precipitación total de acuerdo con la ecuación:

$$P_E = \frac{\left[P_T - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P_T + \frac{2032}{N} - 20.32} \quad (5)$$

donde PE y Pt se miden en cm.

Estos modelos y muchos otros que se han desarrollado en la literatura técnica, son sólo aproximaciones al proceso real, por lo que es necesario calibrarlos con la información de lluvias y escurrimiento registrada para varias tormentas.

En cuanto a la transformación de la lluvia efectiva en escurrimiento directo, se ha podido probar que desde un punto de vista práctico y siempre que la información, particularmente la relativa a la precipitación efectiva, sea confiable, el modelo del hidrograma unitario instantáneo (es decir, un modelo de transferencia lineal) permite caracterizar adecuadamente dicha transformación (ver referencias 4 y 5, por ejemplo).

El modelo del hidrograma unitario se representa por la relación

$$Q(t) = \sum_{K=1}^{NP} Pe(k) \cdot U(t-k+1); \; t = 1,2\text{----}NQ \quad (6)$$

donde

$$NQ = NP + NU - 1; \quad (7)$$

Q(t) y U (t) son, respectivamente, la magnitud del escurrimiento directo y del hidrograma unitario, para el intervalo t.

NP, NQ y NU son el número de intervalos de tiempo con valores de precipitación efectiva, escurrimiento directo y escurrimiento unitario, respectivamente.

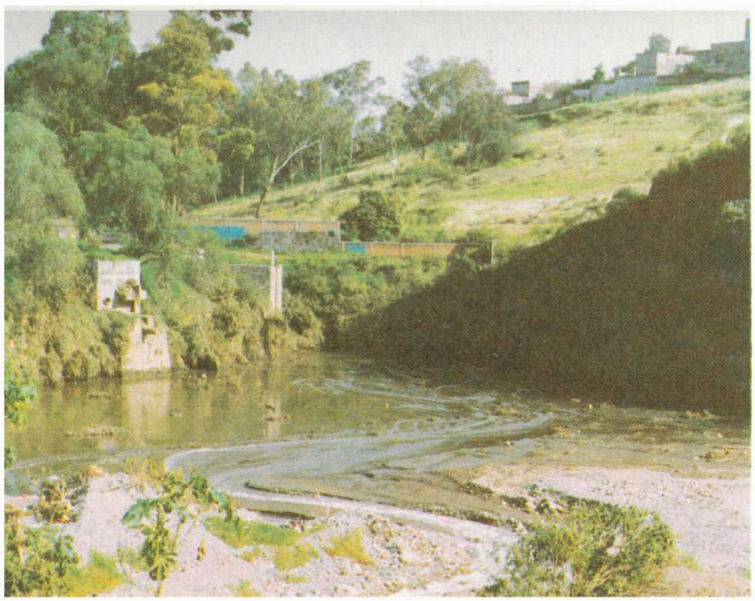
Los valores U(t) del hidrograma unitario se calibran utilizando la información de precipitación efectiva y escurrimiento directo de varias tormentas.

Cuando la cuenca es muy grande y sus características varían considerablemente de un punto a otro, es necesario dividir la cuenca en subcuencas, calibrar los modelos para cada una de ellas y transitar las avenidas por los cauces hasta la salida de la cuenca total.

En resumen, en cada caso se requiere calibrar, de preferencia con la información de varias tormentas, los modelos de pérdidas, los de transformación de lluvia efectiva en escurrimiento directo y los de tránsito de avenidas por los cauces. Una vez calibrados los modelos, y si se cuenta con un sistema eficiente para medir la precipitación y transmitir la información a un centro de registro y pronóstico, es posible pronosticar los escurrimientos con bastante precisión.

En el caso de la predicción a largo plazo de los escurrimientos que pueden pasar en un sitio en donde se diseña una obra hidráulica de regulación o drenaje, la "predicción" se realiza asociando una función de distribución de probabilidades a los gastos máximos registrados:

$$F_Q(q) = \text{prob}\{Q < q\} \quad (8)$$



MEDIDAS DE PROTECCION

Para mitigar los daños causados por las inundaciones, es posible desarrollar una serie de medidas de protección; dichas medidas pueden clasificarse en estructurales y no estructurales o institucionales. En general es conveniente el uso conjunto de ambos tipos de medidas.

Las medidas estructurales están constituidas por cualquier obra hidráulica destinada al control de inundaciones. De acuerdo con su función puede dividirse en:

a) Obras de regulación. Son fundamentalmente las presas que permiten almacenar temporalmente las avenidas para después descargarlas en forma controlada.

b) Obras cuya función es facilitar el transporte rápido del agua, disminuyendo el tirante de agua en ríos y canales para evitar que se desborden. Algunas de ellas son la rectificación de cauces, el corte de meandros y en general los conductos de drenaje construidos artificialmente.

c) Bordos de protección. Su función es confinar el agua dentro del cauce del río o bien evitar que la inundación alcance poblaciones o zonas de gran importancia económica.

El objetivo de las medidas no estructurales o institucionales no es tanto evitar las inundaciones como disminuir los daños que causan. Pueden clasificarse en medidas de operación y medidas permanentes.

Las medidas de operación se utilizan cuando se presenta un fenómeno meteorológico que pueden causar una inundación. Se instrumentan de acuerdo con los pronósticos y, por ello, su efectividad depende de la precisión de dichos pronósticos. Las principales medidas de este tipo son: la difusión de boletines de alerta, la operación de la infraestructura hidráulica y la evacuación de personas y bienes afectables.

MEDIDAS PERMANENTES

Están constituidos básicamente por la reglamentación y control del uso del suelo, con el propósito de evitar que los bienes de mayor valor económico o social se ubiquen en zonas sujetas a riesgo de inundación. Así, en algunos países (ver ref. 2 por ejemplo) se han establecido restricciones en el uso del suelo como la que se muestra esquemáticamente en la figura 5.

Sin embargo, si se analizan las causas de las principales catástrofes provocadas por las crecientes en los últimos años y se piensa en las tendencias actuales del desarrollo de la urbanización, sobre todo en ciudades de rápido crecimiento, se encuentra que este tipo de reglamentación no es suficiente.

El caso de la inundación de la zona residencial de Atlamaya, en la cuenca del río Tequilasgo, en el Distrito Federal, en 1992, y el de las inundaciones en la ciudad de Tijuana, a principios de 1993, muestran que el desarrollo urbano que invade las barrancas y en general las zonas montañosas no sólo causa daños por inundación en estas zonas, sino que afecta muy severamente las áreas situadas al pie de las montañas, que habían sido urbanizadas previamente.

Para entender estos problemas es necesario pensar en que cualquier modificación a las condiciones naturales del suelo afecta no sólo a la zona modificada, sino que repercute, inclusive en forma más grave, hacia aguas abajo. En el caso de las zonas urbanas situadas al pie de las montañas, el problema se concentra debido a que en ellas la pendiente de los cauces disminuye bruscamente y, por lo tanto, disminuye la capacidad de conducción de los cauces.

También hay que hacer notar que el problema no es únicamente derivado de la extensión de la zona urbanizada hacia las montañas sino que, por el sólo hecho de la desforestación de estas zonas, las crecientes que en condiciones naturales conducían fundamentalmente agua, al escurrir por montañas desforestadas conducen más bien lodo.

Otro fenómeno que se da cada vez con mayor frecuencia es la ocupación de los cauces o las zonas de planicie inundable, aguas abajo de las presas de almacenamiento. Este fenómeno, derivado de una percepción exagerada de seguridad

FIG. 5 ZONIFICACION DE PLANICIES INUNDABLES

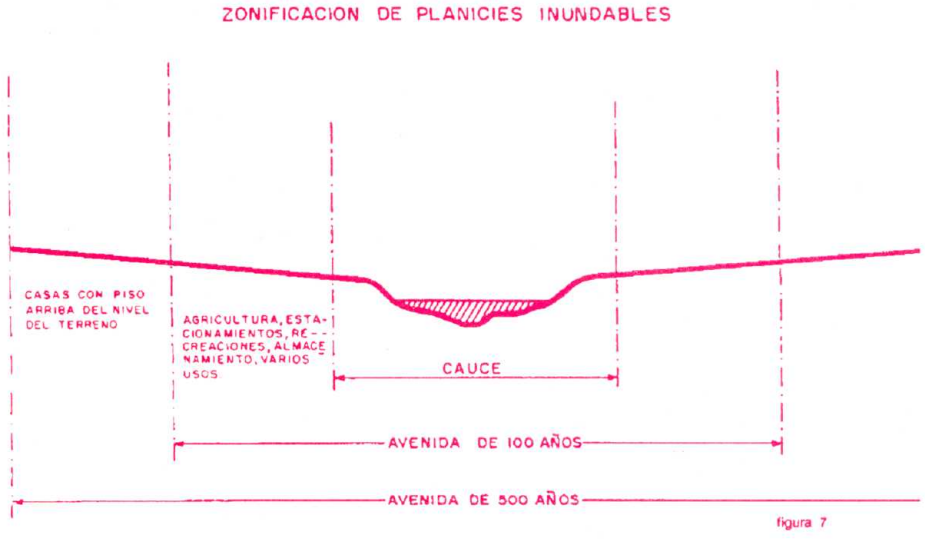


figura 7

e impulsado por la demanda creciente de suelos aptos para el cultivo, provoca restricciones en las políticas de operación de las presas, de tal forma que en el intento por proteger a la población asentada en estas zonas, no se cumple cabalmente con los objetivos para los que la presa fue diseñada y, a final de cuentas, aunque los gastos máximos de descarga disminuyan, los daños provocados por estas descargas pueden incrementarse.

Los dos tipos de problemas descritos muestran que las alteraciones en el uso del suelo en un sitio determinado provocan problemas no sólo en este sitio sino también aguas abajo (en el caso de la urbanización o la desforestación de las laderas de las montañas) o aguas arriba (en el caso de la ocupación de los cauces aguas abajo de una presa).

En resumen, parece indispensable reglamentar y establecer controles efectivos en el uso de suelo, sin los cuales, debido a la presión derivada de condiciones económicas, sociales y políticas, los problemas se irán agravando hasta que tengamos que lamentar desastres de grandes proporciones.

Referencias

1.- Programa Nacional para el Control de Avenidas y la Prevención de Daños por Inundaciones. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Administración del Agua, noviembre, 1990.

2.- Luis Berga Casafont "La Problemática de las Inundaciones y los Sistemas de Alarma y Previsión de Avenidas" en el libro Avenidas, Sistemas de Previsión y Alarma, publicado por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, España, 1987.

3.- Jiménez E, Martín, "Determinación de Coeficientes de Escurrimiento a partir de las características de las Cuencas, Informe Interno, Centro Nacional de Prevención de Desastres, noviembre. 1992..

4.- Viessman W.J., et al., "Introductión to Hydrology", Harpor & Row, New York, 1989.

5.- Domínguez M..R., "Revisión de las Avenidas de diseño de las Presas del Río Grijalva", Informe Interno, Instituto de Ingeniería, 1977.

Dr. Ramón Domínguez, Jefe del Area de Riesgos Hidrometeorológicos del Centro Nacional de Prevención de Desastres, (CENAPRED)