura, entre otros. Estos modelos pueden visualizarse y procesarse en aplicaciones informáticas como los sistemas de información geográfica (SIG). Ver Figura 8.23

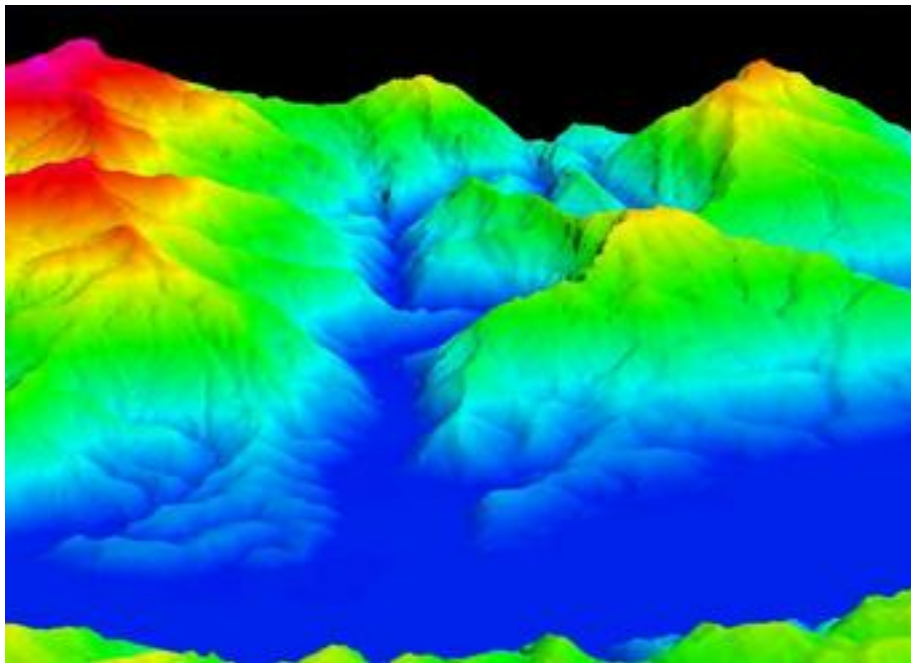


Figura 8.23. Modelo digital del terreno LIDAR (Chiapas).

#### **8.3.4. El RADAR meteorológico.**

El sistema RADAR cuyas siglas vienen de Radio Detection And Ranging, que se define como sistema de radiodeterminación basado en la comparación entre señales radioeléctricas reflejadas o transmitidas desde la posición a determinar, en otras palabras, el principio de funcionamiento de un radar es la transmisión de una señal de radiofrecuencia que incide en un objeto llamado blanco, el cual refleja la señal en varias direcciones, una porción de ésta señal (eco) es captada por un receptor que puede ser la misma antena de transmisión, que se encarga de filtrar la señal de un cierto ruido, amplificarla y procesarla para obtener información. Al medir el tiempo entre la señal transmitida y la recibida así como por la posición de la antena, se puede determinar la posición exacta del blanco. El nivel de señal recibida proporciona la intensidad de reflectividad y por tanto el tipo del blanco.

El Radar Meteorológico se emplea para la medición y seguimiento de fenómenos atmosféricos constituidos por agua, en forma de lluvia, granizo y nieve principalmente. La ventaja de un radar meteorológico es equivalente al empleo de cientos de pluviómetros distribuidos a lo largo de la zona de cobertura del radar, que transmiten la información en tiempo real. El radar tiene además la posibilidad de realizar estudios de volumen de la nube, a diferentes cortes o secciones, así como de dar seguimiento y estudio de fenómenos severos como huracanes. El radar meteorológico es sin duda una valiosa herramienta con tecnología de punta con que cuentan los Meteorólogos para realizar los pronósticos del tiempo.

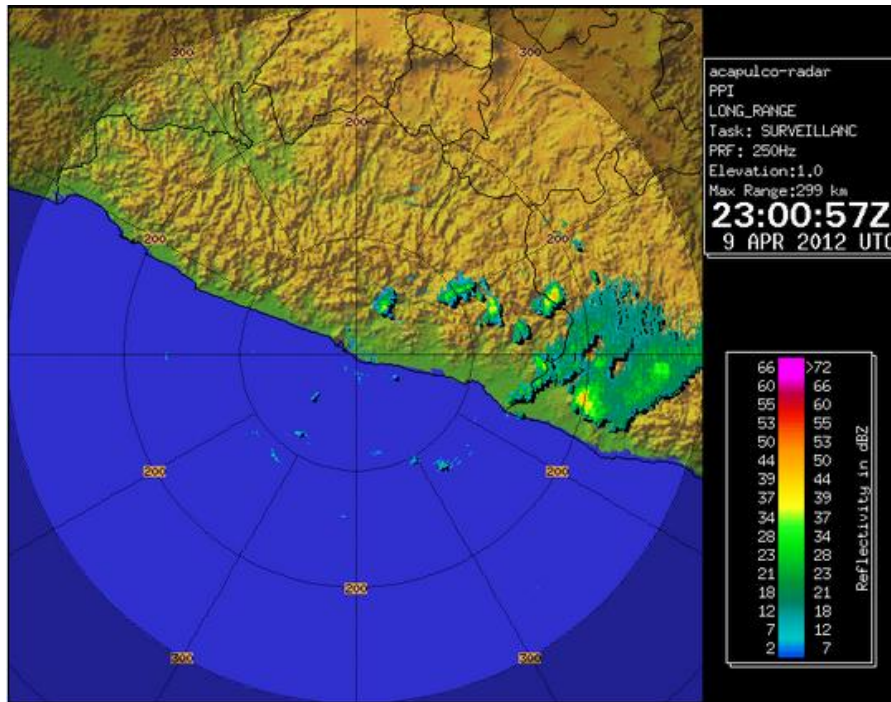


Figura 8.24. Radar meteorológico ubicado en Acapulco Guerrero.

La Red Nacional de Radares Meteorológicos está formada por 13 radares; todos están provistos con el sistema Doppler, lo que permite conocer la velocidad y la dirección del blanco



Figura 8.25. Red Nacional de Radares Meteorológicos.

Todas las estaciones de Radar cuentan con un sistema ininterrumpible de energía, sistema de protección contra incendios y un sistema de comunicaciones con el centro colector de datos que se encuentra ubicado en las instalaciones del Servicio Meteorológico Nacional en la Ciudad de México, en donde se analiza, se procesa y se almacena toda la información. La red proporciona una cobertura aproximada del 70% del Territorio Nacional.

### **8.3.5. Sistemas de Información Geográfica. (SIG).**

Es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográfica referenciada, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión geográfica. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestres y construidas para satisfacer unas necesidades concretas de información. En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada.

Los sistemas de información geográfica pueden ser utilizados para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, evaluación de impacto ambiental, planificación urbana, la cartografía, gestión de riesgos, etc. Por ejemplo la utilización de SIG para la simulación por medio de sistemas computacionales de inundaciones en zonas urbanas, que permitan realizar mapas de riesgos, o políticas de ordenamiento territorial (Ver Sección 6.1.5).

### **8.3.6. Herramienta Ras Mapper de Hec-RAS.**

HEC-RAS. (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) es un programa con el que se calculan perfiles de flujo, bajo la hipótesis de flujo unidimensional. Los módulos que integran al programa permiten calcular perfiles de flujo en régimen permanente, no permanente, transporte de sedimentos, así como el análisis de calidad del agua. El programa fue desarrollado por el cuerpo de ingenieros de la armada de Estados Unidos (US Army Corps of Engineers) con la finalidad de realizar la gestión de ríos, puentes y otras obras bajo su jurisdicción. Es una herramienta que permite realizar cálculos hidráulicos de flujo de agua en 1D sobre ríos o canales, puentes, alcantarillas, etc. Para el cálculo de flujo permanente se basa en la ecuación de energía unidimensional, y para el

caso de flujo no permanente resuelve la ecuación completa de Saint Venant utilizando un método implícito de diferencias finitas. Permite la visualización gráfica de datos y resultados así como la edición de secciones transversales. Actualmente en su versión 4.1 incluye una herramienta llamada RAS Mapper con la cual se puede visualizar mapas de inundación directamente en la plataforma HEC- RAS. Para utilizar ésta herramienta es necesario tener el modelo digital del terreno en formato (.flt).

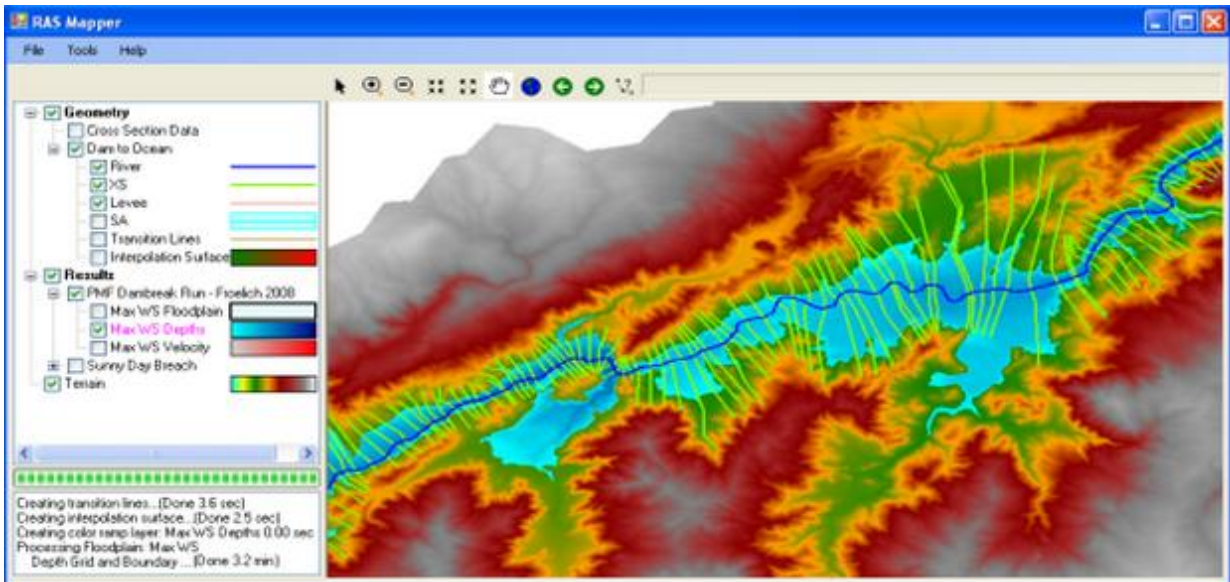


Figura 8.26. Herramienta RAS Mapper de HEC-RAS

### 8.3.7. Sistemas de comunicación y los teléfonos móviles.

Cuando un desastre natural ha tenido lugar, el tipo de tecnología que se necesita es completamente diferente a la que se utiliza para la prevención. En estos casos, es importante recuperar en la medida de lo posible un estado de las cosas similar al anterior a la catástrofe.

En principio se pueden diferenciar dos grupos de trabajo en una zona de desastre, los equipos de rescate que llegan pocas horas luego de ocurrida la primera alarma y los equipos de ayuda humanitaria, que arriban luego y permanecerán en el área por varias semanas. La tarea de los equipos de rescate es asistir a las víctimas en las primeras horas luego ocurridas el desastre. Una vez que la situación ha sido medianamente controlada pasarán a escena los equipos de ayuda humanitaria.

Para poder mantener un contacto rápido y eficaz con los servicios de salud y el personal de ayuda local, así como con las organizaciones gubernamentales, no gubernamentales, privadas e internacionales implicadas en la ayuda, es esencial disponer de un servicio de comunicación adecuado para los casos de emergencia.

Las necesidades de los equipos de rescate y los equipos de ayuda humanitaria son en ciertos aspectos similares, pero las necesidades operativas de ambos tipos de organizaciones son bastante distintas.

Así, resulta fundamental rearmar una estructura de sistemas de comunicación que permita poner en contacto a los servicios y organizaciones de ayuda con las zonas y las personas afectadas.

#### **8.3.7.1. Comunicaciones por radio.**

En las situaciones de desastre, los sistemas de radio ofrecen muchas ventajas. Sin embargo, aunque sus costos de funcionamiento son bajos, la instalación y el mantenimiento de sistemas eficaces pueden generar gastos elevados. En la mayoría de los países, los servicios de bomberos y de urgencias médicas, el ejército, la policía y otras instituciones relacionadas mantienen cierto tipo de enlace radiofónico, aunque los sistemas suelen funcionar de forma independiente. El sector salud debe asegurar su conexión con el sistema o sistemas nacionales, aprovechando la experiencia técnica del personal capacitado.

En estos casos el desarrollo de la tecnología móvil ha resultado de una gran ayuda, ya que al basarse en la transmisión inalámbrica de una señal por antenas dispersas, y no en un tendido de cable continuo, es más fácil que se preserve parte de la infraestructura. Además al ser una tecnología de gran escalabilidad (que permite trabajar creando redes crecientes) es muy idónea para enviar a la población afectada una misma instrucción o alerta de manera masiva e instantánea. Es así como se han realizado numerosas comunicaciones durante una inundación, por ejemplo las inundaciones del 23 de agosto de 2005 en Alemania, los mensajes SMS y las llamadas por telefonía móvil fueron fundamentales para poner en contacto a las personas con sus familiares y mantener la situación bajo control.

### **8.3.7.2. Antenas WiMax.**

Pero para una zona devastada por una inundación, es fácil que apenas queden infraestructuras de telefonía móvil en pie, por lo que habrá que reconstruir una red de comunicaciones desde cero. Una de las alternativa que se recomiendan son las antenas WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Acces) es el nombre comercial, es una antena de transmisión de datos inalámbrico que va un paso más allá de WiFi. WiMax tiene una velocidad de 70 megabits por segundo, y con una sola antena puede cubrir un área de 50 kilómetros a la redonda, frente a los 300 metros de Wifi. Es decir, WiMax emite una señal de internet a una amplia zona, pudiendo llegar así a áreas aisladas donde haya ordenadores conectados.

### **8.3.7.3. Redes sociales en internet.**

Completando a una posible comunicación por antenas WiMax, una vez establecido el servicio de internet, existen las redes sociales como Facebook o Twitter, que son herramientas de comunicación que facilitan la difusión de la información y el contacto entre las personas, a través de grupos y mensajes alusivos a la catástrofe. Además de poder albergar sitios donde se centraliza información sobre personas desaparecidas, encontradas, estados de los caminos, puntos de abastecimiento, entre otros. La colaboración de todos los usuarios de internet ayuda a la difusión de la información. Por ejemplo Google lanzó una página para encontrar personas desaparecidas en los sismos ocurridos en Haití y Chile en el 2010, la generosidad también hizo su aparición a través de la red, y rápidamente se crearon grupos en las redes sociales y páginas de internet que llamaban a efectuar donaciones a los afectados por las catástrofes mencionadas. Además es posible que las víctimas puedan pedir ayuda y todo lo que necesiten vía web, a través de los ordenadores que se tengan en los centros de ayuda o incluso por medio de teléfonos móviles, ya que una vez que se tengan las peticiones, éstas puede ser enviadas a los gobiernos locales y federales, así como las organizaciones de ayuda, para que así les puedan proveer lo que necesitan las víctimas del desastre natural.

### **8.3.8. Proyecto IMPRINTS**

La directiva europea impulsa medidas efectivas de tipos no estructurales, que hacen referencia más a la gestión adecuada de los embalses, a la planificación de uso de las zonas inundables, a la gestión del riesgo, a la utilización de sistemas de previsión hidrometeorológica y a la generación de protocolos de actuación en situaciones de emergencias.

Este nuevo enfoque, en que se prioriza la preservación del medio ambiente, es en el cual incide el proyecto IMPRINTS, que es efectuado por el centro de investigación aplicada en hidrometeorología de la universidad politécnica de Cataluña.

El proyecto IMPRINTS utilizará las últimas herramientas tecnológicas que permiten mejorar la gestión del riesgo, desarrollar sistemas de previsión y de alerta temprana de situaciones con riesgo de inundaciones, que serán fundamentales para ganar tiempo e incrementar la seguridad de la población. El objetivo es comprender mejor los fenómenos que dan lugar a inundaciones y movimientos de tierra repentinos y prever éstas situaciones para poder tener más tiempo de actuación.

En el proyecto participan 19 entidades públicas y privadas de España, Suiza, Reino Unido, Italia y Holanda, con la colaboración de universidades de Sudáfrica y Canadá.

### **8.3.9. Juego de simulación ¡Alto a los Desastres!**

Éste juego fue elaborado por la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las naciones unidas. Cuya función consiste en plantear y construir un entorno seguro para su población. Se debe evaluar el riesgo de que ocurra un desastre. El objetivo del juego es salvar vidas. Se escoge un sitio y a través de acciones estructurales (barreras y viviendas reforzadas) en la comunidad, se pretende prevenir un desastre inevitable.

El acceso al juego es gratuito y se encuentra en la siguiente dirección electrónica. <http://www.stopdisastersgame.org/es/home.html>, el juego se ejecuta en una ventana del navegador de internet. Para la ejecución del juego es necesario un navegador actualizado, con Flash Player en versión 7 o superior.

La duración del juego va de entre 10 a 20 minutos, en función del tipo de destre que se quiera prevenir y del nivel de competencia del jugador (fácil, intermedio, difícil). Hay cinco

desastres posibles los cuales son: inundaciones, tsunamis, terremotos, incendio forestal y ciclón.

El principal grupo destinado de éste juego son los niños de 9 a 16 años de edad, pero cualquiera puede jugar el juego y disfrutarlo, y todos pueden aprender más acerca de la prevención de desastres. El juego está concebido para un solo jugador, pero los niños pueden jugar en grupo en el aula y debatir sobre las mejores decisiones que deben tomarse.



Figura 8.27. Juego de simulación ¡Alto a los desastres!

En cada escenario el jugador dispone de un determinado presupuesto económico y 25 minutos de tiempo para crear un entorno lo más seguro posible para la población. Aprender a gestionar los recursos naturales, hacer mejoras a casas, organizar las ayudas médicas, almacenar agua y crear barreras contra inundaciones son algunas opciones que el jugador tiene a su disposición para prevenir el desastre, minimizar sus daños y conseguir el objetivo final: evitar las pérdidas de vidas humanas.

Cada vez que se juega los acontecimientos pueden desarrollarse de forma ligeramente diferente, de modo que las elecciones de prevención y protección no dependen sólo de la disponibilidad económica, sino también de la capacidad y a menudo, del sentido común del jugador. El juego demuestra que evitar las catástrofes no significa sólo invertir en costosas infraestructuras, sino actuar de acuerdo con la naturaleza, respetando las condiciones ambientales del lugar amenazado.

## **9. Acciones para mejorar la gestión, manejo y control de las inundaciones.**

La pérdida de vidas humanas a causa de las inundaciones, se ha reducido, esto se puede atribuir a la correcta implementación de medidas de prevención y control de inundaciones en los países desarrollados. Mientras esto es alentador, en los países en desarrollo las muertes y daños que producen las inundaciones son desproporcionadas y se refleja en el sector más pobre de las sociedades, particularmente en las mujeres y los niños. El incremento de ésta exposición se atribuye a las acciones incorrectas de gestión, planeación y ordenamiento de las áreas urbanas, además de desconocer el origen de las inundaciones y poca sensibilidad de peligro por parte de las personas que se encuentran expuestas.

Como se ha estudiado en el control y manejo de las inundaciones las medidas típicas se describen como acciones estructurales o no estructurales. El objetivo de las acciones estructurales es reducir el riesgo de inundación, mediante el control del flujo y desalojo del agua en el medio urbano, estas acciones son complementarias de las acciones no estructurales que intentan mantener a la población a salvo de las inundaciones a través de planes y programas para el adecuado desarrollo urbano. Una estrategia para el manejo integral de las inundaciones debe unir los planes, políticas y prácticas existentes. Las acciones estructurales y no estructurales no deben excluirse unas a otras, la mejor estrategia debe combinar ambos tipos de acciones.

La gestión de inundaciones significa ocuparse de las necesidades de protección de las áreas susceptibles de inundación. Una definición técnica puede ser: “el proceso de decisión, que hace uso de todo tipo de medios posibles para controlar un sistema de protección de inundaciones, de tal manera que se logren objetivos sociales, económicos y ambientales”. El propósito fundamental es lograr la seguridad contra las inundaciones, para el ser humano, sus bienes, recursos y medios de producción, esto con la intervención mínima posible en el medio ambiente natural. El control de las inundaciones es una de las múltiples tareas de la gestión de los recursos hidráulicos, estas labores se incluyen en los planes de recursos hidráulicos como ya se ha mencionado en el capítulo 6.

Dicho lo anterior, es urgente la necesidad de plantear un conjunto de acciones y acuerdos para la adecuada gestión del riesgo de inundación. Estas acciones deben incluir un conjunto de estrategias, leyes, reglamentación, estudios, diseños, investigaciones, instrumentación y recolección de datos para mejorar las acciones y minimizar los daños que ocasionan las inundaciones. Como resultado del trabajo que se ha desarrollado, se presentan un conjunto de acciones que pueden ayudar a mejorar la gestión, manejo y control de las inundaciones, así como proporcionar algunas ideas para futuras investigaciones relacionadas con inundaciones en áreas urbanas. Las acciones se mencionan en seguida:

- I. Creación de instituciones a nivel local encargadas sólo de la prevención y control de inundaciones. Puede implementarse a través de protección civil un equipo encargado de la atención y prevención de inundaciones (debe incluirse personal calificado), así como la colaboración con dependencias que se relaciona con la atención de inundaciones como la CONAGUA, SEDESOL, y los gobiernos locales o con los consejos de cuenca (Donde se incluya participación de las autoridades estatales y municipales que estén territorialmente involucradas).
- II. Establecer un comité encargado sólo de la atención de inundaciones en el ámbito federal. Debe ser un organismo encargado de tomar decisiones en cuestión política para el desarrollo de normas y leyes referente al manejo y gestión de las inundaciones.
- III. Crear una institución encargada de realizar la coordinación interinstitucional relacionada con el desarrollo de planes de prevención, ordenamiento territorial, alertas tempranas, desarrollo urbano, etc.
- IV. Incluir en la Ley de Aguas Nacionales la definición de inundación, así como la reglamentación para la aplicación de acciones estructurales y no estructurales que pueden ser implementadas en materia de gestión de inundaciones, como la generación de mapas de riesgos y diseño de obras hidráulicas.
- V. Crear una normativa para el manejo y control de inundaciones en el ámbito federal y local. Esta normativa debe incluir definiciones de inundación, riesgo y peligro, además de incluir los criterios para la delimitación de zonas federales, en creación

de mapas de riesgos, especificaciones adecuadas en construcción de obras de protección contra inundaciones, construcción de los puntos de suministro de agua potable en zonas propensas a inundación, incluir el ordenamiento territorial y la colaboración con dependencias como son la SEDESOL, SINAPROC, SEMARNAT, SEGOB, CONAGUA.

- VI. Integración de leyes, planes y programas municipales, estatales y federales para el adecuado ordenamiento territorial. Además, manejar el ordenamiento territorial con una visión sustentable. Unir planes de desarrollo urbano, ordenamiento territorial, salud y emergencias, entre otros.
- VII. Crear una normativa técnica para la elaboración de mapas de riesgo de inundación. Donde se incluya la evaluación hidráulica de peligro de inundación así como una metodología para la estimación de la vulnerabilidad.
- VIII. Establecer criterios de los parámetros mínimos que se deben considerar en los sistemas de alarma temprana. Se deben mencionar los modelos que son aprobados para el pronóstico, los instrumentos de medición así como el sistema que sirva como base de datos para el almacenamiento y procesamiento para emitir dicho pronóstico. También se deben establecer una metodología para realizar la comunicación social.
- IX. Establecer las condiciones de urbanización actuales, obtenida a partir de estimaciones demográficas e imágenes satelitales.
- X. Promover, impulsar y desarrollar proyectos de investigación que evalúen la variabilidad climática por región hidrológica. Por medio de modelos de pronóstico determinar las áreas propensas de inundación.
- XI. Formular los proyectos hidráulicos estructurales para el control de las inundaciones mediante un proceso de análisis integral de la cuenca. Con el objeto de evitar trasladar los efectos de las inundaciones aguas abajo o aguas arriba de dicha obra de protección.
- XII. Utilizar sistemas de información geográfica, para el manejo del ordenamiento territorial, ordenamiento ecológico, delimitación de zonas federales y la obtención

de áreas propensas de inundación, así como proyecciones de futuras áreas urbanas y los respectivos servicios que se deben incluir.

- XIII. Crear un sistema de alerta nacional con apoyo en sistemas de observación de la Tierra por satélite.
- XIV. Incluir un inventario de las obras de drenaje y protección de inundaciones. Recabar un archivo histórico de la localidad en cuestión, los planos de la ciudad, con antigüedad de por lo menos 15 años, para ubicar la red original de cauces y las modificaciones que han ocurrido, tanto en su trazo como en su sección transversal.
- XV. Elaboración de un plan global de drenaje, en cual se incluyan acciones estructurales y no estructurales para el adecuado manejo de las inundaciones en áreas urbanas. En éste plan se deben incluir los métodos de estimación aplicados, las alternativas de solución formuladas, comparación de alternativas y la selección de las recomendadas, un plan de emergencias, así como programas de educación, sus costos estimados, etc.
- XVI. Recopilación de datos hidrológicos y antecedentes de inundación. Crear una base de datos para llevar un archivo histórico sobre la magnitud y origen de la inundación. (Obtener datos hidrológicos, imágenes satelitales, imágenes aéreas y evaluaciones de daños).
- XVII. Implementar un programa de inspección y mantenimiento de obras de protección.
- XVIII. Realizar la instrumentación de las obras de protección contra inundaciones. Instalar estaciones meteorológicas, hidrométricas, y utilizar sensores para obtención de información que ayude a la prevención de inundaciones.
- XIX. Desarrollar un sistema de monitoreo y adquisición de datos para implementar sistemas de alerta temprana. Se pueden utilizar el RADAR meteorológico como fuente de información y modelos hidrológicos para una primera aproximación sobre el riesgo de inundación en tiempo real.

- XX. Utilizar modelos de simulación de inundación, con los cuales se pueden generar mapas de peligros. Dichos modelos pueden ser en 1D y 2D. Con los cuales se pueden implementar nuevas normas relacionadas con el ordenamiento territorial.
- XXI. Realizar el diseño y construcción de infraestructura para el control de inundaciones, basado en mapas de riesgos y modelos computacionales de simulación de inundaciones.
- XXII. Realizar campañas de comunicación, informando el riesgo de inundación, sustentado en mapas de peligros para concientizar a la población. (esto se puede realizar antes de cada temporada de lluvias).
- XXIII. Creación de un sistema de reaseguro de inundaciones. Buscar que las personas se interesen en la obtención de seguros de inundación. Fundamentado en mapas de riesgos para establecer una cuota apropiada. Se puede adoptar el modelo que utiliza en los Estados Unidos para el sistema de reaseguro.
- XXIV. Elaborar un plan maestro para la atención de emergencias. Incluir rutas de evacuación y ubicación de albergues temporales, así como el personal involucrado en la atención de una emergencia de inundación.
- XXV. Adquirir equipo para la atención de emergencias de inundación. Éstos pueden ser dispositivos para de defensa y control de inundaciones, como son sistemas de barreras semifijas o temporales, bombas para el desalojo de agua excedente, plantas potabilizadoras, dispositivos para el llenado de sacos de arena, etc.
- XXVI. Se recomienda realizar estudios de calidad de agua en fuentes de abastecimiento superficial y subterránea donde han ocurrido inundaciones con el objeto de revisar su posible contaminación.
- XXVII. Optar por técnicas sostenibles para el control de escurrimiento, esto se realiza promoviendo que una parte del escurrimiento se infiltre en el suelo, es decir, buscar que la ciudad sea más permeable, aunque en esta alternativa es necesario realizar estudios hidrogeológicos para evitar la contaminación de los acuíferos.

Algunos ejemplos de estas técnicas son: los estanques de detención, los pavimentos porosos, las zanjas filtrantes y todas las áreas con vegetación a las que se pueda inducir el escurrimiento para su infiltración.

- XXVIII. Crear especialistas en el tema de las inundaciones, así como crear institutos encargados de investigación en zonas donde suceden los problemas de inundación.
- XXIX. Manejar como premisa el concepto de prevención para evitar que se generen pérdidas humanas, así como daños y gastos mayores provocados por el mal manejo de las inundaciones.

En lo que respecta a futuras investigaciones se proponen los siguientes temas:

- I. Ya que el reflejo de la variabilidad climática natural generalmente se traduce en desastres naturales (Inundaciones, sequias, fenómenos meteorológicos, etc) se propone realizar investigación sobre los modelos de pronóstico que consideran el cambio climático para estimar los niveles de precipitación y temperatura en escala regional y considerando la proyecciones globales. Los modelos que se pueden implementar son: el modelo Japonés desarrollado por el instituto de investigación meteorológica de Japón, ó el modelo PRECIS (Providing REgional Climates for Impact Studies) desarrollado por el Centro Hadley de Reino Unido. También se puede comparar dichos modelos regionales con las diferentes técnicas de reducción de escala de los modelos globales. Dicha información servirá para generar el diagnostico entre científicos, autoridades de gobierno y usuarios para realizar medidas de adaptación ante dichos pronósticos, como puede ser nuevas normativas para el ordenamiento territorial.
- II. Realizar la evaluación de riesgo de inundación basado en sistemas de información geográfica y la modelación hidráulica de ríos. Como plataforma en 1D se recomienda el uso del software HEC-GeoRAS. Actualmente se incluye en la versión 4.1 de HEC-RAS la herramienta GIS Tools llamada RAS Mapper en el cual se puede analizar rápidamente los resultados de la simulación a través de un modelo digital del terreno en formato flt. Y con esto se pueden presentar mapas de

peligro de inundación sin contar con la plataforma de Arc Gis. Para modelos 2D se recomienda el uso de la plataforma Flo-2D el cual ya incluye la herramienta Mapper para presentar los mapas de peligros en formato shape(\*.shp) a partir de los resultados de la simulación hidráulica. (López, 2012)

- III. Realizar la validación de modelos hidrodinámicos, con los que se pueden elaborar mapas de peligros. Comparar modelos 1D y 2D en la simulación de inundación en un cauce, verificar los alcances y limitaciones de cada tipo de modelo, así como especificar una metodología para utilizar cada uno de dichos modelos.
  
- IV. Proponer una metodología para cuantificar y ubicar los posibles focos propensos a inundación en áreas urbanas. Plantear alternativas de diseño basados en modelos matemáticos de alcantarillado pluvial, determinar en dónde se producen los puntos críticos de inundación por topografía o por falla del sistema de alcantarillado pluvial. Un modelo a implementar es el SWMM (Storm Water Management Model) desarrollado por la Agencia de Protección de Medio Ambiente (EPA, de sus siglas en inglés). Éste modelo es alimentado por parámetros como: la pendiente, coeficiente de Manning, permeabilidad, área de la cuenca, diámetros de tubos, así como características de canales y ductos. Además se propone realizar la revisión del funcionamiento hidráulico de una red de drenaje pluvial con el fin de evaluar las limitaciones que se presentan en los métodos actuales de diseño y de esta manera poder hacer recomendaciones de diseño hidráulico para el mejor funcionamiento de las redes de drenaje. En México se han realizado estudios por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, en las ciudades de Chetumal y Guadalajara, mediante la utilización del modelo computacional propuesto. Por lo que se pueden tomar éstos estudios como base para la formulación de la metodología. (Rodríguez y García, 2008);(Rodríguez et al, 2012)
  
- V. Realizar el pronóstico de inundaciones urbanas usando datos de alta resolución de RADAR. En el 2009 se realizó una investigación por parte de la UNESCO en Holanda, donde se utiliza la información de radares meteorológicos de alta resolución para la obtención de pronóstico de inundaciones en tiempo real. Se emplea el modelo de simulación SWMM para obtener puntos donde se pueden

producir inundaciones debido a la falla del sistema de drenaje. Como propuesta se puede intentar validar esta metodología para el caso de la ciudad de México.

- VI. Revisión y recopilación de los modelos de pronóstico que ayuden a la gestión de inundaciones, con el fin de obtener una gama de modelos confiables de predicción de lluvias, y con éstos poder implementar un sistema de alarma temprana. Se puede utilizar por ejemplo las redes neuronales artificiales para realizar predicciones de intensidad de lluvia o escurrimiento, transitar y simular dichos pronósticos, con los que se puede obtener avisos de una posible inundación.
- VII. En lugares donde los datos hidrológicos son insuficientes, y no es posible la elaboración de mapas de peligros por medio de tránsito hidráulico de cauces; existen estudios donde se ha intentado utilizar imágenes satelitales y modelos digitales del terreno para implementar dichos mapas de peligros. Éste método consiste en la interpretación de fotos aéreas para la adquisición de las características geomorfológicas en relación con eventos históricos de inundaciones.
- VIII. Estudio de cambios en el escurrimiento debido a la urbanización y cómo es que se debe alterar los gastos de diseño por dichos efectos. Integrar modelos lluvia-escurrimiento para cuencas urbanas y su validación práctica con estudios de caso.
- IX. Comparar la influencia del fenómeno de vaciado y llenado rápido en la estabilidad de bordos de protección de áreas urbanas expuestas a inundaciones, mediante métodos matemáticos y modelos físicos. Establecer criterios de diseño para considerar dichos efectos y evitar fallas en la infraestructura de protección.
- X. Realizar investigación sobre estructuras que pueden ser usadas como alternativa en situación de emergencia como medida correctiva dentro de las acciones estructurales, puede ser una estructura que permita la sustitución de los sacos de arena. En el capítulo 8 se presentaron algunas alternativas para sustituir dichos sacos de arena, así como herramientas que permiten su llenado más rápido ó permite aumentar la capacidad de respuesta ante una emergencia.

- XI. Realizar estudios sobre los efectos ocasionados por las inundaciones en las fuentes de abastecimiento (Agua superficial y subterránea).
- XII. Crear una metodología para la estimación de la vulnerabilidad en zonas urbanas debida a las inundaciones.
- XIII. Establecer una metodología sobre la creación de planes integrales para la gestión y control de las inundaciones en zonas urbanas. Se deben incluir acciones estructurales y no estructurales con sustento técnico.

## 10. Conclusiones.

El trabajo surge de la necesidad de contar con un documento que integre un conjunto de acciones que pueden ser implementadas por los tomadores de decisiones en el manejo y control de las inundaciones. Se puede mencionar que son pocos los trabajos que han tratado de realizar una recopilación y ordenamiento de información relacionada con el control de las inundaciones de forma integral. Dicho lo anterior se presentan las siguientes conclusiones.

En éste trabajo se resumen un conjunto de acciones que sirven de apoyo a los tomadores de decisiones para contar con una visión sobre las acciones que pueden ser implementadas en diferentes escenarios de inundación en zonas urbanas.

Acorde a las condiciones de pobreza de la población y nula planeación urbana, se puede mencionar que los asentamientos humanos provocan cambios en el ciclo del agua (cambios en la capacidad de infiltración, tiempos de concentración más rápidos, hundimientos debido a la sobreexplotación de acuíferos, aumento de la altura de la lámina de agua) que ocasiona mayores inundaciones.

En éste documento se describen los factores más importantes que generan inundaciones en zonas urbanas, como son la precipitación o los ciclones tropicales. Además se identifico que no existen estudios hidrológicos en los programas de desarrollo urbano lo cual incrementa el riesgo de inundación.

Se observó que las inundaciones no son un fenómeno reciente y es un hecho que se ha visto incrementado el impacto de estos fenómenos, debido principalmente al crecimiento de la población de manera descontrolada. A pesar que se ha visto un incremento en la cantidad de desastres provocados por inundación, ya no se tienen grandes cantidades de pérdidas de vidas humanas, esto se puede atribuir a las acciones preventivas que se han implementado de manera exitosa.

Se puede decir que las inundaciones se convierten en un problema sólo cuando se ven involucrados los asentamientos humanos o las zonas de actividad productiva.

Se realizó una recopilación de las políticas de actuación en materia de control de inundaciones en México, se observó que en materia institucional se ha trabajado

ampliamente en el tema de las inundaciones, el problema es que se tiene poca coordinación institucional.

Se recomienda explorar la actualización y nueva reglamentación en materia de prevención de riesgos debidos a inundación en materia de políticas de actuación en México.

De acuerdo con el INEGI donde, se considera que una población es urbana cuando tiene más de 2,500 habitantes, por lo que se describen acciones estructurales y no estructurales que pueden ser implementadas en dichas zonas.

Se describen acciones estructurales que han servido para control de las inundaciones en zonas rurales, como la reforestación y restauración de suelos, presas retenedoras de azolves y rompe-picos. Se han mencionado debido a que existen cuencas de respuesta rápida, en donde el arrastre de sedimentos juega un papel importante y ocasiona mayores daños al verse incrementado el nivel de lámina de agua en zonas bajas, donde generalmente existen asentamientos humanos (zonas urbanas).

Se especificaron diferentes acciones estructurales y no estructurales que sirven como ayuda en la gestión de inundaciones urbanas. Dentro de las acciones no estructurales se presentan: los sistemas de alarma temprana, mapas de peligro y riesgo, políticas de actuación en México, etc. En lo que respecta a las acciones estructurales, se describen obras hidráulicas como el sistema de drenaje, bordos, presas, estanques de detención, sistemas de drenaje sostenible, reforestación y restauración de suelos, etc.

Se presentan un conjunto de acciones que ayudan a mejorar la gestión, manejo y control de las inundaciones en zonas urbanas. Se especifican un conjunto de acciones que pueden ser implementadas por los tomadores de decisiones. Por ejemplo creación de una norma técnica encargada de especificar criterios de estimación de avenidas, para el manejo de las zonas federales, mapas de riesgos, así como criterios de diseño para diferentes obras hidráulicas.

Actualmente existen modelos computacionales que simplifican la obtención de mapas de peligros. Estos modelos permiten obtener los sitios que se pueden inundar para cierto periodo de retorno, y son una herramienta muy útil para los tomadores de decisión. A través de éstos se pueden implementar acciones estructurales y no estructurales para el manejo de las inundaciones con una visión integral.

Se describen las diferentes acciones estructurales y no estructurales de tal forma que se entienda cómo opera cada una de éstas. También se mencionan recomendaciones sobre el lugar o tipo de acción que se puede emplear.

Se mencionaron nuevas tecnologías estructurales y no estructurales que sirven de ayuda en el control y manejo de las inundaciones. Se puede observar que las nuevas tecnologías estructurales están enfocadas básicamente en medidas correctivas como alternativa de reemplazo a los sacos de arena.

Se observó que en las acciones estructurales se requiere realizar estudios de manera integral tanto aguas abajo y aguas arriba de las obras de protección, ya que se puede transferir el riesgo de inundación.

Se presentan propuestas para futuras investigaciones relacionadas con inundaciones en zonas urbanas. De las cuales se pueden destacar: una propuesta metodológica para cuantificar y ubicar posibles focos propensos a inundaciones en áreas urbanas debidas a la falla del sistema de drenaje. También se propone la revisión y recopilación de los modelos de pronóstico que ayuden a la gestión de inundaciones, con el fin de obtener una gama de modelos confiables de predicción de lluvias, y con estos poder implementar un sistema de alarma temprana, entre otros temas. (Ver capítulo 9)

Finalmente se puede decir que una estrategia integral para el manejo de las inundaciones requiere del uso de medidas estructurales y no estructurales en conjunto. Con lo que se piensa que éste trabajo sirve de guía para lograr establecer dichas estrategias integrales en manejo y control de las inundaciones en zonas urbanas, ya que recopila un conjunto de acciones que se pueden implementar en cualquier fase de la inundación (prevención, emergencia, recuperación).

Como trabajo futuro se recomienda integrar una recopilación de investigaciones sobre inundaciones debidas al cambio climático.

Se recomienda explorar sobre nuevas tecnologías en materia de potabilización de agua.

## 11. Referencias.

Abilés V.A. “*El agua en situaciones de emergencia*”. Higiene y sanidad Ambiental, Unidad clínica de nutrición y dietética. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. España. 2008. Pp310-315

AGROSEMEX. Sitio Oficial, disponible en <http://www.agroasemex.gob.mx/index.php>, [fecha de consulta marzo 2012].

Alcocer Y. V. H “*Construcción de mapas de riesgo e inundaciones en ríos en la zona del Soconusco*”. Tercer Seminario Internacional de Potamología -José Antonio Maza Álvarez-. Tuxtla Gutiérrez , Chiapas, Agosto 2011.

Aquafast. “*Simples, rápidas, eficaces y sin mantenimiento*”. Recurso electrónico, disponible en: [http://www.aquafast.fr/index2.php?lang\\_change=2](http://www.aquafast.fr/index2.php?lang_change=2): [Fecha de consulta Abril 2012].

Aparicio M. F. J. “*Fundamentos de hidrología de superficie*”. Editorial LIMUSA, México D.F, 2010. 303pp

Aparicio F. J. A. “*Lluvias e inundaciones*”. Guías de Riesgos, Universidad politécnica de Valencia. Octubre 2003. Recurso electrónico disponible en; <http://www.iaem.es/GuiasRiesgos/Lluviaseinundaciones.pdf>, [Fecha de consulta Abril 2012].

Arreguín. C. F.”*Planificación, diseño, modernización y operación de la red principal en zonas de riego*”. Primera edición, 2000. México. 97pp

Barrier Systems “*The Sand Master*”. Recurso electrónico, disponible en: <http://www.barriersystemsllc.com/>, [Fecha de consulta Abril 2012]

Bertoni J.C. “*Curso sobre Gestión de Inundaciones en Áreas Urbanas*”. Programa de capacitación para gestores y tomadores de decisión públicos en el campo de los recursos hídricos. Global Water Partnership South América. Recurso electrónico. Disponible en: [http://www.efn.unc.edu.ar/departamentos/hidraul/hidrologia/Auxiliar/Curso\\_Gestion\\_Inund\\_Urbanas.pdf](http://www.efn.unc.edu.ar/departamentos/hidraul/hidrologia/Auxiliar/Curso_Gestion_Inund_Urbanas.pdf). [Fecha de consulta Marzo 2012].

BIGBAG. “*Big Bag Defence System. (Global flood solution)*”. Recurso electrónico. Disponible en: <http://www.globalfloodsolutions.com/>, [Fecha de consulta Abril 2012].

Bitrán B. D. “*El impacto de los desastres naturales en el desarrollo económico*”. México, Distrito Federal, Abril 1992,13pp.

Bitrán. B. D. “*Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo de 1980-99*”. Centro Nacional de prevención de Desastres CENAPRED. Octubre 2001. 105pp.

Campos. A. D.F. “*Introducción a la hidrología urbana*”. Primera edición. San Luis Potosí. México. Diciembre 2010. 269pp

CENAPRED. “*Fascículo de inundaciones*”. 1ª Reimpresión de la Primera edición. Distrito Federal México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Mayo 2004, 53pp.

CENAPRED. “*Fascículo de inundaciones*”. 1ª Reimpresión de la Primera edición. Distrito Federal México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Mayo 2004, 53pp.

CENAPRED . “*Impacto socioeconómico de los desastres en México en el año 2005*”. Distrito Federal México. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 2006, 491pp.

CENAPRED .”*Impacto socioeconómico de los desastres en México en el año 2006*”. Distrito Federal México. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 2007, 259pp.

CENAPRED. “*Impacto socioeconómico de los desastres en México en el año 2007*”. Distrito Federal México. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 2008, 624 pp.

CENAPRED “*Impacto socioeconómico de los desastres en México en el año 2008*”. Distrito Federal México. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 2009, 364 pp.

CENAPRED “*Impacto socioeconómico de los desastres en México en el año 2009*”. Distrito Federal México. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 2010, 254 pp.

CENAPRED. “*manual del participante, activación de refugios temporales y atención a damnificados*”. Coordinación general de protección civil. Centro nacional de prevención de desastres. México. 2009. 16pp.

CEPAL, (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). “*Tabasco: Características e impacto socioeconómico de las inundaciones provocadas a finales de octubre y a*

*comienzos de noviembre de 2007 por el frente frío número 4*". México, Junio de 2008, 231 pp.

CEPAL, "*Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los Desastres*". Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 2003, Tomo 1 al 5.

Cervantes J. C. E. "*Generación de mapas de riesgo de inundación mediante modelación en dos dimensiones*". Tesis de maestría. Posgrado Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería. 2012. 87pp.

Chaudhry M. H. "*Open-Channel Flow*". Segunda edición. Universidad del sur de Carolina USA. Ed. Springer. 2008. 523pp.

CICEANA. "*Saber más... Urbanización*". Centro de información y comunicación ambiental de Norte América, AC. Recurso electrónico. Disponible en: <http://www.ciceana.org.mx/recursos/Urbanizacion.pdf>, [Fecha de consulta Abril 2012].

Composan. "*Nociones básicas de obra civil*". Recurso electrónico, disponible en; <http://www.gerdipac.com.pe/Nociones%20Basicas%20de%20Obra%20Civil%20-%20Camposan.pdf>; [Fecha de consulta Abril 2012].

CONAFOR, (Comisión Nacional Forestal). "*Protección, restauración y conservación de suelos forestales (Manual de obras y prácticas)*". 2da edición, Jalisco, México, 2004. 109pp.

CONAFOR. (Comisión Nacional Forestal). "*Manual básico de prácticas de reforestación*". Primera edición, Jalisco, México. 2010. 66pp.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). "*Protección, restauración y conservación de suelos forestales (Manual de obras y prácticas)*". 3er edición, Jalisco, México, 2007. 297pp.

CONAGUA, "*Túnel emisor oriente, Comisión Nacional del Agua. 2011*", ([www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelvalledemexico/TunelEmisorOriente.aspx](http://www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelvalledemexico/TunelEmisorOriente.aspx)) [fecha de consulta Mayo 2011].

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) Sitio Oficial. <http://www.cna.gob.mx/> [Fecha de consulta Enero- Febrero 2012]

CONAGUA. (Comisión Nacional del Agua). “*Manual para el control de inundaciones*”. Edición 2011, México D. F. 326 pp. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicacione/Publicaciones/SGT-1-11Manual-para-el-control-de-inundaciones.pdf> [Fecha de consulta 8 de Febrero de 2012]

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). “*Programa Nacional Hídrico (PNH) 2007-2012*”. (Febrero 2008) México D.F. Disponible en: <http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=1&n2=28>, [Fecha de Consulta 10 de Diciembre de 2011]

CONAGUA, “*Atlas digital del agua 2010*”, sitio oficial <http://www.conagua.gob.mx/atlas/#> [Fecha de consulta [Marzo 2012].

Cosgrove W.J, Rijsberman F.R. “*World Water Vision*”. First Published. London England, Earthscan Publications Ltd, 2000, 61pp.

Cruz B. J. “*Formulación del riesgo conjunto, inundación-sequia, bajo un esquema probabilístico, aplicado en la región hidrológica nazas-aguanaval (RH-36)*”. Tesis de maestría en ingeniería hidráulica. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería. División de estudios de posgrado, campus Morelos México. 2009. 196pp.

CSB (County of Santa Barbara). “*Homeowners Guide for Flood Prevention and Response*”. Recurso electrónico disponible en: [www.countyofsb.org/pwd/water](http://www.countyofsb.org/pwd/water). [Fecha de consulta marzo 2012].

Diamotos. “*El primer autobús anfibio del mundo*”. Recurso electrónico disponible en: <http://www.diariomotor.com/2009/04/18/amphicoach-el-primer-autobus-anfibio-del-mundo/>; [Fecha de consulta Abril 2012].

Domínguez R. M. “*Las inundaciones en la Ciudad de México. Problemática y Alternativas de Solución* “. Universidad Nacional Autónoma de México. Revista Digital Universitaria Vol.1 No.2., Septiembre de 2000.

Durán A, et. al. “*Inundaciones en el valle alto de Cochabamba. Análisis de los impactos ambientales, efectos socioeconómicos y alternativas de prevención y mitigación de inundaciones*”. Bolivia, 2009. 50 pp.

EM-DAT: “The OFDA/CRED “International Disaster Database” – [www.emdat.be](http://www.emdat.be), Université Catholique de Louvain, Brussels (Belgium) 2011; Fecha de consulta Mayo 2011.

EM-DAT “The international Disaster Database (centre for Research on the Epidemiology of Disasters- CRED)”, [www.emdat.be](http://www.emdat.be) [Fecha de consulta 10 Mayo 2011].

EROSKI. “Tecnologías para prevenir y combatir catástrofes naturales, tu canal de tecnología”. Recurso electrónico, disponible en: <http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/internet/2007/10/03/167219.php?page=3>, [Fecha de consulta marzo 2012]

Eslava M. H. et., al. “Guía para la elaboración de atlas estatales y municipios de peligros y riesgos (capítulo 1 Fenómenos hidrometeorológicos)”. Serie atlas nacional de riesgos. CENAPRED. (Centro Nacional de Prevención de Desastres). México D.F, 1er edición noviembre 2006, 140pp.

Espinoza A. J. et al. “Morfología del río Verde Oaxaca”. Recurso electrónico, disponible en: <http://www.imta.mx/eventos/seminario-potamologia/ponencias/morfologia-rio-verde-joselina.pdf>; [Fecha de consulta Abril 2012].

Etec. “Bomba flotante”. Recurso electrónico, disponible en; <http://www.etecsa.com/web/en/infoetec/69-bomba-flotante-recibe-premio-innova-.html>; [Fecha de consulta Abril 2012].

Flood Rescue Boats “Lancha de rescate en inundaciones”. Recurso electrónico, disponible en: <http://www.flood-rescue-boats.com/Lancha de Rescate TK1.html>, [Fecha de consulta Abril 2012].

Fuentes M. O., Quaas W. R., et al. “Sistemas de alerta hidrometeorológica en Acapulco, Tijuana, Motozintla, Tapachula y Monterrey”. CENAPRED 1er Edición, diciembre 2002. México DF.

Fuentes M. O., et al. “Manual para el curso de capacitación sobre sistemas de alerta hidrometeorológica”. CENAPRED, Noviembre 2004. México.

García S. J. “Pérdida de Suelos en Cuencas”. Capítulo 17 del Manual de Ingeniería de Ríos. Instituto de ingeniería, UNAM, México, 45pp

Gautam K.P, Van der Hoek E.E , “Literature Study on Environmental Impact of Flood”. Delf Cluster-publication, Holanda, June 2003, 57pp.

Gaytán A.I. “*Programa de protección a centros de población*”. Presentación de la primera reunión nacional de infraestructura hidráulica. Morelia Michoacán. Octubre 2009.

GoBagger. “*Fill sandbags 500% faster!* ”. Recurso electrónico, disponible en: <http://www.gobagger.com/>, [Fecha de consulta Abril 2012].

Gobierno del estado de Veracruz. “*Refugios temporales en zonas de impacto de huracanes*”. Veracruz, México.

González R. A., Zicardi C. A. “*Pobreza, agua y cambio climático en la Ciudad de México.(informe Final)*”. Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de Humanidades, Enero 2011, 110pp.

González V. P. “*Seguros y políticas públicas frente a desastres naturales en México como consecuencia del cambio climático*”. UNAM. Facultad de estudios de Acatlán. México. Agosto 2011. 76pp. Tesina para actuario.

Guerrero V. G. et al. “*Evaluación de proyectos*” Capítulo 24 del Manual de ingeniería de ríos. Instituto de ingeniería de la UNAM. México. 1996. 38pp

Herrera L.L.A, Ramírez O. A. I. “*Guía metodológica para el análisis forense de inundaciones*”. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de ingeniería 2010. 173pp.

Hidro soluciones pluviales. “*barreras*”. Recurso electrónico, disponible en: <http://hidropluviales.com/>. [Fecha de consulta Abril 2012].

IMPRINTS “*Main Results*”. Recurso electrónico disponible en: <http://www.imprints-fp7.eu/es/noticias>, [Fecha de consulta Abril 2012].

INEGI. “*Población rural y urbana*”. Recurso electrónico, disponible en: [http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur\\_urb.aspx?tema=P](http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P), [Fecha de consulta Abril 2012].

INEGI. “*Modelos digitales de elevación LIDAR*”. Recurso electrónico, disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/default.aspx>, [Fecha de consulta Abril 2012].

INEGI. “¿Qué es un modelo digital de elevación?”. Recurso electrónico, disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/default.aspx>, [Fecha de consulta Abril 2012].

INEGI. “Conjunto de datos vectoriales de la serie topográfica y recursos naturales escala 1:1,000,000”. Capas disponibles para su descarga gratuita. Recurso electrónico disponible en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/geologia/infoescala.aspx> [Fecha de Consulta Agosto 2012].

ISDR(International Strategy for Disaster Reduction). “¡Alto a los desastres!”. Recurso electrónico disponible en: <http://www.stopdisastersgame.org/es/home.html>. [Fecha de consulta Marzo 2012].

Jérôme L. “Challenges in hydrometry: Some Examples from France”. Experiences and Advancements in Hydrometry Seoul, Korea, Marzo 2008.

Laopinioncoruña. “Satélites contra inundaciones”. Recurso electrónico, disponible en: <http://www.laopinioncoruna.es/sociedad/2010/08/02/satelites-inundaciones/407375.html>, [Fecha de consulta Abril 2012].

LEY de Aguas Nacionales (LAN). Publicada en el D.O.F el 1º de Diciembre de 1992. México. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16.pdf> . [Fecha de Consulta 3 de Febrero de 2012].

LEY General de Asentamientos Humanos(LGAH). Publicada en el D.O.F el 21 de julio de 1993. México. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/133.pdf> . [Fecha de Consulta 9 de Enero de 2012].

LEY General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), Publicada en D.O.F 30 Agosto de 1988, México. Disponible en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf> . [Fecha de Consulta el 15 Enero de 2012].

LEY General de Protección Civil (LGPC). Publicada en el D.O.F el 12 de mayo de 2000. México. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/141.pdf>. [Fecha de consulta el 5 Enero 2012].

LEY Orgánica del Ejército y Fuerza Aérea Mexicanos. Publicada en el D.O.F el 26 de diciembre de 1986. México. Disponible en:

[http://www.sedena.gob.mx/images/stories/archivos/leyes\\_y\\_reglamentos/leyes/LEY\\_ORG\\_NICA\\_DEL\\_EJTO\\_Y\\_F.A.M.\\_CORREGIDO.pdf](http://www.sedena.gob.mx/images/stories/archivos/leyes_y_reglamentos/leyes/LEY_ORG_NICA_DEL_EJTO_Y_F.A.M._CORREGIDO.pdf). [Fecha de Consulta Octubre de 2011]

Llorente I. et al. “*Aplicaciones de los SIG al análisis y gestión del riesgo de inundaciones: avances recientes*”. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid España. 2009. Recurso electrónico disponible en: [http://www.andresdiezherrero.es/publicaciones/articulos\\_en\\_revistas/llorente\\_et\\_al\\_2009\\_sigtefor.pdf](http://www.andresdiezherrero.es/publicaciones/articulos_en_revistas/llorente_et_al_2009_sigtefor.pdf). [Fecha de consulta abril 2012].

López O. J. A “*Manejo integral del agua pluvial en Tuxtla Gutiérrez Chiapas*” Tesis de maestría. Posgrado -Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería. 2012. 109 pp

Malilay J. “*Impacto de los desastres en la salud pública, capítulo de inundaciones*”. Organización mundial de la salud, 2000, 460 pp.

MAPFRE, “*Diccionario MAPFRE de seguros*”, disponible en: <http://www.mapfre.com/wdiccionario/terminos/vertermino.shtml?l/Ley-de-los-Grandes-Numeros.htm>, [Fecha de Consulta Marzo 2012].

Martir M. A. “*Reseña de Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los Desastres de la CEPAL*”, Universidad Autónoma Indígena de México. Revista Ra Ximhai, publicación cuatrimestral México, 2006 pp 287-292.

Maza A. J.A. “*Introduction to river engineering*”. División de estudios de posgrado. Facultad de Ingeniería UNAM. México. 1987.

Maza A.J.A., García F.M. “*Estabilización y rectificación de ríos*”. Capítulo 14 del Manual de ingeniería de ríos. División de estudios de posgrado. Facultad de ingeniería. UNAM; México, 1996, 89pp.

Maza. A. J.A. “*Obras de protección para control de inundaciones*”. Capítulo 15 del Manual de ingeniería de ríos. División de estudios de posgrado, facultad de ingeniería, UNAM, México, 1996, 187pp.

MILENIO. “*Pide SEGOB imágenes de satélites sobre inundaciones*”. Recurso electrónico. Disponible en: <http://impreso.milenio.com/node/9046592>; [Fecha de consulta Abril 2012]

Mota A.A. “*Química de las aguas naturales*”, Departamento de Química Inorgánica. Granada, España. Recurso electrónico <http://www.ugr.es/~mota/Parte2-Tema07.pdf>. [Fecha de consulta Noviembre 2012]

Muste M. “*Hydrodynamic and morphodynamic river characterization using hydroacoustics*”. Hydroscience and Engineering. The University of Iowa, Recurso electrónico disponible en: [http://www.cuahsi.org/docs/ha\\_plenaryIII\\_muste.pdf](http://www.cuahsi.org/docs/ha_plenaryIII_muste.pdf). [Fecha de consulta Junio 2012].

NACIONES UNIDAS. “*Guía general para la prevención-mitigación de vulnerabilidades y control de desastres hidrometeorológico*”. México D.F. Septiembre de 2011. Disponible en; [http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/4/44594/2011-044-Guia\\_general\\_aguas-L1025-w.pdf](http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/4/44594/2011-044-Guia_general_aguas-L1025-w.pdf) . [Fecha de consulta 12 Febrero de 2012]

O’Conor J., Costa J.E., “*The World’s Largest Floods, Past and Present: Their Causes and Magnitudes*”. U.S. Geological Survey Circular 1254, 2004, 13pp.

O’Conor J., Costa J.E., “*Large Floods in the United States: Where They Happen and Why*”. U.S. Geological Survey Circular 1254, 2003, 13pp.

OEA (Organización de los Estados Americanos). “*Manual para el diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas comunitarios de alerta temprana ante inundaciones*”. Washinton D.C, USA. 2010. 83pp

ONU, Organización de las Naciones Unidas (2006), EWC III, “*Tercera conferencia internacional sobre alerta temprana (del concepto a la acción) Desarrollo de sistemas de alerta temprana: lista de comprobación*”; Bonn, Alemania. 2006.

OPS (Organización Panamericana de la Salud). “*Guía para la vigilancia y el control de la calidad del agua en situaciones de emergencia y desastre*”. Serie manuales y guías sobre desastres N° 10. Ecuador. Junio 2007.

Orozco G. G. “*Tecnología prevé potabilizar agua de inundaciones*”. Agencia de Noticias para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología (DiCYT). Recurso electrónico, disponible en: <http://www.dicyt.com/noticias/tecnologia-preve-potabilizar-agua-de-inundaciones>, [Fecha de consulta Marzo 2012].

PHIT. “*Plan Hídrico Integral de Tabasco*”. CONAGUA, recurso electrónico, disponible en: <http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=4&n2=103&n3=194>, [Fecha de consulta Abril 2012].

PND (Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012), México D.F. Disponible en: <http://pnd.calderon.presidencia.gob.mx/index.php?page=documentos-pdf> [Fecha de consulta 2 Noviembre 2011].

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), “*GEO ALC América Latina y el Caribe, perspectivas del medio ambiente-*”. Panamá, 2003, 280pp.

Pereira M. et al. “*La tecnología en situaciones climáticas extremas*”. Recurso electrónico. Disponible en: <http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT10.pdf>, [Fecha de consulta Abril 2012].

Prieto L.I., “*Sistemas de drenaje sostenible agua y ciudad*”, Recurso electrónico, disponible en <http://www.dina-mar.es/file.axd?file=2009%2F11%2Fjia-comunicacion+completa+Ignacio+Prieto.pdf>, [Fecha de consulta Marzo de 2012]

QuimiNEt. “*Los materiales geosintéticos*”. Recurso electrónico, disponible en: <http://www.quiminet.com/articulos/los-materiales-geosinteticos-28112.htm>; [Fecha de consulta Abril 2012].

Ramírez O. A.I. “*Manual de hidrología urbana*”. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. IMTA. Jiutepec Morelos, México 2008. 124pp.

RGFONDEN (Reglas Generales del Fondo de Desastres Naturales), publicado en el D.O.F. el 3 de diciembre de 2010. México. Disponible en: [http://www.funcionpublica.gob.mx/scagp/dgorcs/reglas/2004/otrosprogramas04/completos/ro\\_fonden\\_03.htm](http://www.funcionpublica.gob.mx/scagp/dgorcs/reglas/2004/otrosprogramas04/completos/ro_fonden_03.htm), [Fecha de Consulta 10 de Marzo de 2012]

Ribera M. “*Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas*”. Universidad de Girona. Departamento de Geografía. Girona. 2004.

ROFOPREDEN (“*Reglas de Operación del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales*”), Publicado en el D.O.F. 23 de Diciembre de 2010. México. Disponible en:

[http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/330/1/images/REGLAS\\_FOPREDEN\\_2010.pdf](http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/330/1/images/REGLAS_FOPREDEN_2010.pdf) [Fecha de Consulta 15 de Febrero de 2012]

Roger M. M. “ *Development of a higt-resolution 1D/2D coupled flood simulation of Charles city, Iowa*”. Universidad de Iowa, Mayo 2011. 85pp.

Rojers J. “*Historical Background on the New Orleans Levee System*”. Natural Hazards Mitigation Intitute, Univerity of Missouri-Rolla. Recurso electrónico disponible en: <http://web.mst.edu/~rogersda/levees/Historic%20background%20on%20the%20New%20Orleans%20Levee%20system%20-Chapter%204.pdf>. [Fecha de consulta Marzo 2012].

Rodríguez V. J y García. S. J. “*Elaboración de un modelo de simulación hidráulica y de un sistema de información geográfica del sistema de drenaje pluvial de la zona conurbada de Guadalajara, Jalisco*”. Contrato: HIS/IMTA/07-08,2006/1. Año 2007-2008. 390pp

Rodríguez V. M, et al. “*Programa para el manejo del agua pluvial de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo*” Informe técnico, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA) 2012.

Saksena R. “*Monsoon Floods: A recurring hazard, Emergency and Humanitarian Action*”, World Health Organization, Focus, Volume 1, 2007.

Salas S. M. A. “*Metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones en zonas urbanas*”. CENAPRED, Dirección de investigación, Subdirección de Riesgos por Inundación. Enero 2010. 91pp

Salas. S.M.A. “*Obras de protección contra inundaciones*”. Cuadernos de investigación no.49. CENAPRED. México D.F. Noviembre 1999. 65pp.

SALUD. (Secretaria de Salud) “*Programa Nacional de Salud 2007-2012 Por un México sano: construyendo alianzas para una mejor salud. (2007)*”. México D.F Disponible en: [http://portal.salud.gob.mx/descargas/pdf/pns\\_version\\_completa.pdf](http://portal.salud.gob.mx/descargas/pdf/pns_version_completa.pdf) [Consultado 15 Diciembre 2011]

Sanchez J., Sosa M. A. “*A real- time rainfall estimation system base on GOES-IR satellite imagery*”. IPWG, California, USA, 2004.

SCT (Secretaria de comunicaciones y transportes). “*Guía ejecutiva para la atención de emergencias en carreteras y puentes.*” Subsecretaria de infraestructura, dirección general de conservación de carreteras México. 2007. 61pp.

SCT (Secretaria de comunicaciones y transportes). “*Guía para la atención de emergencias en carreteras y puentes.*” Subsecretaria de infraestructura, dirección general de conservación de carreteras. México. 2011. 69pp.

SCT (Secretaria de comunicaciones y transportes). “*Anexos de la guía para la atención de emergencias en carreteras y puentes.*” Subsecretaria de infraestructura, dirección general de conservación de carreteras. México. 2011. 97pp.

SEDENA (Secretaria de la Defensa Nacional) sitio oficial: [www.sedena.gob.mx](http://www.sedena.gob.mx) [consultado en 31-Octubre de 2011].

SEDESOL (Secretaria de Desarrollo Social). “*Reglas de Operación del Programa Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos Ejercicio Fiscal 2011*”. Publicado en el D.O.F el 31 de Diciembre de 2010. Disponible en: [http://www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1516/1/images/rop\\_prevenccion\\_riesgos.pdf](http://www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1516/1/images/rop_prevenccion_riesgos.pdf) [Consultado 29 de Diciembre de 2011].

SEDESOL (Secretaria de Desarrollo Social) Sitio Oficial <http://www.sedesol.gob.mx/> . [Fecha de Consulta Diciembre 2011]

SEDENA(Secretaría de Defensa Nacional.) “*Ley Orgánica del Ejército y Fuerza Aérea Mexicanos*”. Publicada en D.O.F. el 26 de diciembre de 1986. México D.F Disponible en: [www.sedena.gob.mx/pdf/leyes/ley\\_organica.pdf](http://www.sedena.gob.mx/pdf/leyes/ley_organica.pdf) [fecha de consulta 31 Octubre de2011].

SEDENA (Secretaria de Defensa Nacional). Sitio Oficial <http://www.sedena.gob.mx/>. [Fecha de Consulta Noviembre 2011].

SEGOB, “*programa municipios seguro: resistente a desastres*” , sitio oficial disponible en: <http://www.municipioseguro.segob.gob.mx/es/MunicipioSeguro/>, [Fecha de consulta Marzo 2012].

SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (Instituto Nacional de Ecología INE) (2006). “*Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico*”. México D.F.

Disponible en [http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=540](http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=540)  
[Fecha de consulta 20 Diciembre 2011]

SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). “Guía de ordenamiento ecológico del territorio para autoridades municipales. (2009)”. Disponible en:[http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos%20ordenamiento/guia\\_oet\\_municipios/Guia%20OET%20CD.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos%20ordenamiento/guia_oet_municipios/Guia%20OET%20CD.pdf) [Fecha de consulta 22 Diciembre 2011].

SEMARNAT. (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales) Sitio Oficial. <http://www.semarnat.gob.mx/Pages/Inicio.aspx> [Fecha de Consulta Nov- Dic 2011]

SGG SLP. (Secretaria general de gobierno de San Luis Potosí). “*Guía para el establecimiento de refugios temporales.*” Gobierno del estado de San Luis Potosí. 2009-20015. 23pp.

SINAPROC(Sistema Nacional de protección Civil ). “*Ley general de protección civil*”. Publicada en el D.O.F. el 12 de mayo de 2000. México D.F. Disponible en: [www.proteccioncivil.gob.mx /work/models/ ProteccionCivil/Resource/6/1/images/lqpc.pdf](http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/6/1/images/lqpc.pdf). [Fecha de consulta 22 de Octubre de 2011].

SINAPROC (Sistema Nacional de Protección Civil). “*Programa municipio seguro: resistente a desastres*”. SINAPROC, 2010, 3pp.

SINAPROC. “*Programa Nacional de Protección Civil 2008-2012*”. Presentado en el D. O. F el 19 de septiembre del 2008. México D.F. Disponible en: [http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/183/programa\\_nacional\\_de\\_proteccion\\_civil\\_2008-2012.pdf](http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/183/programa_nacional_de_proteccion_civil_2008-2012.pdf) [Fecha de consulta 2 de Noviembre 2011].

SMN (Servicio Meteorológico Nacional). “*Estimación de lluvias con satélite a tiempo real*”. Recurso electrónico disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/>, [Fecha de consulta Abril 2012].

SMN (Servicio Meteorológico Nacional). “*Radares*”. Recurso electrónico disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/>, [Fecha de consulta Abril 2012].

Soriano E. J. “*Riesgos catastróficos: cobertura a través de reaseguro financiero*”. UNAM, Facultad de estudios superiores Aragón. México. 2005, 130pp. Tesis para maestría en economía financiera.

SOSAVE. "*innovative instant sandbag*". Recurso electrónico, disponible en: <http://www.sosavebag.com/index.html>, [Fecha de consulta Abril 2012].

Tzatchkov V.G. Caldiño V. I, "*Alcantarillado pluvial*", Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Comisión Nacional del Agua. Diciembre 2007. México D.F. 375pp.

Tzatchkov V.G. Caldiño V. I. "*Cárcamos de bombeo para alcantarillado, funcional e hidráulico*". Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Comisión Nacional de Agua. Diciembre 2007. México D.F. 130pp.

Tzatchkov V.G. Caldiño V. I." *Medidas preventivas para el suministro de agua potable en situación de emergencia*". Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Comisión Nacional de Agua. Diciembre 2007. México D.F.225pp

Tejeda M. A. "*Panorámica de las inundaciones en el estado de Veracruz durante 2005*". Recurso electrónico, disponible en: <http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/inundaciones/1.pdf>, [Fecha de consulta Febrero 2011]

Tucci C. E. "*Urban Flood Management*". World Meteorological Organization and International Network for Capacity Building in Integrated Water Resources Management, 2007, 315 pp.

USACE. (US Army Corps of Engineers). "*Flood Fighting: How to Use Sandbags*". Emergency Management Branch. Marzo 2001.

Valdés A.L. "*viviendas a prueba de inundaciones*". Recurso electrónico, disponible en: <http://www.obrasweb.mx/vivienda/2011/10/27/a-prueba-de-inundaciones>. [Fecha de consulta Marzo 2012].

WFEL "*Sistemas de puentes para ayuda en caso de emergencias y catástrofes*", Recurso electrónico disponible en: <http://www.wfel.com/es/productos-y-servicios/ayuda-emergencias-catastrofes/>, [Fecha de consulta Marzo 2012].

## 12. Glosario y Abreviaturas.

**Altimetría.** (También llamada hipsometría), parte de la topografía que trata de la medida de las alturas.

**Atarjea.** Conducto que lleva las aguas al sumidero.

**Atmósfera.** Es la capa de gas que rodea a un cuerpo celeste que tenga la suficiente masa como para atraer ese gas.

**Barlovento.** Referido a las laderas de una montaña o cordillera, es la ladera que recibe directamente los vientos húmedos procedentes del mar.

**Batimetría.** Estudio de las profundidades oceánicas mediante el trazado de mapas de isobatas, así como de la distribución de animales y vegetales marinos en sus zonas isobáticas.

**Biosfera.** Es el sistema formado por el conjunto de seres vivos propios del planeta tierra, junto con el medio físico que les rodea y que ellos contribuyen a conformar. En ocasiones se suele referir al espacio dentro del cual se desarrolla vida.

**Cárcava.** Hoyo o zanja grande que suele hacer las avenidas de agua.

**CENAPRED:** Centro Nacional de Prevención de Desastres.

**CEPAL.** Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

**CEPRENAC.** Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central.

**Charnela.** Bisagra. Herraje de dos piezas unidas o combinadas que, con un eje común y sujetas a un sostén fijo y otra a la puerta o tapa, permiten el giro de estas.

**Ciclón Tropical.** Es un término meteorológico usado para referirse a un sistema de tormentas caracterizado por una circulación cerrada alrededor de un centro de baja presión y que produce fuertes vientos y abundante lluvia. Los ciclones tropicales extraen su energía de la condensación de aire húmedo, produciendo fuertes vientos. Se distinguen de otras tormentas ciclónicas, como las bajas polares, por el mecanismo de calor que las alimenta, que las convierte en sistemas tormentosos de núcleo cálido.

Dependiendo de su fuerza y localización, un ciclón tropical puede llamarse depresión tropical, tormenta tropical, huracán, tifón o simplemente ciclón.

**Cirrus.** Es un tipo de nube compuesto de cristales de hielo y caracterizado por bandas delgadas y finas. Nube blanca y ligera, en forma de barras de pluma o filamentos de lana cardada, que se presenta en las regiones superiores de la atmósfera.

**Cloroquina.** Es un medicamento usado para prevenir y tratar la malaria que es una infección en los glóbulos rojos transmitida por mosquitos.

**Colmatación.** Se denomina comúnmente colmatación a la acumulación de sedimentos. Por lo que se dice que un suelo está colmatado, cuando, su permeabilidad original se ha reducido sustancialmente.

**CONAFOR.** Comisión Nacional Forestal.

**CONAGUA.** Comisión Nacional del Agua.

**Correctivo.** Que atenúa o subsana.

**CRAE.** Centro Regional para la Atención de Emergencias.

**Dentellón.** Pieza, a modo de un diente grande, que se suele echar a lo largo de la membrana impermeable con la cimentación.

**EM-DAT.** The international Disaster Database.

**EWC.** Early Warning Conference.

**Embarro o bajareque.** Es la denominación de un sistema de construcción de viviendas a partir de palos entretreídos con cañas o carrizos y barro. Esta técnica ha sido utilizada desde épocas remotas para la construcción de viviendas en pueblos indígenas de América.

**Enfermedad endémica.** Son aquellas infecciones que afectan de forma permanente, o en determinados periodos a una región. Se entiende por endémica una enfermedad que persiste durante un tiempo determinado en un lugar concreto y que afecta o puede afectar a un número importante de personas.

**Esquistosomiasis.** Es una enfermedad parasitaria producida por gusanos. Las personas se infectan durante el contacto con aguas infestadas. En el interior las larvas viven en los vasos sanguíneos, donde las hembras ponen sus huevos. Algunos de esos huevos salen del organismo con las heces o la orina y continúan el ciclo vital del parásito. Otros quedan atrapados en los tejidos, donde causan una reacción inmunitaria y un daño progresivo a los órganos.

**Floculación.** Agregación de partículas sólidas en una dispersión coloidal, en general por la adición de algún agente.

**FONDEN.** Fondo de Desastres Naturales.

**FOPREDEN.** Fondo para la Prevención de Desastres Naturales.

**Frente (meteorología).** Un frente es una franja de separación entre dos masas de aire de diferentes temperaturas. Se los clasifica como fríos, cálidos, estacionarios y ocluidos según sus características. (p.e. Un frente frío es una franja de mal tiempo que ocurre cuando una masa de aire frío se acerca a una masa de aire caliente)

**Germoplasma.** Es el conjunto de genes que se transmite por la reproducción, es usado comúnmente para designar a la diversidad genética de las especies vegetales de interés para la agricultura. En otras palabras es cualquier parte de las plantas de los bosques, selvas y semidesierto que puede generar otra nueva planta, puede ser a través de semillas, estacas, rebrotes, entre otros.

**Giardiasis.** Es una enfermedad diarreica ocasionada por la Giardia intestinalis, un parásito microscópico unicelular que vive en el intestino de las personas, y se transmite a través de una persona o animal infectado. Este parásito está protegido por una cobertura exterior que le permite sobrevivir fuera del cuerpo y en el medio ambiente por largos periodos.

**HEC-RAS.** Hydrologic Engineering Centers River Analysis System

**Helmintiasis.** Enfermedad producida por gusanos, parásitos que viven alojados en los tejidos o en el intestino de un vertebrado.

**Hidrosfera.** Conjunto de partes líquidas del globo terráqueo.

**INEGI.** Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información.

**Isóbata.** Curva para la representación cartográfica de los puntos de igual profundidad en océanos y mares, así como en lagos grandes.

**LAN.** Ley de Aguas Nacionales.

**LGAH.** Ley General de Asentamientos Humanos.

**LGEEPA.** Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

**LGPC.** Ley General de Protección Civil.

**Litosfera.** Envoltura rocosa que constituye la corteza sólida del globo terrestre.

**LIDAR.** (Ligth Detection and Ranging) Es una tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado.

**Lluvia orográfica.** Es la producida por el ascenso de una columna de aire húmedo al encontrarse con un obstáculo orográfico.

**Marea de tormenta.** La disminución de la presión atmosférica del centro del ciclo tropical y los vientos de este fenómeno sobre la superficie del mar originan un ascenso del nivel medio del mar que es conocido como marea de tormenta. Ella puede provocar inundaciones en las zonas bajas continentales cercanas al mar y que las olas impacten sobre estructuras costeras.

**Menaje.** Corresponde de un conjunto de muebles y accesorios de una casa.

**Mesoescala.** Un fenómeno de mesoescala es aquél que tiene una duración entre 1 y 12 horas o una extensión horizontal entre 1 y 100 km, o una altura entre 1 y 10 km.

**MDT o MDE.** Modelo Digital del Terreno. Es una representación en 3D de la superficie de un terreno, creada a partir de los datos de altitud del terreno.

**OEA.** Organización de los Estados Americanos.

**OMW.** Organización Meteorológica Mundial. (World Meteorological Organization).

**ONU.** Organización de Naciones Unidas.

**Palafito.** Vivienda primitiva construida por lo común dentro de un lago, sobre estacas o pies derechos.

**PAI.** Plan de Acción Inmediato.

**PAU.** Plan de Acción Urgente.

**Periodo de retorno.** Es el número de años que un evento puede ser igualado o excedido en promedio y a la larga.

**PIHT.** Plan Integral Hídrico de Tabasco.

**PIB.** Producto Interno Bruto.

**Piscícola.** De piscicultura, término bajo el que se agrupan una gran diversidad de cultivos de de peces.

**PND.** Plan Nacional de Desarrollo.

**PNH.** Programa Nacional Hídrico.

**Posteadora.** Herramienta manual que es utilizada para obtener muestras de arena, limos, arcillas o mezclas de éstos, que no contengan gravas o cantos rodados.

**PRAH.** Programa de Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos.

**Precio sombra.** Es el precio de referencia que tendría un bien en condiciones de competencia perfecta, incluyendo los costos sociales además de los privados. Representa el costo oportunidad de producir o consumir un bien o servicio.

**Preventivo.** Ver con anticipación, conocer, conjeturar por algunas señales o indicios lo que ha de suceder.

**Resiliencia.** Capacidad humana de asumir con flexibilidad situaciones límite y sobreponerse a ellas.

**Riesgo.** Es el daño potencial que puede surgir por un proceso presente o suceso futuro. En ocasiones se le utiliza como sinónimo de probabilidad, pero en el asesoramiento profesional de riesgo, éste combina la probabilidad de que ocurra un evento negativo con cuánto daño causaría dicho evento, Es decir, el riesgo es la posibilidad de que un peligro pueda llegar a materializarse. También es la probabilidad de que un resultado esperado ocurra.

**SALUD.** Secretaría de Salud.

**SAGARPA.** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

**SCT.** Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

**SEDENA.** Secretaría de Defensa Nacional.

**SEDESOL.** Secretaría de Desarrollo Social.

**SEGOB.** Secretaría de Gobernación.

**SEMAR.** Secretaría de Marina.

**SEMARNAT.** Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

**SHCP.** Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

**Shigelosis.** Relacionada con la disentería. Que es una enfermedad infecciosa y específica que tiene por síntomas característicos la diarrea con pujos y alguna mezcla de sangre.

**SINAPROC.** Sistema Nacional de Protección Civil.

**Vulnerabilidad.** Es una medida de qué tan susceptible es un bien expuesto a ser afectado por un fenómeno perturbador. También se refiere a las características de una persona o grupo desde el punto de vista de su capacidad para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural. Implica una combinación de factores que determinan el grado hasta el cual la vida y la subsistencia de alguien quedan en riesgo por un evento distinto e identificable de la naturaleza o de la sociedad.