

## SECCION 3

### MEDIDAS DE EMERGENCIA

#### GENERALIDADES

3.1 En los momentos en que se producen graves inundaciones, cuando el desastre es inminente y las medidas de control de crecidas no son suficientes para resolver las condiciones extremas, sólo pueden emprenderse fundamentalmente dos acciones directas para evitar, o mitigar al menos, graves daños y pérdidas de vidas. Son la evacuación de personas y bienes y la utilización de dispositivos provisionales para impedir que se derrumben las estructuras y que las aguas de inundación lo aneguen todo. Para que estas acciones sean eficientes es importante que se conozca previamente, con precisión, el fenómeno que amenaza. De lo contrario, después de actuar tal vez se descubra que no era necesario hacerlo o tal vez no se haga nada y las consecuencias podrían ser desastrosas. Es necesario que se dé a conocer a las comunidades la gravedad probable de la inundación, la duración de los niveles de altura de las aguas y el tiempo en que vayan a producirse. También es necesario que se les advierta de las consecuencias probables si no se hace nada.

Además de los beneficios inherentes a los pronósticos exactos, la eficiencia de la alarma depende en gran medida de que se dé a su debido tiempo. Cuanto mayor sea la antelación con que se dé la alarma, más valiosa será para los que han de participar en la aplicación de las medidas de emergencia. Pero esto sólo será posible, en primer lugar, si pueden obtenerse fácilmente los datos ambientales relativos a la crecida fluvial; en segundo lugar, si se pueden traducir esos datos en estimaciones de parámetros importantes de la crecida, como los niveles máximos, duración, etc.; y, en tercer lugar, si esas estimaciones se pueden transmitir inmediatamente como material de alarma a las autoridades de control de crecidas, de lucha contra las inundaciones y de evacuación.

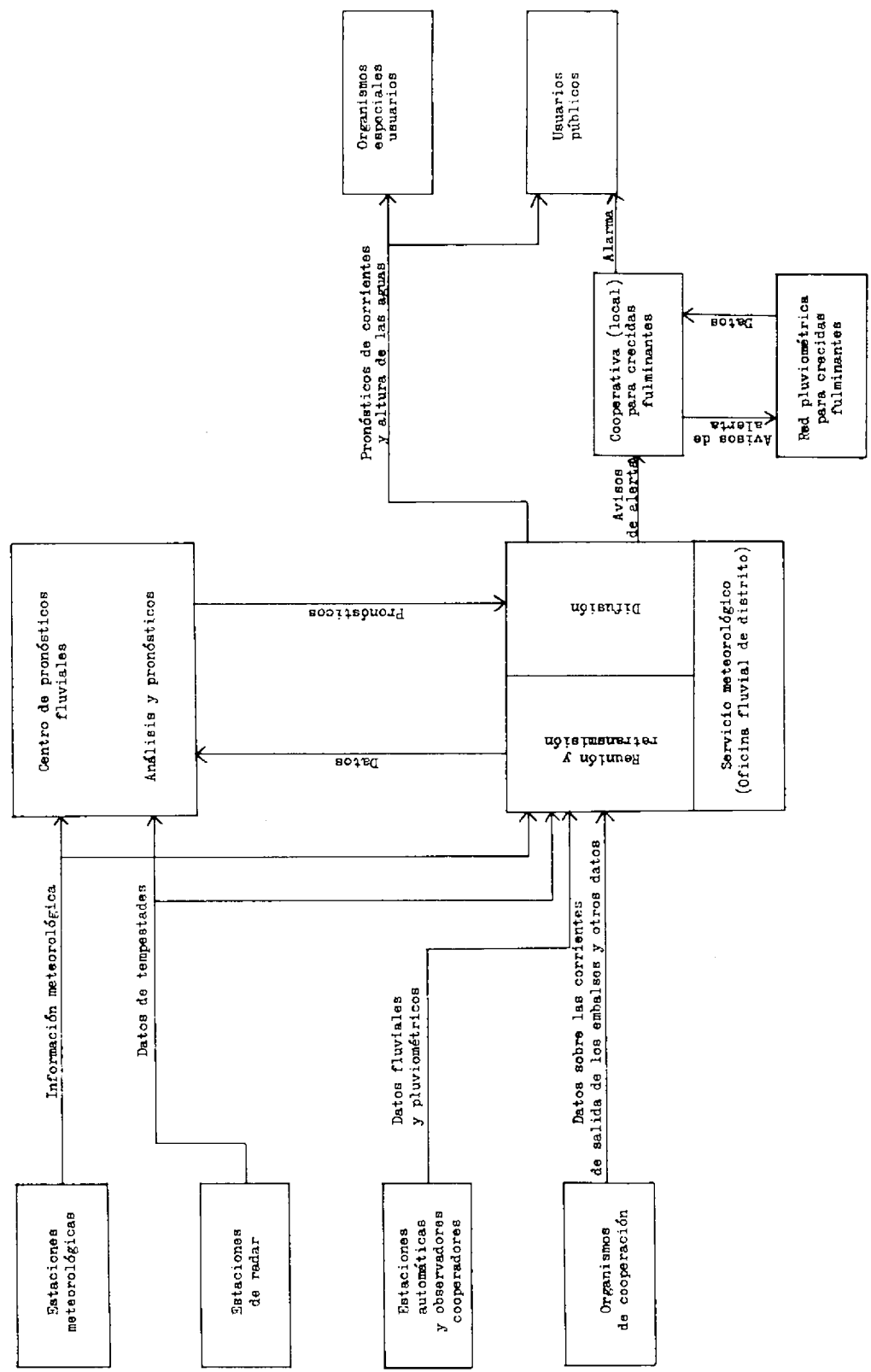
La prevención de desastres mediante medidas de emergencia depende de una corriente claramente identificable de información entre diversos centros responsables. Los sistemas de organización establecidos para dicha corriente tienen notables analogías en su aspecto general; difieren en los detalles, con mucha frecuencia por razones no técnicas. En la Figura 3.1 se muestra un ejemplo de sistema operacional correspondiente al Servicio Meteorológico Nacional del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, que comprende hasta la fase de participación de las autoridades de preparación para caso de emergencia.

Una descripción de las medidas de emergencia en caso de inundación consiste en lo fundamental en describir el sistema correspondiente y otros similares y la acción directa de control de crecidas, así como las que han de adoptar las autoridades encargadas de la preparación para casos de emergencia.

#### METODOLOGIA DEL PRONOSTICO DE CRECIDAS

3.2 Como en el caso de la evaluación de los riesgos de inundaciones y de prevención de desastres por medio del aprovechamiento de la tierra y otras medidas de control, un aspecto clave de las medidas de emergencia es la metodología

FIG. 3.1 - Cráfico de operaciones de pronósticos fluviales y de crecidas



hidrológica básica empleada en la formulación de pronósticos. Guarda relación primariamente con este factor la exactitud, y uno de sus aspectos necesarios es la capacidad para predecir las características de riesgo de crecida fluvial con un número limitado de datos hidrometeorológicos comprobados en relación con el hecho. Es importante que resulte posible hacer predicciones con grado tolerable de exactitud en proporción al tiempo necesario para adoptar medidas de emergencia.

La exactitud requerida y la tempestividad condicionan los métodos hidrológicos adoptados para efectuar las predicciones. Al combinarse ambos aspectos se obtiene frecuentemente como resultado una fórmula de transacción en la que inicialmente se efectúan pronósticos con mucha anticipación, aunque de menor exactitud, que luego se actualizan y mejoran mediante uno o más pronósticos formulados cuando se aproxima el momento del acontecimiento.

En tiempos ya pasados, los métodos utilizados eran siempre sencillos para permitir una rápida computación manual del pronóstico. Ahora se dispone de técnicas hidrológicas más elaboradas pero en general exigen más datos comprobados y especialmente más ayudas computarizadas, tales como ordenadores analógicos y digitales y su equipo periférico. Es interesante advertir que algunos hidrólogos siguen prefiriendo el empleo de la técnica más simple. Esto podría representar, por una parte, una resistencia natural a aceptar una metodología nueva y más complicada, pero, por otra parte, en muchos casos corresponde probablemente a una opinión práctica de que si se mantiene un enfoque sencillo es menor el riesgo de errores y de que muchos métodos operacionales simples, que dan ya un rendimiento satisfactorio, hacen innecesarias otras técnicas. Hay espacio para la metodología tanto complicada como simple. Pero, por supuesto, la primera deberá ser la única adoptada cuando la segunda no sea apropiada.

Los métodos de pronósticos de inundaciones relativos a los hechos incipientes en las causas meteorológicas se clasifican en dos grandes grupos generales:

- a) los métodos que dependen en gran parte de los datos sobre el nivel o el caudal del río, y
- b) los métodos que utilizan las relaciones establecidas o las técnicas de modelos de los procesos de pluviosidad-escorrentía o nieve fundida-escorrentía.

Existe entre ambos grupos una cierta interacción.

#### Datos de base fluvial

3.2.1 Se pueden determinar relaciones provechosas y exactas entre los niveles o caudales de los ríos en dos o más secciones de un sistema fluvial, tanto respecto de los tramos con mareas como de los que no tienen mareas. Las relaciones se representan frecuentemente en forma gráfica y se suelen formular como una serie de expresiones algebraicas de naturaleza puramente empírica. Pueden utilizarse para predecir las condiciones de la crecida, con una anticipación de horas, de días y a veces incluso de semanas. Existen diversas técnicas, que se denominan en conjunto previsión de riadas, y que comúnmente se refieren a la solución de las ecuaciones

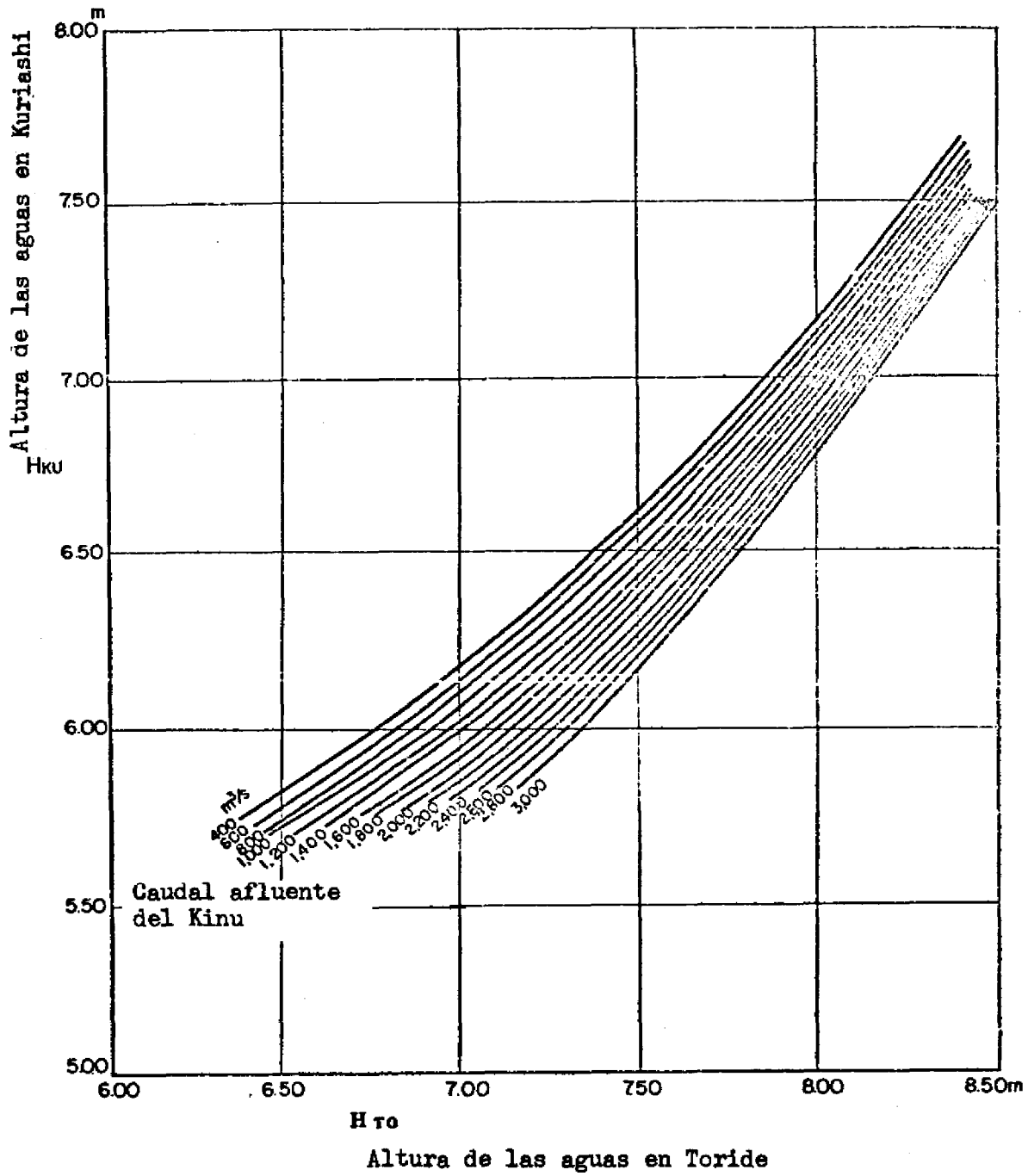
de flujo variado en cauce abierto, basadas en la identidad física, pero que en un sentido más amplio pueden incluir otras técnicas, tales como una sencilla comparación entre distintas alturas de la superficie líquida.

Una aplicación de una correlación sencilla y eficaz entre distintas alturas de la superficie líquida, que se utiliza en el Japón, aparece en la Figura 3.2: se predicen los niveles máximos del río Tone en Toride, conociendo los niveles máximos en Kurishashi, que se encuentra aproximadamente a una distancia de 45 km aguas arriba y las aportaciones intermedias de caudal del río Kinu (Fig. 3.3). Se emplea una relación cronológica entre los máximos para predecir cuándo comenzarán los niveles de crecida en Toride. Un proceso similar de predicción del nivel fluvial se aplica al río Danubio en Hungría. El Organismo Hidrológico Nacional de Hungría obtiene datos sobre el nivel del río de diferentes secciones a lo largo del mismo, con inclusión de los datos que transmiten países vecinos. Son así posibles pronósticos con una antelación hasta de 6 días, y la exactitud de la predicción es de + 10 a 50 cm. Considerado en relación con el "francobordo" o margen de seguridad de 100 a 150 cm en la cresta del dique de defensa por encima del nivel de la crecida de cálculo, esta precisión es satisfactoria.

En los Países Bajos se utiliza un método eficaz, aunque su base sea de carácter más físico, para la predicción de los niveles del río Rhin en Lobith, en la frontera germanoneerlandesa. Los niveles fluviales en 25 secciones principales del río y en 15 secciones de afluentes se convierten en valores de caudal mediante la determinación de coeficientes altura-caudal en cada sección. Estos datos tienen su origen principalmente fuera de los Países Bajos, en Alemania occidental, y muchos de ellos se obtienen de los boletines de noticias radiadas alemanes, que se emiten a las 9 horas de cada día, cuyos destinatarios son en general todos los que utilizan el río con fines de navegación. Se obtiene información adicional por teléfono. Los volúmenes de caudal se suman en forma ordenada para predecir los caudales y niveles en Lobith con períodos de antelación hasta de cuatro días (Figs. 3.4A y 3.4B). El plano anotado indica que los caudales en ciertos puntos de la red de desagüe tardan un número predeterminado de días (demoras) antes de surtir efecto en los caudales en Lobith, y el cuadro constituye un ejemplo de la predicción en Lobith de los caudales y niveles, utilizando lapsos hasta de cuatro días. Es necesaria la extrapolación de las aportaciones de caudal de los afluentes con cierta antelación y para ello se utiliza un elemento de síntesis pluviosidad-escorrentía; se emplean asimismo coeficientes de corrección deducidos empíricamente para compensar la discrepancia en el pronóstico de volumen acumulativo y la atenuación de la onda de crecida. Este método se ha ido desarrollando progresivamente a lo largo de varios decenios y funciona con eficiencia y precisión.

La sencillez en la aplicación de tales técnicas y la precisión patente que pueden proporcionar, hace evidentemente que sean muy adecuados para pronosticar las crecidas en los grandes ríos; las demoras de tiempo en los grandes ríos, entre las secciones computadas, es con frecuencia de varios días, por lo que no se necesita demasiada frecuencia en el intervalo preciso de adquisición de datos. Se plantean dificultades cuando no se computan todas las corrientes afluentes. Esto exige una estimación de los caudales afluentes no medidos, utilizando técnicas de correlación o un procedimiento de relación pluviosidad-escorrentía. Infortunadamente, cuando se hace así suele perderse exactitud en la predicción. Un ejemplo de un gran río en que se da este caso es el río Mekong cuando discurre por sus tramos inferiores en Camboya.

Figura 3.2 - Correlación de la altura de las aguas entre Kuriashi y Toride, teniendo en cuenta la aportación del caudal del río Kinu



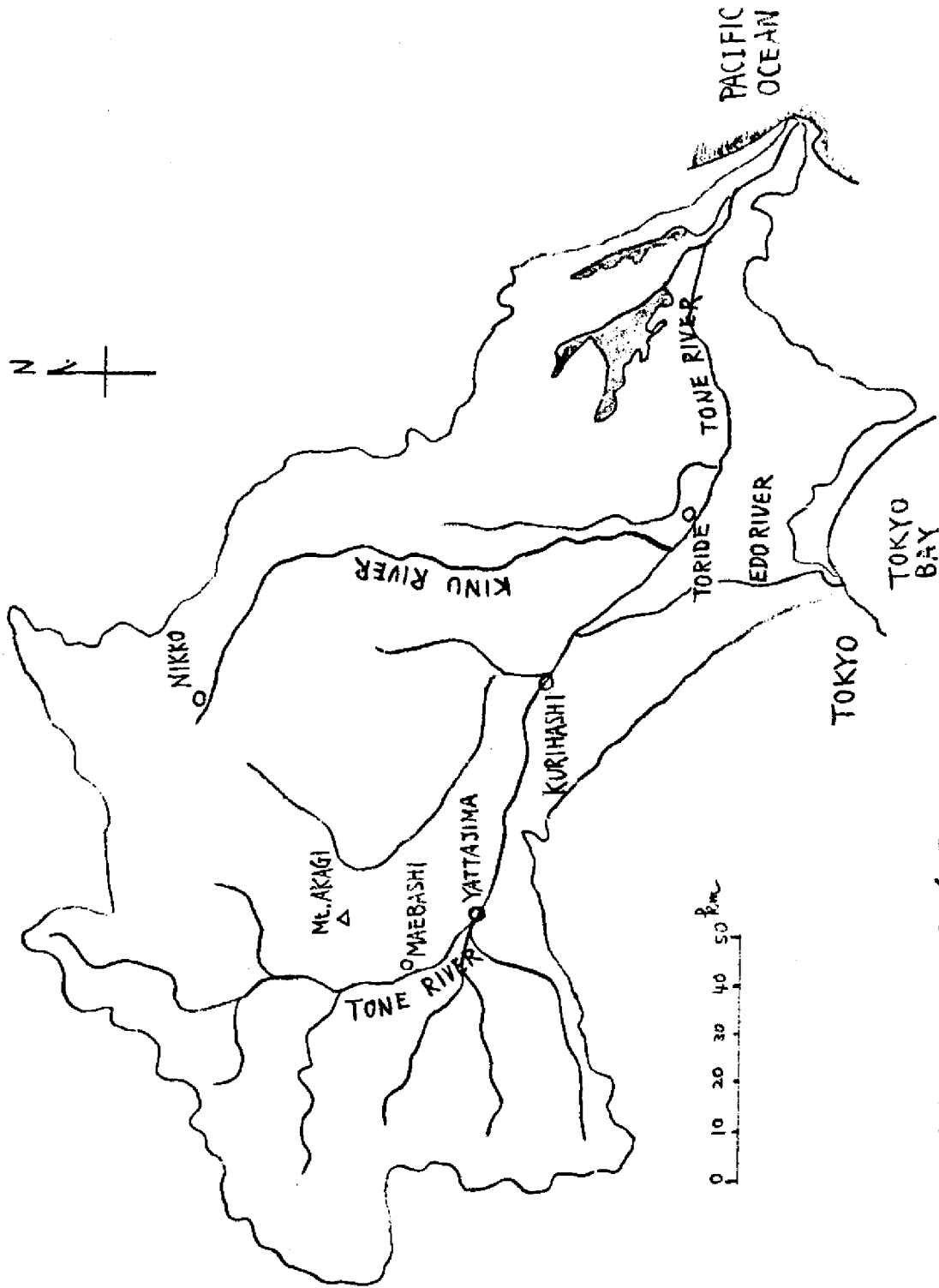


Figura 3.3 - Cuenca del río Tone

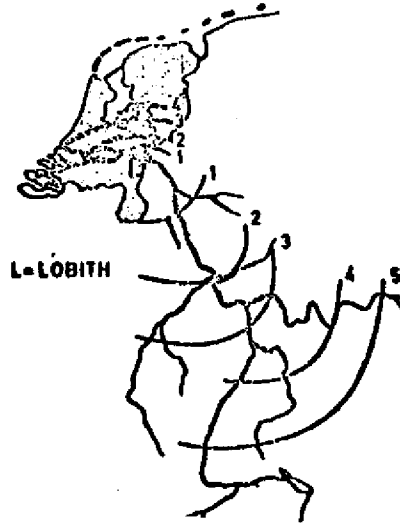


Figura 3.4A - Tiempo de recorrido de las crecidas en la cuenca del Rin, expresado en días, en relación con Lobith

| COLOR OF THE DAY | TRAVEL TIME UP TO LOBITH | WATER STAGES CORRESPONDING WITH THE STAGE AT LOBITH |             |              |              |              | DISCHARGES                            |             |              |              |              |      |
|------------------|--------------------------|---|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|------|
|                  |                          | TODAY<br>27   | 1 DAY<br>28 | 2 DAYS<br>29 | 3 DAYS<br>30 | 4 DAYS<br>31 | TODAY<br>27                           | 1 DAY<br>28 | 2 DAYS<br>29 | 3 DAYS<br>30 | 4 DAYS<br>31 |      |
| MAXAU            | 3 3/4 DAY                |   |             |              |              | 665          |                                       |             |              |              | 2700         | 2700 |
|                  |                          |   |             |              |              |              | -33% $\Delta_{qm}$                    |             |              |              |              | -30  |
| GUNDELSHEIM      | 3 1/2 DAY                |   |             |              |              | 420          |                                       |             |              |              | 620          | 620  |
|                  |                          |   |             |              |              |              | -33% $\Delta_{qz}$                    |             |              |              |              | -20  |
|                  |                          |   |             |              |              |              |                                       |             |              |              |              | -80  |
|                  |                          |   |             |              |              |              | ACCUMULATED CORR. CONTROL / CORR. 50% |             |              |              | 3020         | -50  |
| WORMS            | 3 DAYS                   |   |             |              | 405          | 535          |                                       |             |              |              | 2700         | 2700 |
|                  |                          |   |             |              |              |              | -33% $\Delta_{qny}$                   |             |              |              |              | -70  |
| GRIESHEIM        | 2 3/4 DAY                |   |             |              | 645          | 620          |                                       |             |              |              | 600          | 620  |
| GROLSHEIM        | 2 1/2 DAY                |   |             |              | 310          | 270          |                                       |             |              |              | 240          | 300  |
|                  |                          |   |             |              |              |              | -33% $\Delta_{qz}$                    |             |              |              |              | -30  |
|                  |                          |   |             |              |              |              | ACCUMULATED CORR. CONTROL / CORR. 50% |             |              |              | 3020         | -50  |
| KAUD             | 2 1/4 DAY                |   |             | x 523        | 535          | 560          |                                       |             |              |              | 3560         | 3310 |
|                  |                          |   |             |              |              |              | -33% $\Delta_{qx}$                    |             |              |              |              | -80  |
| KALKOFEN         | 1 1/2 DAY                |   |             |              | 450          | 400          |                                       |             |              |              | 660          | 720  |
| TRIER-175        | 2 3/4 DAY                |   |             |              | x 480        | 520          |                                       |             |              |              | 1000         | 1180 |
|                  |                          |   |             |              |              |              | -33% $\Delta_{qz}$                    |             |              |              |              | -80  |
|                  |                          |   |             |              |              |              | ACCUMULATED CORR. CONTROL / CORR. 50% |             |              |              | 3520         | +100 |
| KEULEN           | 1 1/4 DAY                |   |             | x 592        | 619          | 636          |                                       |             |              |              | 4880         | 5330 |
|                  |                          |   |             |              |              |              | -50%                                  |             |              |              |              | -20  |
| WETTER 50%       | 1 1/6 DAY                |   |             | x 264        | 245          | 225          |                                       |             |              |              | 920          | 470  |
|                  |                          |   |             |              |              |              | -50%                                  |             |              |              |              | -60  |
|                  |                          |   |             |              |              |              | ACCUMULATED CORR. CONTR. / CORR. 50%  |             |              |              | 420          | +10  |
| LOBITH           |                          | x 1370  | 1336        | 1424         | 1436         | 1459         |                                       |             |              |              | 4820         | 5120 |
| DATA             |                          | 27  | 28          | 29           | 30           | 31           |                                       |             |              |              | 27           | 28   |

• TO BE FILLED UP AT THE DAY BEFORE  
 X DERIVED FROM OBSERVED STAGE  
 I PREDICTED STAGE IN (COLOR OF THE DAY)

Figura 3.4B - Formularios para el pronóstico del caudal, en 1, 2, 3 y 4 días

Los procedimientos más rigurosamente analíticos para predecir las corrientes fluviales implican la solución de ecuaciones de base física del flujo variado en cauce abierto. La técnica "hidrológica" entraña una ecuación de continuidad y una expresión empírica entre el almacenamiento de agua en la red de cauces y las corrientes de desagüe y de alimentación. Estos métodos son bien conocidos y cuentan con amplia documentación; tienen además la ventaja de que con gran frecuencia pueden condensarse en una técnica sencilla de computación directa. Los métodos "hidráulicos" de previsión de riadas son todavía más rigurosos e implican la solución de ecuaciones tanto de almacenamiento como de energía del flujo variado. El empleo del método hidráulico se basa normalmente en ordenadores a causa de su complejidad, pero sus soluciones son en potencia las más exactas de todas, si no son importantes las corrientes afluentes no computadas. Su aplicación es ventajosa allí donde el sistema de canales es complejo y las corrientes de crecida no están dominadas por elementos hidrológicos. Por consiguiente, la previsión de riadas y los pronósticos hidráulicos son especialmente útiles en las regiones de estuarios y de deltas con mareas, como lo muestra el ejemplo del río Mekong, y en un sistema fluvial en el que existe un importante grado de control artificial.

Un ejemplo de este último aspecto lo proporciona el alto Rhin, en la República Federal de Alemania, Figura 3.5. Allí, las obras de regulación fluvial durante un prolongado período de tiempo han supuesto el acondicionamiento del río mediante realineaciones, reseccionamientos y construcción de diques de defensa contra las inundaciones, así como la construcción de canales auxiliares y desviaciones para la navegación y para la generación de energía hidroeléctrica. Este complejo sistema de drenaje y control constituye un complicado problema hidráulico que no puede resolverse fácilmente con las técnicas hidrológicas normales. En consecuencia, el Bundesanstalt (Koblenz) für Gewässerkunde ha desarrollado un modelo de previsión hidráulico para predecir el efecto de todos los controles, artificiales o naturales, sobre las corrientes de crecida (y las corrientes normales) y exige para su funcionamiento el empleo de ordenadores digitales.

Del ejemplo del Rhin se deducen dos aspectos, pertinentes e importantes en general, de la predicción hidráulica. En primer lugar, a pesar de las complejas restricciones y modificaciones de las fronteras, puede demostrar con bastante precisión la influencia que las obras y regímenes de control pueden tener sobre las corrientes de crecida (página 24). En segundo lugar, los métodos hidráulicos, una vez desarrollados, son de fácil aplicación para estudiar los efectos y las mejoras que deben introducirse mediante las obras fluviales propuestas. Se está investigando actualmente el control de las corrientes de crecida en el Rhin, por ejemplo, mediante el almacenamiento temporal del agua de crecida durante las corrientes máximas en depresiones locales del terreno que han subsistido como consecuencia de obras anteriores de realineación del río.

Otro aspecto que ha quedado demostrado en este ejemplo alemán es la necesidad de hibridizar en ocasiones diferentes métodos de pronóstico de crecidas. El tramo del río Rhin correspondiente requiere el pronóstico de las corrientes afluentes de Francia (especialmente el río Ill) y de Alemania. También es ventajoso tener pronósticos con bastante antelación de las corrientes principales de los afluentes de Suiza. Esto se está consiguiendo hasta cierto punto mediante modelos de pluviosidad-escorrentía y nieve fundida-escorrentía, pero todavía no se ha alcanzado una precisión suficiente para la predicción final de las corrientes de crecida en el río Rhin.



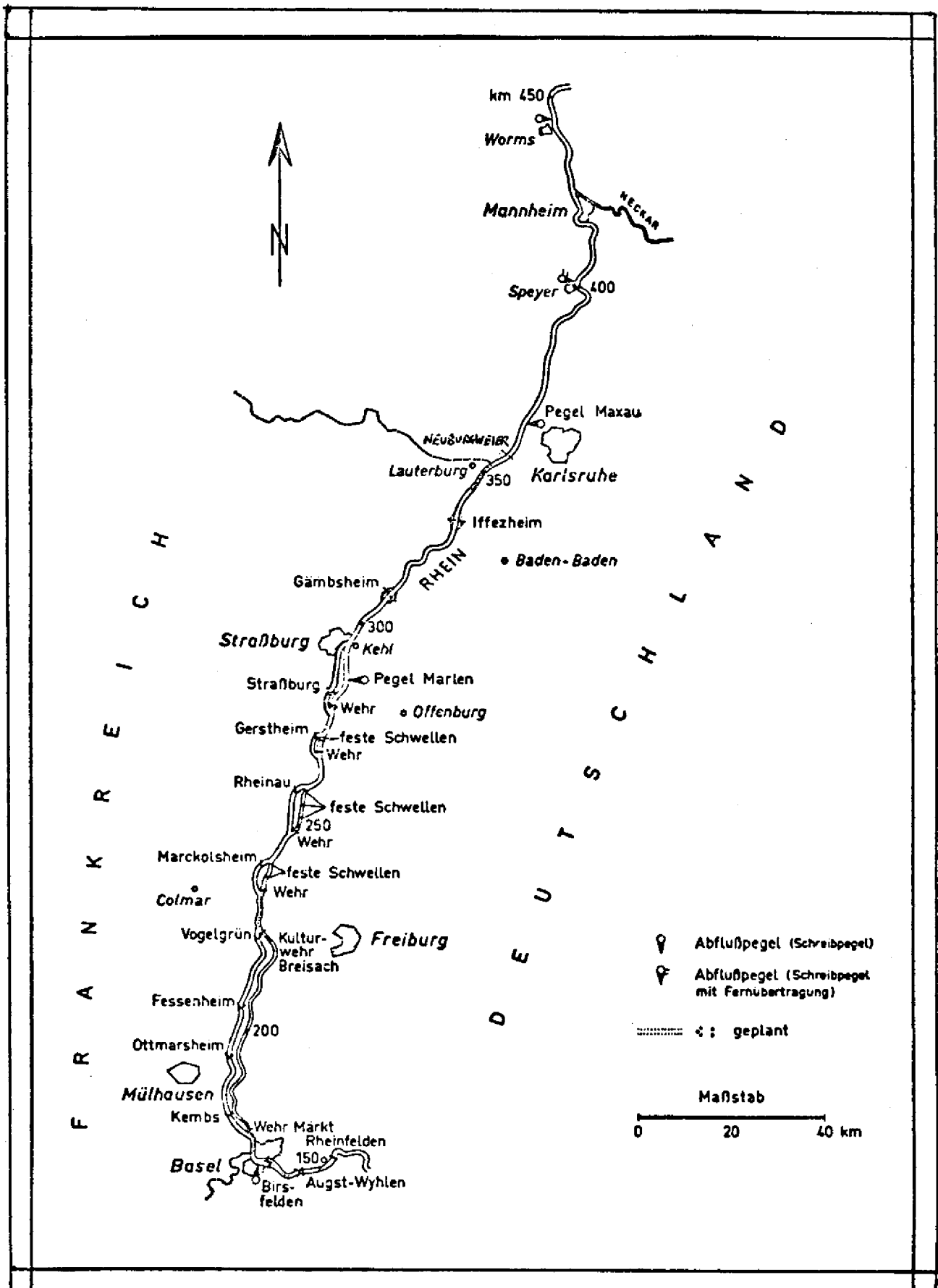


Figura 3.5 - Regulación fluvial del río Rhin

Los métodos con datos de base fluvial para el pronóstico de crecidas son en general más exactos que otros métodos.

### Métodos de pluviosidad-escorrentía

3.2.2 La determinación de las relaciones entre las precipitaciones tempestuosas y el caudal de crecida es importante en el pronóstico de crecidas por dos razones principales. En primer lugar, en muchos casos no resulta práctico la medición y monitoreo de todas las contribuciones importantes a las corrientes de crecida en un cauce fluvial. En segundo lugar, y esto se aplica especialmente a las áreas de captación de aguas pequeñas y de pendientes pronunciadas, cuando la escorrentía es rápida y pueden producirse crecidas fulminantes, el tiempo transcurrido entre la precipitación pluvial y las corrientes de crecida podría resultar insuficiente para permitir que se utilicen los métodos de datos con base fluvial.

Antes de que existieran ordenadores digitales y analógicos, las técnicas establecidas estaban limitadas a las que podían ser operadas mediante métodos sencillos de computación en el breve lapso de tiempo disponible. Como en el caso de los métodos de datos de base fluvial, muchos hidrólogos siguen siendo partidarios de estas técnicas sencillas siempre que actúen con precisión suficiente. Sin embargo, los ordenadores han entrado en el campo de los procedimientos más complejos de pronósticos para simular o construir modelos del proceso pluviosidad-escorrentía (y nieve fundida-escorrentía), que en general se supone que son más precisos que los métodos simplistas utilizados anteriormente. Unos pocos de esos modelos se han abierto camino en la formulación de pronósticos operacionales.

La mayoría de los pronósticos de pluviosidad-escorrentía conllevan dos características importantes: una técnica para determinar qué cantidad de las precipitaciones llegará a formar parte de la crecida fluvial y una técnica para transformar el volumen efectivo de las precipitaciones en un hidrógrafo o curva de una onda de crecida y/o caudal máximo. En un nivel muy elemental esto podría condensarse en una o más relaciones sencillas gráficas o algebraicas, entre el caudal máximo del río y las precipitaciones tormentosas medidas. Un sistema establecido para el río Chikugo, en el Japón, consiste en un conjunto de relaciones lineales simples entre los niveles máximos fluviales (Y shaku)\* y las precipitaciones tempestuosas (R mm) respecto a diferentes duraciones de las precipitaciones pluviales.

(por ejemplo:  $Y = 6,01 + 0,0436 R$  en 15 horas de duración de las lluvias).

Una técnica muy divulgada es la que determina en primer lugar el volumen de la escorrentía de la tempestad mediante una relación entre este volumen y diversos parámetros pertinentes, incluido el total de las precipitaciones, la duración de las mismas, la humedad inicial del área de captación, el tiempo del año, etc. Esta relación puede representarse en forma algebraica o en la forma muy difundida de correlación gráfica coaxial. La distribución en términos del volumen estimado de escorrentía (el hidrógrafo de la crecida) se efectúa por alguno de los métodos existentes; los dos que más se utilizan son las técnicas del hidrógrafo unitario y la de la superficie-tiempo.

\* Un shaku es una medida lineal que equivale aproximadamente a 30 cm.

Existen muchas variedades de este enfoque básico. Un ejemplo es el método desarrollado para pronosticar las crecidas en el valle del río Conway, del Norte de Gales. En este valle se producen graves crecidas sobre todo como consecuencia de las lluvias torrenciales en la cordillera Snowdonian, que se encuentra alejada del punto de las inundaciones. Como consecuencia, las alturas de la superficie líquida de la crecida se retrasan típicamente en su llegada al valle inferior, pero cuando llegan tienen carácter fulminante. Figura 3.6A.

Los pronósticos se formulan en tres partes:

1. El tiempo de traslación de la onda de crecida  $T_0$  y la crecida  $T_2$  se predicen utilizando relaciones bien definidas con la duración estimada de la precipitación y el caudal inicial  $Q_0$ . (Figs. 3.6B y 3.6C);
2. El caudal máximo  $Q_p$  se predice utilizando la correlación gráfica entre el caudal base  $Q_0$  y la duración de la precipitación  $D$ . (Fig. 3.6D);
3. Se elige un hidrógrafo entre una selección de hidrógrafos típicos, que tenga un tiempo de elevación de nivel  $T_2$  igual al valor de  $T_2$  predicho en "1". Las ordenadas de este hidrógrafo elegido se multiplican por la relación entre el caudal máximo predicho y el caudal máximo del hidrógrafo elegido. Esto permite la predicción de la duración de los caudales críticos (los caudales que rebasan esos valores causan graves inundaciones). (Fig. 3.6E).

Este procedimiento tiene un éxito razonable para predecir los caudales máximos en un área de captación de aguas de  $344 \text{ km}^2$ , lo que podría parecer sorprendente si se tiene en cuenta que en su fase de ensayo los datos sobre las precipitaciones se obtuvieron con un solo pluviómetro de medición a distancia. Con más pluviómetros de esta clase se refina y mejora la predicción, y una instalación de radar meteorológico en un valle adyacente podría aumentar considerablemente la información pluviométrica. El método fue diseñado originariamente para la computación manual.

La exactitud de la predicción con empleo de métodos simples operados a mano depende en gran medida de la capacidad, perspicacia y conocimiento local individuales del hidrólogo. En ocasiones, el pronóstico de las crecidas podría mejorarse considerablemente con el empleo de métodos más completos para simular los procesos de escorrentía de las precipitaciones o de escorrentía de la nieve fundida, pero para lograrlo se necesita la ayuda para los cálculos de un ordenador digital o analógico. La simulación completa, que suele denominarse construcción de modelos de cuencas, es un término relativo, puesto que los modelos varían enormemente en complejidad. Se pretende representar con ellos en todo lo posible la influencia general de los diversos procesos físicos que intervienen, como la intercepción, la detención de superficie, la infiltración, la evapotranspiración, las aguas de arroyada, la intercorriente, la filtración de aguas freáticas, la corriente del cauce, etc. El desarrollo de un modelo de cuenca comienza normalmente con la construcción de un fluxograma que representa una interconexión conceptual entre dos elementos físicos. En la Figura 3.7 se muestra un ejemplo conocido. Constituye un medio bastante fácil para transcribir el fluxograma en un programa de ordenador digital, que es la forma más difundida de aplicar un modelo para simular una corriente fluvial. En este caso, los elementos físicos están representados por la función paramétrica.

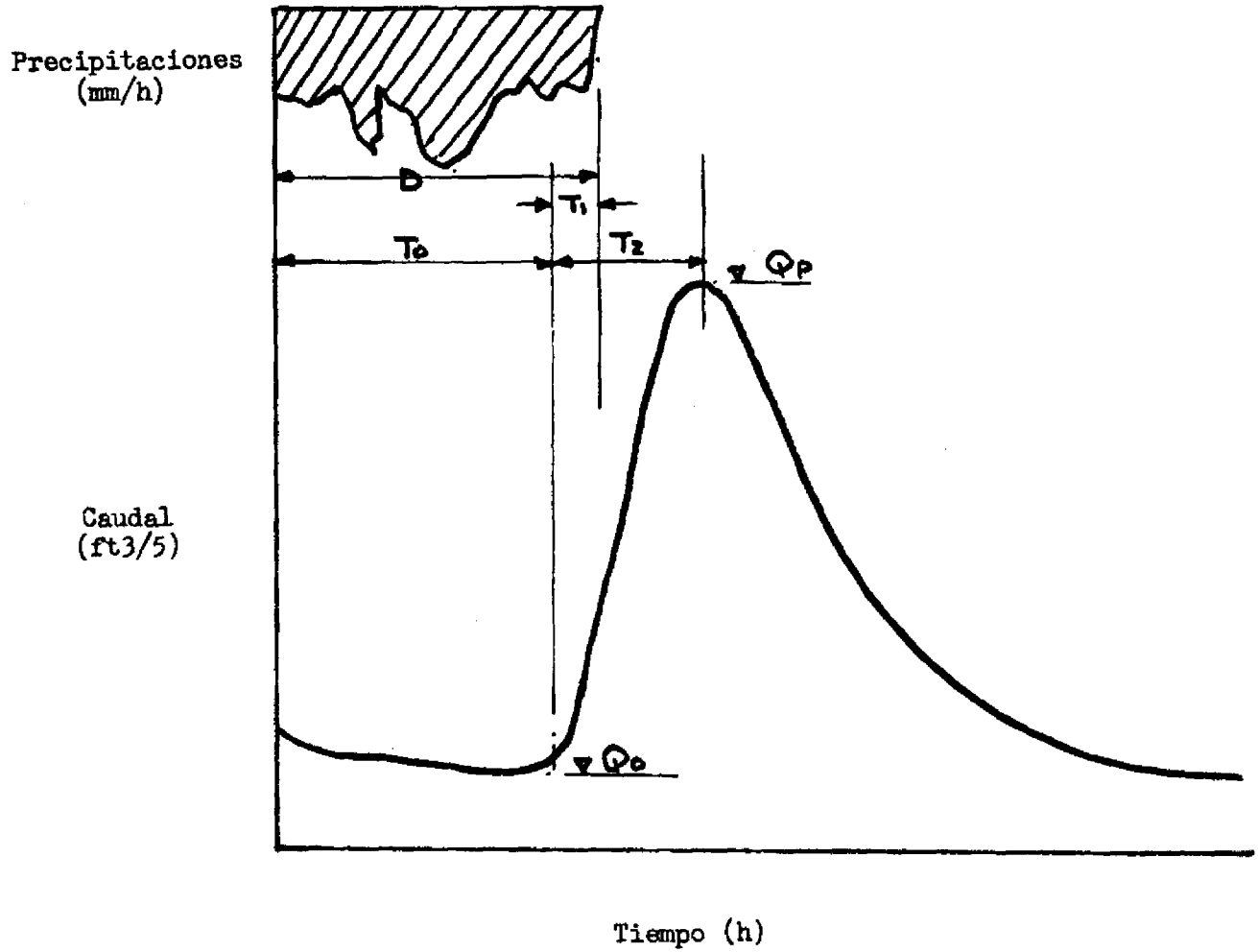


Figura 3.6A - Hidrógrafo típico del río Conway, como resultado de las precipitaciones

Figura 3.6B - Relación entre el comienzo de la precipitación en el Circo Dyli y el momento de respuesta del río Conway en el Circo Lannerch (Escala Log-Log)

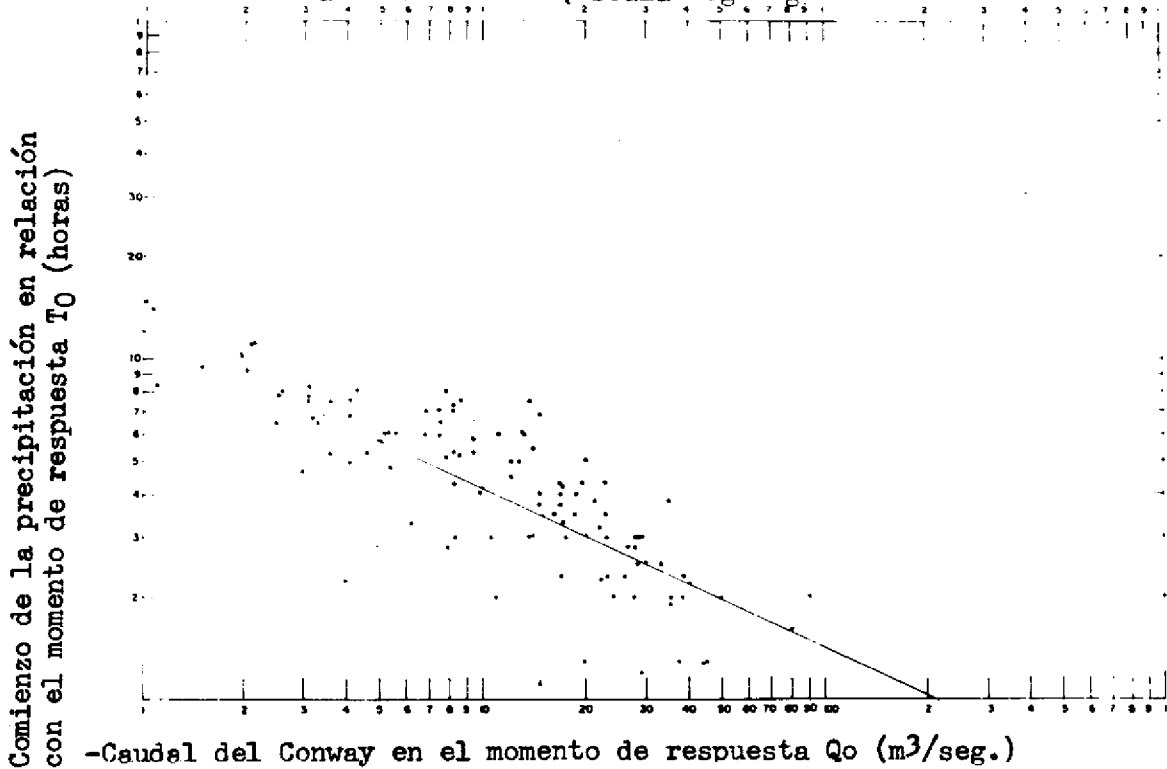
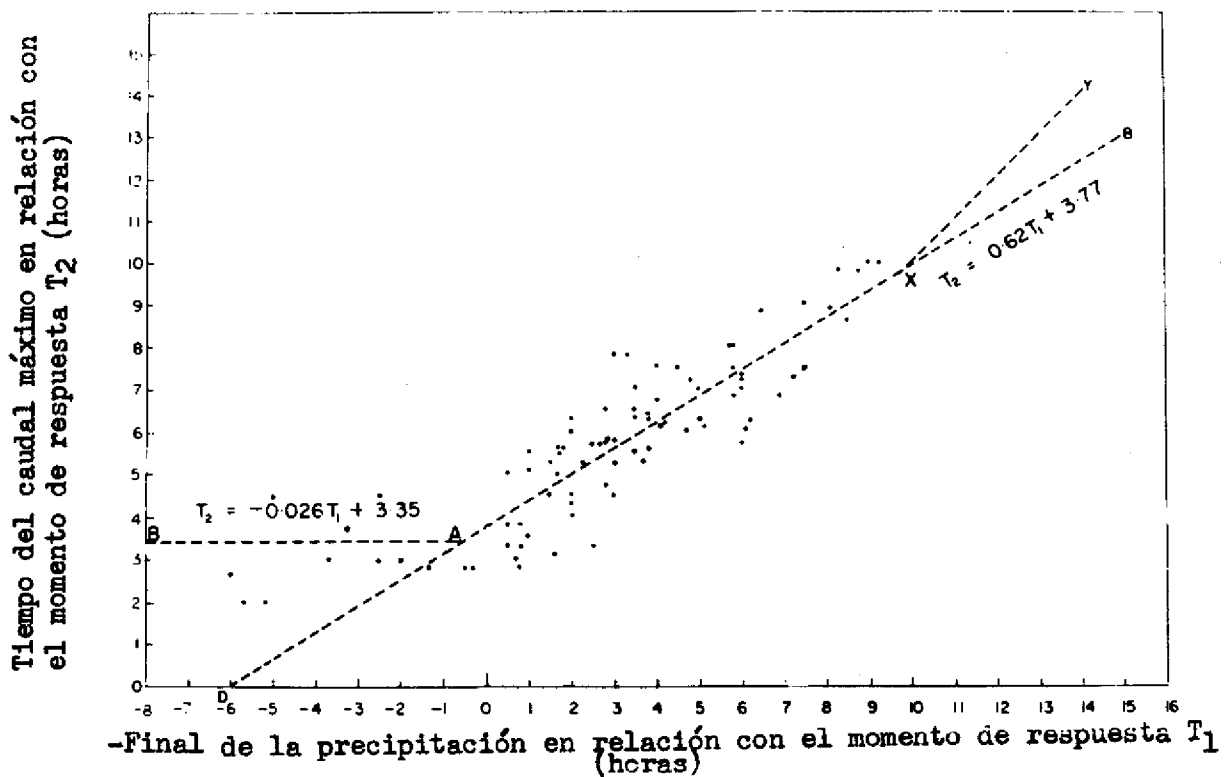


Figura 3.6C - Relación entre el final de la precipitación en el Circo Dyli y el momento de respuesta del río Conway, y tiempo del máximo del río Conway en el Circo Lannerch



PEAK DISCHARGE FORECAST DIAGRAM

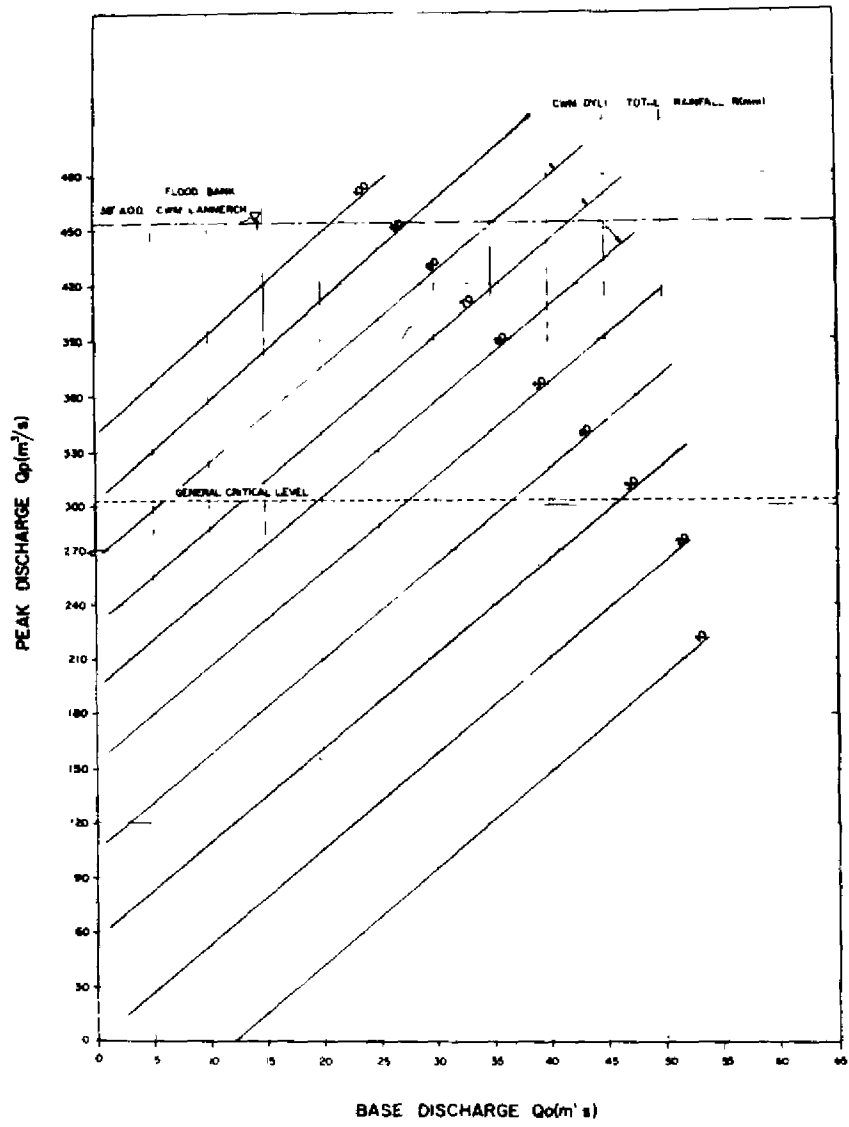


Figura 3.6D - Diagrama de pronóstico de caudales máximos

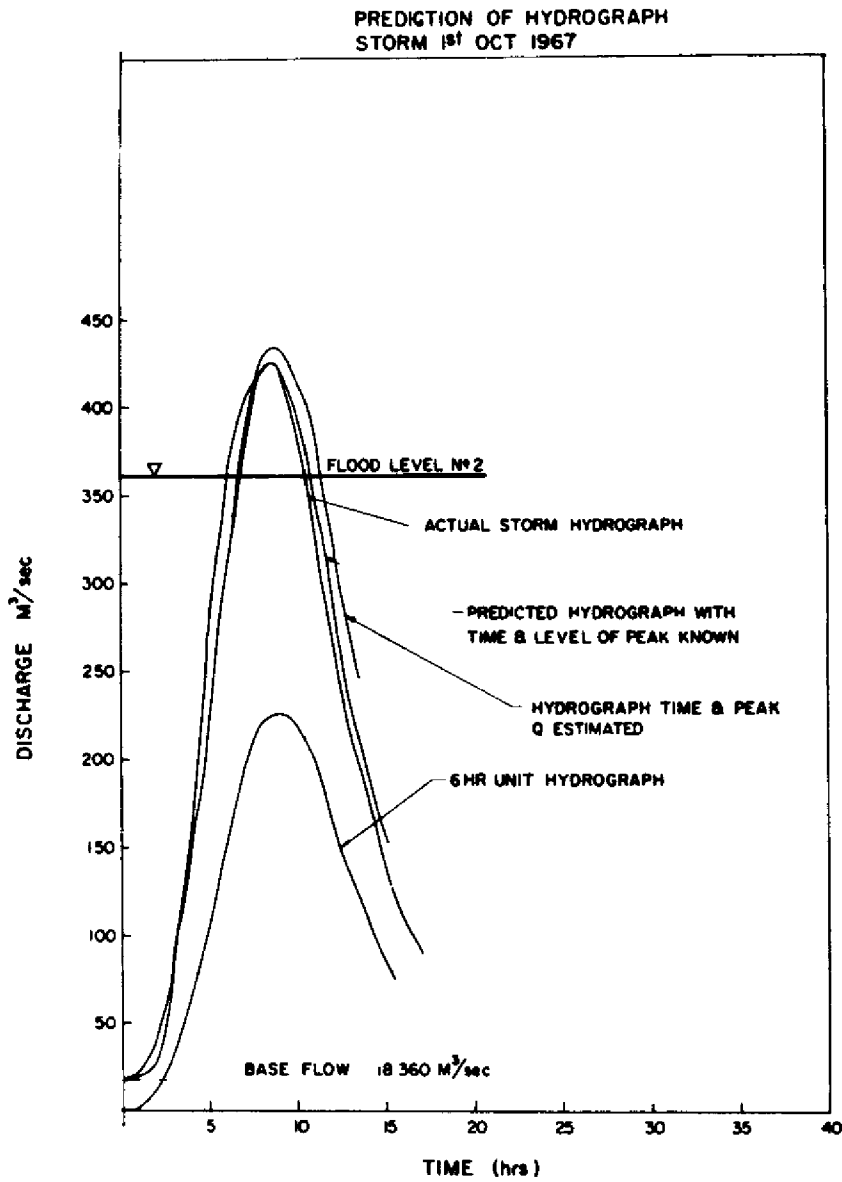


Figura 3.6E - Predicción de hidrógrafo  
Tempestad del 1<sup>o</sup> de Octubre de 1967

FLUXOGRAMA DE TIERRA

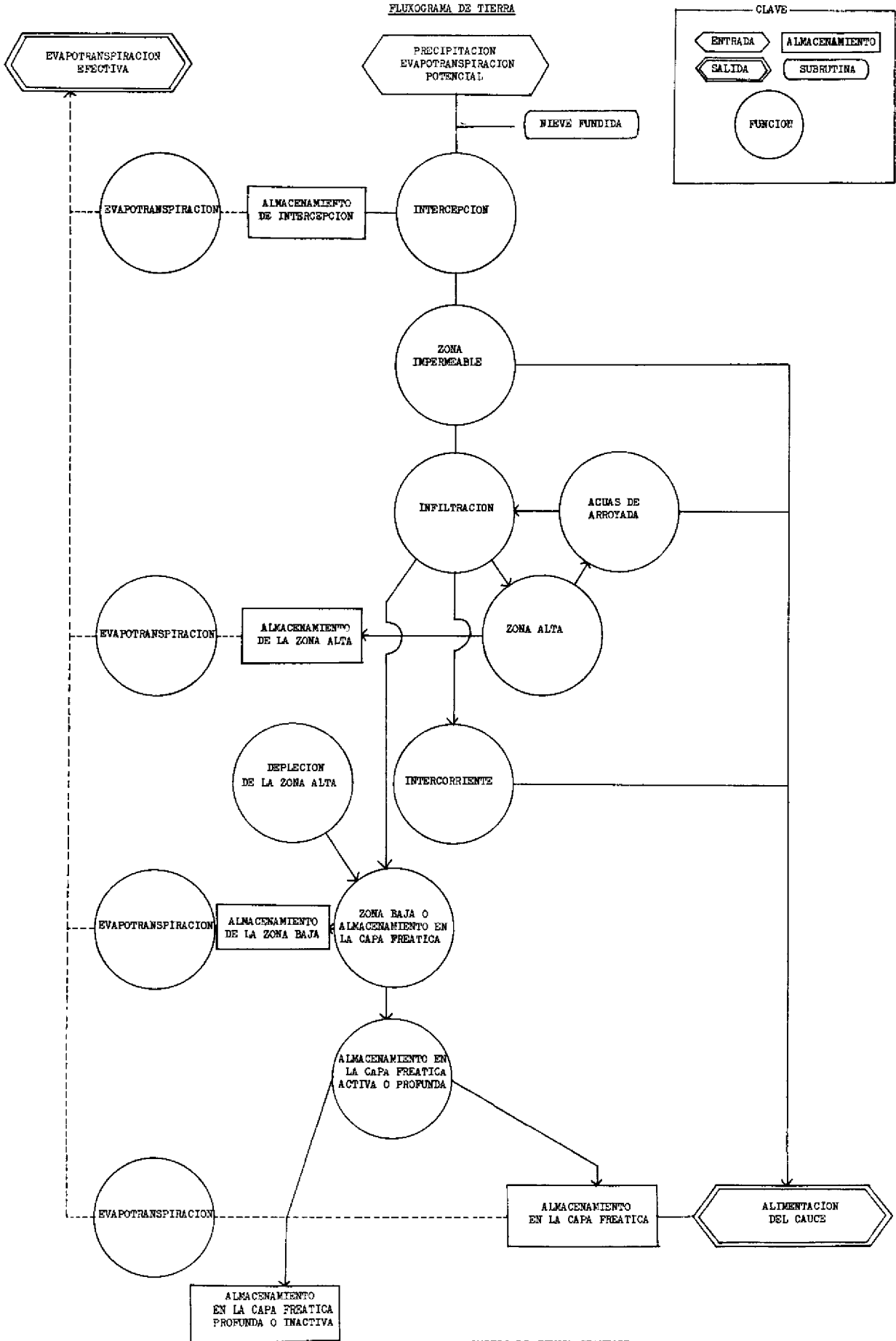


Figura 3.7 - MODELO DE CUENCA STANFORD



La simplicidad de estructura que se puede conseguir con este modelo se pone de manifiesto en la Figura 3.8. Representa la estructura básica del modelo cisterna que se emplea actualmente en el Japón. Consiste en una o más cisternas conceptuales, cada una de las cuales tiene cierto número de aperturas en su parte lateral y una en su base. Cuando se emplea más de una cisterna, la corriente de desagüe de la base de una cisterna que ocupa un lugar superior pasa a ser la corriente de alimentación de una cisterna situada en un plano inferior inmediato. La alimentación de la cisterna superior representa la precipitación. Los desagües laterales de todas las cisternas representan el caudal de corriente. Esta estructura se ha establecido para simular la respuesta de un área de captación natural a las lluvias tempestuosas y la simula muy bien. Tiene también la ventaja de que su comportamiento conceptual puede programarse con toda facilidad para la simulación en un ordenador digital o puede construirse una representación física mucho más barata para permitir la simulación por computación analógica directa.

En los esquemas para el pronóstico de crecidas son ya operacionales varios modelos de cuencas. Dos de estos ejemplos son el modelo cisterna y el modelo de cuenca Stanford, que antes se ha dado a conocer. Otro ejemplo es el modelo SSARR, que ha sido aplicado de modo semioperacional en el río Mekong desde 1970, y su versión modificada, el modelo LSSARR, que simula la corriente, en la red compleja de canales del delta del Mekong.

Se plantean problemas importantes al establecer modelos que simulen corrientes de crecida y son necesarios reajustes en los valores paramétricos para mejorar la exactitud de la predicción. Muchos de los problemas con que se tropieza tienen su origen en la insuficiencia general de los datos de entrada. Esta insuficiencia suele ponerse de manifiesto durante el desarrollo y aplicación de los modelos y conduce a un diseño mejorado de la red hidrométrica para la adquisición de los datos necesarios. En general, los modelos valen lo que permiten los datos de entrada y por esta razón tal vez no se consiga el mejoramiento de la predicción que hubiera sido de esperar con los modelos más perfeccionados en relación con los modelos sencillos.

La consideración de estos problemas y otros conexos condujo a la OMM a llevar a cabo un programa internacional de comparación recíproca de los modelos operacionales. Se han investigado once modelos, entre los que se incluyen los tres que acaban de mencionarse. Los resultados obtenidos proporcionan una guía general en cuanto a la calidad de la predicción que puede esperarse con el empleo de cada modelo y en cuanto a las condiciones ambientales en las que es aceptable la aplicación de cada uno de ellos.

Nieve fundida

3.2.3 La nieve en fusión constituye en concepto una alimentación alternativa en un modelo para el proceso pluviosidad-escorrentía y por tanto puede hacerse un modelo a este respecto de forma muy sencilla, empleando una subrutina especial y separada. Esta subrutina se relaciona fácilmente con las fases del agua en tierra y en el cauce de un modelo para permitir la predicción de crecidas debidas a la fusión de la nieve.

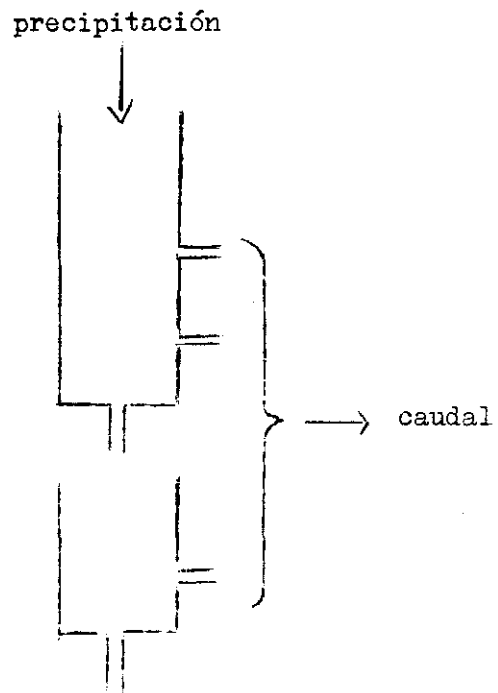


Fig. 3.8 MODELO CISTERNA

Las subrutinas de los modelos han constituido en el pasado la base de métodos sencillos de pronóstico de las crecidas. La crecida se predice generalmente utilizando uno de los dos criterios: el criterio empleado depende principalmente de que el manto de nieve desaparezca o no durante la estación de deshielo. Si el manto de nieve desaparece por completo, la metodología se basa sobre todo en la técnica de la temperatura-índice. Esta técnica implica el concepto de que la escorrentía guarda relación directa con la temperatura del aire por encima del punto de congelación, cuyo promedio se establece durante un intervalo de tiempo apropiado (1 hora, 3 horas, 1 día, etc.). En técnicas más refinadas y más directas físicamente se utilizan índices de la absorción total de energía por el manto de nieve, pero cuando se produce una crecida importante provocada por la nieve en fusión, suele descubrirse que esta técnica no mejora notablemente la predicción respecto de los métodos simples de temperatura-índice. En regiones donde el manto de nieve no desaparece por completo en toda el área de captación de aguas se utilizan también métodos de energía-índice. En tales regiones puede emplearse el método llamado porcentaje-índice, desarrollado primordialmente para las Montañas Rocosas y las Sierras de los Estados Unidos de América. Se trata de un método puramente empírico. Está basado en el concepto de que el volumen de crecida durante una estación de deshielo depende de la cantidad de agua que contiene el manto de nieve. Si el agua equivalente a unos pocos puntos del índice (puntos de estimación de la nieve) es superior a una "norma", la escorrentía por fusión de nieve será mayor durante la estación de deshielo y por consiguiente lo será también el caudal máximo. La correlación del índice relativo del equivalente de agua con los caudales máximos y los volúmenes de escorrentía registrados ayuda al pronóstico de las crecidas y la planificación del desarrollo de riegos potenciales para la estación de crecimiento de los cultivos. Se introducen correcciones para tener en cuenta las precipitaciones y las variaciones de volúmenes de la nieve en fusión que se producen en el transcurso de la estación de deshielo.

### Otros problemas

3.2.4 La metodología esbozada hasta ahora se ha referido principalmente a lo que podría denominarse técnica hidrológica normalizada para la predicción de crecidas. Pero existen varios otros problemas que a veces reclaman una atención mucho mayor. Figuran entre ellos las crecidas que se deben al amontonamiento de témpanos, las inundaciones provocadas por el oleaje tempestuoso, las disposiciones especiales para las crecidas fulminantes, ciertos aspectos del control de crecidas y la posibilidad de progresar en las predicciones intentando pronosticar la precipitación en términos cuantificables (QPF).

### Pronósticos cuantitativos de precipitación

3.2.4.1 En muchos aspectos los QPF y los pronósticos de crecidas fulminantes están íntimamente relacionados a causa de la importancia del tiempo de antelación del pronóstico en relación a la crecida. Los QPF constituyen todavía un problema importante y aunque se han desarrollado modelos perfeccionados con base física, los pronósticos son en gran parte de carácter experimental. No obstante, se han registrado progresos valiosos en los Estados Unidos de América, en el Japón y en China. La precipitación subsiguiente al pronóstico tiene una influencia decisiva en el éxito de los pronósticos de la altura máxima formulados durante la primera parte de la subida de nivel de las aguas. Los QPF constituyen una guía útil para ajustar

o matizar tales pronósticos y esto se consigue en su mayor parte mediante estimaciones empíricas y estadísticas y no con un modelo de simulación. Habitualmente no tienen la exactitud suficiente para justificar su inclusión con los datos observados en la computación, y el reajuste se realiza mediante un procedimiento condensado. El pronóstico puede formularse entonces entre corchetes, con el valor más alto determinado por el QPF. Si existe la certidumbre de que continuarán las lluvias copiosas y el tiempo disponible lo permite, puede formularse como guía un amplio espectro de pronósticos de altura máxima, basados en diversos valores hipotéticos de las precipitaciones probables. Se incluyen más detalles en el capítulo que trata de los aspectos meteorológicos de los desastres y de su prevención.

Hay regiones en el mundo en que no pueden formularse pronósticos satisfactorios de crecidas sin asistencia de los QPF. Un ejemplo de ello es el sistema de predicción de crecidas en el río Conway (página 50). Se dan otros casos en pequeñas islas del Pacífico occidental, que son azotadas frecuentemente por tifones que producen lluvias torrenciales que pueden durar varios días. Muchas de las corrientes engrosan en las montañas, de pendiente muy acusada, y generalmente alcanzan su cresta antes de que terminen las lluvias. Los QPF constituyen una necesidad absoluta para pronósticos eficaces de crecidas; ya se han establecido relaciones numéricas para predecir la precipitación total tempestuosa en estaciones representativas partiendo de los parámetros meteorológicos correspondientes al tifón, así como su trayectoria probable y el punto de llegada a tierra.

Para reducir al mínimo las exigencias que imponen al meteorólogo, los QPF se limitan a una especificación de los tipos de tempestad y a predicciones del total de precipitación tormentosa en una estación índice, y la duración total de la lluvia. Para utilizar estas predicciones, es necesario que un hidrólogo convierta la precipitación registrada en la estación en la correspondiente altura del agua en el área de captación y que distribuya cronológicamente esas alturas. En las regiones sumamente montañosas, el punto para la conversión superficial se consigue mediante un procedimiento normalizado. La distribución cronológica se efectúa mediante el empleo de curvas de precipitación en masa, no dimensionales (Fig. 3.9). Tanto las abscisas como las ordenadas del gráfico se calculan en porcentaje del total. Esto permite la determinación de la serie probable de incrementos pluviométricos en una determinada unidad de tiempo, dado el tipo de tempestad, la precipitación total y la duración de la tempestad. La base para este gráfico es la similitud en la forma de las curvas de precipitación en masa dentro de los tipos de tempestades, como lo prueba un estudio de 15 años de registros de las precipitaciones que acompañan a los tifones que azotan la zona o pasan cerca de ella.

#### Crecidas fulminantes

3.2.4.2 Una tarea importante de un centro de pronósticos fluviales es facilitar material de orientación para la emisión local de pronósticos de crecidas repentinas. Constituye un ejemplo de ello el método del río Conway, que se ha bosquejado antes (página 44). En muchos casos, el tiempo es demasiado escaso para reunir y analizar los datos sobre la precipitación y la altura de la superficie líquida fluvial como base para predecir las crecidas fulminantes, y podrían resultar necesarios sistemas automáticos que actúen tanto como detectores de datos como de sistemas de alarma, sin una elaboración y análisis intermedios de esos datos (página 77). No obstante, podrían facilitarse datos preparatorios generales, como las previsiones sobre las aguas de cabecera, o material de orientación sobre las crecidas fulminantes.

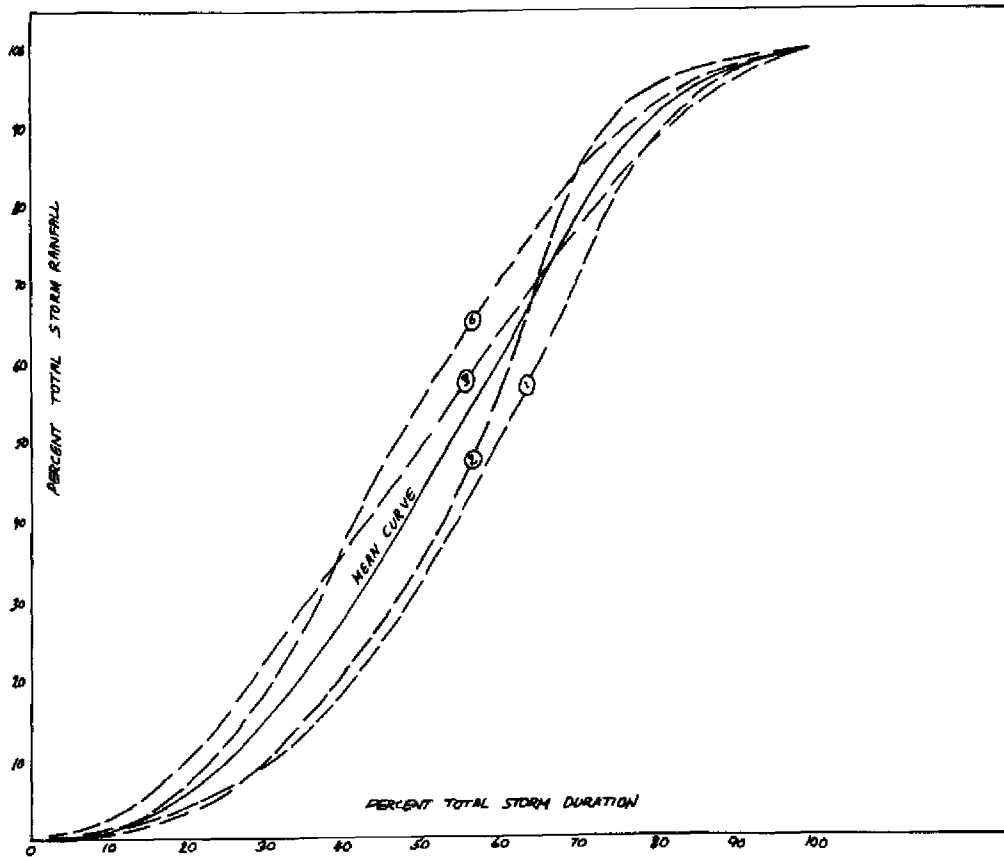


Figura 3.9 - Curvas de precipitación en masa, no dimensionales, cuenca del Tanshin. Tipos de tempestad I, II, III y IV