

CRITERIOS PARA LA CONCEPCION DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA EN AREAS AFECTADAS POR CRECIENTES E INUNDACIONES ¹

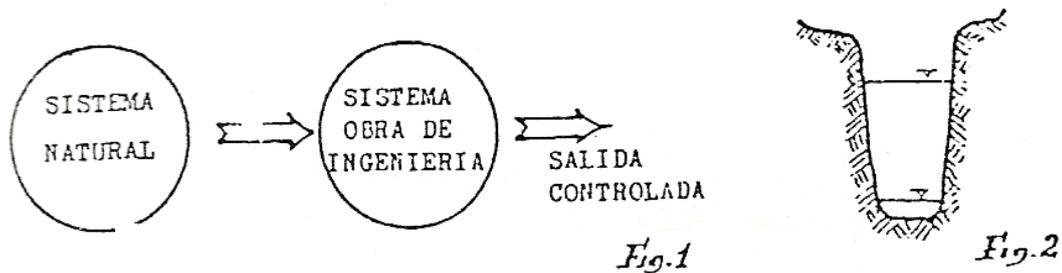
† Ing. Dr. Eliseo Popolizio

I – INTRODUCCION

Las crecientes e inundaciones catastróficas ocurridas en 1982-83 por su magnitud y amplitud geográfica constituyeron una especie de detonador para la población y los técnicos y llevaron a preguntarse si los criterios con los cuales se conciben las obras de infraestructura tenían validez.

Queda claro que esta pregunta no se refiere a la capacidad técnica de cálculo o de proyecto sino que se dirige a lo más profundo de la esencia de la Ingeniería, es decir a su objetivo formal o manera de enfocar los problemas.

El término Ingeniero deriva de "ingenio", nombre que también se daba a las máquinas en la antigüedad, pero que se puede resumir como la capacidad de diseñar un sistema artificial que, acoplado al natural, permita tener controlada la salida (**Figura 1**).



Figuras 1 y 2

La obra de ingeniería, es decir el ingenio, se concibe y se organiza como mecanismo de control y por lo tanto cuando vemos que esa función no se cumple, a tal punto que la pulsación del sistema natural provoca el colapso de la obra, algo fundamental está fallando y no es precisamente el cálculo.

Como bien lo ha destacado TRICART, J. 1962 durante mucho tiempo los ingenieros se fueron olvidando que construyen sus obras sobre una corteza terrestre de alta movilidad, en la cual los procesos exógenos y

¹ Publicado en Revista GEOCIENCIAS XIII. Publicación del Centro de Geociencias Aplicadas Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia Chaco Argentina 1.985

endógenos determinan las condiciones que afectan a la obra civil cuyos parámetros de concepción deben ser aquéllos que la ligan al sistema natural y no los de cálculo.

Este trabajo pretende aportar ideas y experiencias que ayuden a replantear la forma de encarar las obras de infraestructura para que ellas se acoplen armónicamente a los sistemas naturales que deben controlar específicamente en lo atinente a las crecientes y las inundaciones.

II - CRECIENTES, INUNDACIONES Y OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

Parece conveniente diferenciar estos dos fenómenos, que si bien pueden manifestarse simultáneamente y/o asociados responden a condicionantes diferentes y requieren un tratamiento particular. La creciente es un fenómeno hidrológico puro y representa un aumento significativo del caudal que cuando se produce en un cañón morfológico no origina estrictamente una inundación (**Figura 2**).

La inundación es un fenómeno controlado por la Geomorfología, e indica existencia de condiciones topográficas que permiten que el exceso de caudal se distribuya sobre áreas periódicamente anegables.

En valles amplios, normalmente la creciente origina la inundación de unidades morfológicas de distinto nivel que parten de las más bajas para propagarse sobre las más altas. (**Figura 3**).

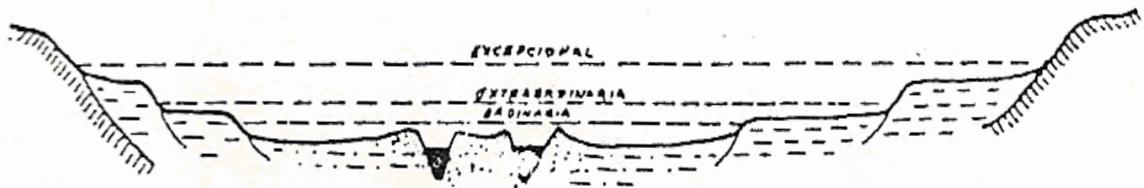


Figura 3

Sin embargo, en las llanuras se encuentran áreas muy grandes, de miles de Km² de extensión, donde no existen cursos fluviales o bien su tamaño es despreciable con relación a la extensión de las zonas inundables y en las mismas el concepto de creciente pierde totalmente significación.

Resumiendo, podemos decir que puede darse una creciente sin inundación, no una inundación sin creciente, como valores límites de una serie de situaciones intermedias que responden a un doble condicionamiento: hidro morfológico y que sería imposible resumirlas en este trabajo, pero hemos expuesto en otros anteriores.

El gráfico de la **Figura 4**, pretende esquematizar la concepción sistémica de la Geomorfología y que permite diagramar la **Figura 5** como concepción de la obra de ingeniería.

Si nos concentramos en el análisis de las crecientes e inundaciones tendríamos razonar de la siguiente manera (**Figura 6**): el ingreso externo correspondiente a la precipitación se expresa en Materia, Energía e Información al igual que la salida, pero entre ambas el sistema geomórficos provoca una transformación más o menos significativa, es decir que hay una caída potencial de los tres elementos.

Como entre la entrada y la salida del sistema hay un tiempo de respuesta, se deduce que existe una velocidad de cambio o disminución del potencial de las tres variables. Sin embargo, la caída de cada uno de esos potenciales no es la misma, que las condiciones internas del sistema geomórficos influyen acelerando disminuyendo la velocidad del cambio.

Por consiguiente el pulso del ingreso se modifica por acción del sistema geomórfico, dando un nuevo pulso o comportamiento de salida cuyas características interesan básicamente para la concepción de la obra civil.

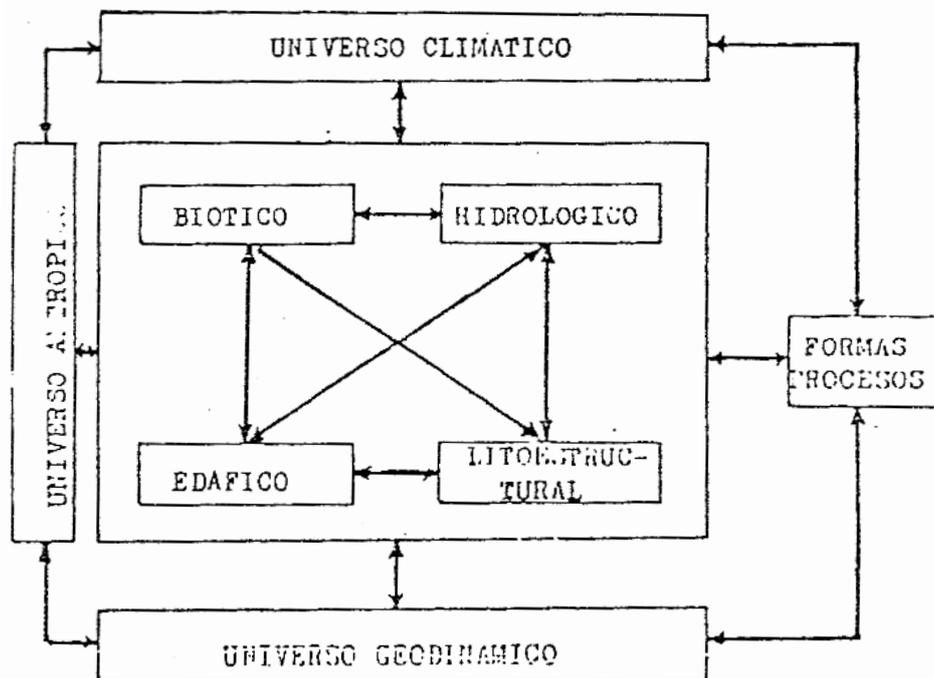


Figura 4

En la **Figura 1** vemos que ella se acopla al sistema natural para controlar, es decir para modificar de nuevo el pulso, de manera que cumpla condiciones predeterminadas.

Los mecanismos de retroalimentación hacen que la obra de ingeniería influya sobre el sistema natural modificándolo de manera más o menos significativa, es decir que existe una influencia bi unívoca entre

ambos sistemas acoplados.

Finalmente si consideramos el conjunto de relaciones sistémicas, esquematizado en la **Figura 5** se puede observar que la obra civil debe concebirse bajo controles paramétricos establecidos por el universo Sociocultural y por el sistema natural, cuyo conocimiento también depende de aquél.

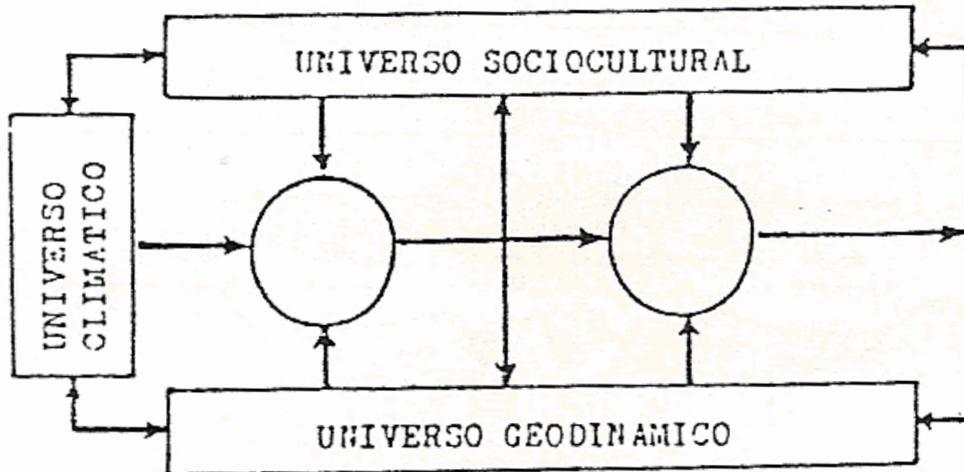


Figura 5

Instalada la obra, sus efectos se propagan en todas direcciones hacia los otros sistemas y los mensajes pueden volver a influirla por retroalimentación. Resumiendo, podemos destacar algunos puntos básicos sobre las crecientes y las inundaciones en relación con las obras de infraestructura:

- 1 - Creciente e inundación son fenómenos distintos que obedecen a controles diferentes, pudiendo manifestarse conjunta y/o simultáneamente.
- 2 - Ambos fenómenos son controlados por el universo climático, pero deformados o modificados por el sistema geomorfológico.
- 3 - El conocimiento del comportamiento y la estructura de los sistemas naturales está controlado por la concepción de la realidad que tenga el universo sociocultural y por ello presenta un importante grado de indeterminación.
- 4 - La obra civil vinculada a crecientes e inundaciones es concebida para lograr un control del sistema natural, que se fija en función de los parámetros socioculturales y del conocimiento que se disponga de la realidad, el cual también presenta un importante grado de indeterminación.
- 5 - El impacto que producen el funcionamiento ineficiente o el colapso de la obra civil es inversamente proporcional al grado de desarrollo de la sociedad a la cual afecta.

III - RELACIONES ENTRE LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA Y LAS CRECIENTES E INUNDACIONES.

Como hemos visto, la salida del sistema geomórfico influye sobre la obra civil y ésta sobre aquél, por consiguiente plantearemos los efectos más significativos de ambas acciones por separado y refiriéndonos exclusivamente a las crecientes e inundaciones. **Figura 6.**

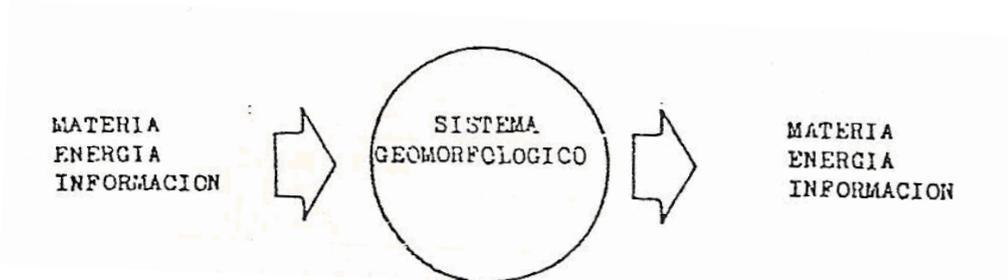


Figura 6

III.1 - Influencia de crecientes e inundaciones sobre la obra civil

Las **crecientes** pueden provocar como acciones principales:

1 - Aumento del caudal; 2 - Variaciones en la velocidad; 3 - Aumento del tirante hídrico; 4 - Aumento de la erosión; 5 - Modificaciones en los filetes; 6 - Modificaciones del lecho y de las islas; 7 - Desplazamientos y cambios de forma de las dunas en ríos a lecho móvil; 8 - Cambios de posición del canal de estiaje; 9 - Modificación del radio hidráulico y/o la pendiente y/o la rugosidad;

Las **inundaciones** pueden provocar como acciones principales

1 - Ingreso de las aguas a zonas ocupadas por las actividades humanas; 2 - Remansos en los cursos afluentes; 3 - Transfluencias de una cuenca a otra; 4 - Arrastre de biomasa flotante; 5 - Desborde sobre obras de arte o rasantes.

III.2 - Influencia de las obras sobre crecientes e inundaciones

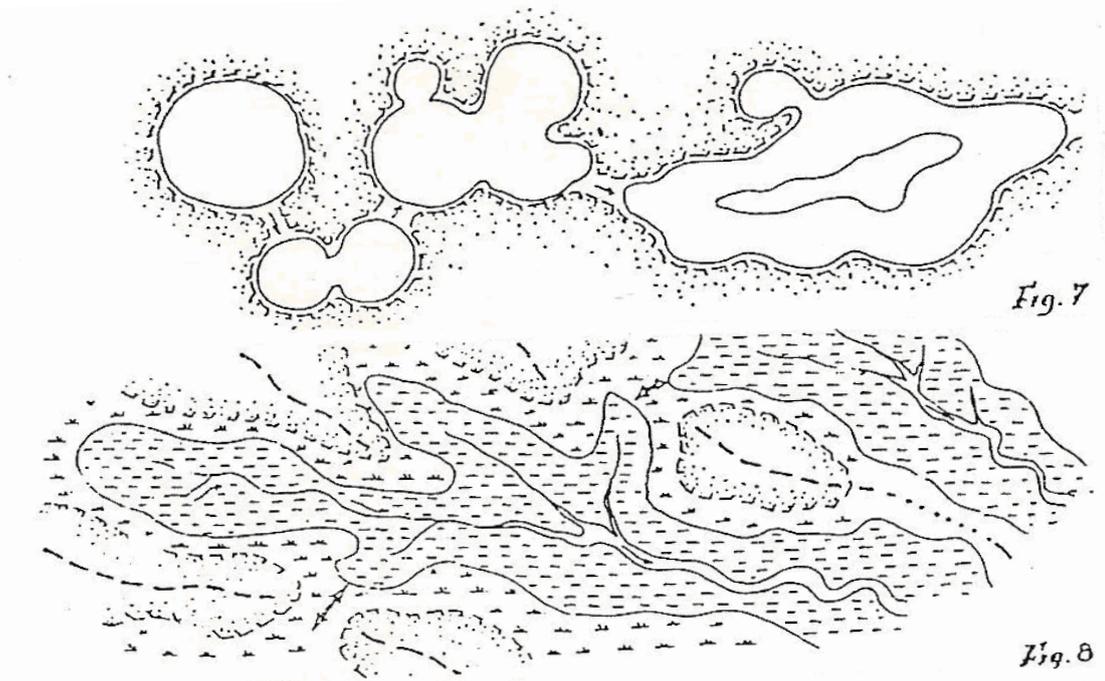
Podríamos resumir las principales acciones en las siguientes:

1 - Estrechamiento de la sección mojada; 2 - Remansos hídricos; 3 - Alteración de los filetes hídricos; 4 - Cambios en la velocidad de propagación; 5 - Cambios en los tiempos de concentración; 6 - Endicamiento; 7 - Cambios en la velocidad de las aguas; 8 - Cambios en las condiciones de transporte y sedimentación.

III.3 - Inundaciones en áreas sin escurrimiento fluvial

En las llanuras existen extensos sectores donde no hay escurrimiento fluvial, predominan los sistemas laminares y/o transicionales donde el comportamiento hídrico es totalmente diferente.

1. Un primer tipo puede reconocerse en las depresiones cerradas entre las cuales se destacan las pseudokársticas que con frecuencia originan un



modelo cribado.

Figuras 7 y 8

Estas depresiones pueden sustentar ambientes periódicamente inundables (cañadas) o inundadas permanentemente (esteros y lagunas), en los cuales el nivel de las aguas oscila en función de las precipitaciones.

A partir de un cierto nivel hídrico las aguas comienzan a desbordar e interconectarse, siguiendo por lo general suaves depresiones que interconectan a las otras originando un verdadero mosaico de tierra y agua que corta las rutas impidiendo la circulación.

El mayor problema estriba aquí en determinar los aportes hídricos, ya que con frecuencia hay aportes freáticos importantes y por otra parte, la dirección del escurrimiento puede cambiar en función de los niveles alcanzados por el agua.

Con relación a las obras viales deben estudiarse con mucho cuidado las condiciones de los suelos utilizados en los terraplenes por ser afectados por los procesos pseudokársticos. **(Figura 7)**

En cuanto a las alcantarillas, deben ubicarse en las depresiones que ligan las lagunas, esteros y cañadas entre si, las cuales pueden

reconocerse con mucha claridad en las fotografías aéreas y con la misma técnica se deben determinar las cuencas de aporte.

Estas áreas sin escurrimiento fluvial, constituyen sistemas de largo tiempo de respuesta.

2. Un segundo tipo lo constituyen las depresiones con ambientes de cañadas y/o esteros, pero que se integran de manera más o menos organizada en una dirección, son afluentes de un curso en forma permanente ó transitoria (**Figura 8**).

Estos sistemas, a diferencia de los otros, son abiertos, por lo cual se colmatan mucho más lentamente, pero su tiempo de respuesta es más corto, a pesar de ser mucho más largo que el de un curso fluvial.

Los problemas de transfluencia son frecuentes en áreas de llanura a causa de la escasa definición de las divisorias de agua, lo cual complica los cálculos hidrológicos.

El frente de avance de las aguas puede ser muy amplio sin que las obras viales posean suficientes obras de arte para evacuarlas, siendo por lo general causa de inundación de áreas muy grandes.

Indirectamente, ellas originan remansos localizados y la aceleración del escurrimiento, lo cual puede destruirlas o bien provocar el paso de las aguas por sobre la rasante con los resultados conocidos.

3. Un tercer tipo es característico de zonas con un paleo modelo eólico donde alternan depresiones más o menos cerradas, con sectores positivos correspondientes a paleo formas de acumulación.

En verdad el comportamiento de la inundación es semejante al pseudokárstico, ya que para cierto nivel hídrico las aguas desbordan las depresiones y se van integrando en modelos complejos que con frecuencia adoptan el estilo bayoneta.

4. Un cuarto tipo se presenta en zonas permanentemente inundadas que presentan biomasa flotante o parcialmente arraigada.

En algunos casos durante las crecientes se desprenden trozos de esa biomasa, que son arrastrados por la corriente, obturando los vanos y provocando la aceleración de la corriente con los riesgos que ello implica. En otros (como ocurre en el Ibera) sus movimientos de ascenso y descenso provocan una autorregulación del sistema hídrico.

Esta tipología se caracteriza por un tiempo de respuesta muy largo.

III.4 - Inundaciones por torrentes de llanura

Este término se aplica a un tipo de escurrimiento que se origina sobre una morfología idéntica a la de los torrentes de relieve significativo, pero en llanuras, con desniveles muy pequeños, como si se hubiera cambiado la escala vertical.

Al igual que en aquéllos, las aguas se encuentran muy rápidamente en la cuenca de recepción y se concentran en el canal de descarga produciendo un comportamiento con caudales instantáneos que pueden ser 100 ó 300 Veces el medio.

El tiempo de respuesta es muy corto y la capacidad erosiva muy alta, especialmente en el canal de descarga, de manera que las aguas sobrepasan las obras de arte y con frecuencia las destruyen.

Al salir a la planicie basal, el escurrimiento origina conos de deyección muy amplios y de pendientes bajísimas, con frecuencia sólo reconocibles con fotografías aéreas, donde la inestabilidad del curso es muy marcada y en las cuales las aguas desbordan para terminar inundando la planicie mencionada.

III.5 - Inundaciones por desbordes de conoides aluviales

Caracteriza al área situada al norte del río Negro en Chaco y Formosa, se extiende al Chaco paraguayo, donde existe una coalescencia de conoides aluviales originados bajo condiciones paleo climáticas diferentes de las actuales.

La morfología generada esta constituida por gigantescos conos formados por desplazamientos y derrames de los actuales ríos Bermejo y Pilcomayo, que bajo esas condiciones se comportaron como macro torrentes.

Por lo expuesto, los ríos y arroyos actuales corren en valles limitados por paleo derrames laterales que se sobreelevan sobre las planicies, las cuales en gran parte quedan embutidas y sin posibilidad de escurrimiento franco.

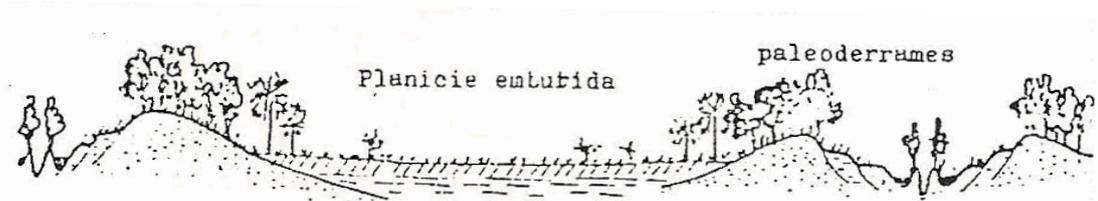


Fig. 9

Figura 9

Al producirse las crecientes, las aguas corren sobreelevadas, de manera que si se rompen los derrames laterales, se derraman hacia las planicies originando la inundación de las mismas con una lámina de agua, cuyo frente de avance puede tener varios kilómetros (**Figura 9**).

Cuando estos derrames o desbordes coinciden con grandes precipitaciones pluviales, la situación alcanza a convertirse en verdadero desastre, por las dificultades en la circulación y por consiguiente, prestar

atención a la población.

III.6 - Inundaciones en áreas con escurrimiento fluvial

Por supuesto que el tipo y comportamiento de la inundación varía según las características del valle fluvial y la mayor o menor complejidad morfológica del mismo.

En la **Figura 10** hemos esquematizado un perfil transversal de un valle fluvial de alta complejidad, donde parece conveniente hacer las siguientes consideraciones:

1. Durante las crecientes, la velocidad del escurrimiento aumenta alterando las relaciones entre el caudal sólido transportado y los sedimentos del fondo.

Como resultado de ello la morfología del lecho se altera y se originan desplazamientos de las dunas de fondo y cambios morfológicos de las mismas.

2. Igualmente, si existen dos o más canales de estiaje, la forma y disposición de islas y bancos puede cambiar, en tanto que aquéllas con vegetación se recubren de sedimentos cuyos espesores pueden tener varios metros y se observan cuando bajan las aguas.

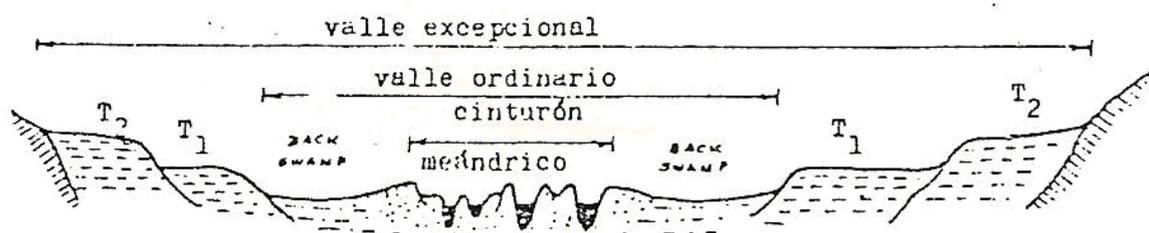
El cambio de posición del o los canales de estiaje, es una de las modificaciones más frecuentes y peligrosas, que en el caso de un curso meándrico deja las típicas lagunas en media luna o en herradura.

3. La invasión de las aguas al área de back swamp trae aparejado el arrastre de biomasa que termina navegando a la deriva y embancándose en pilares de puentes u otras obras de arte, sumando su efecto de empuje a la socavación que originan, por lo cual son sumamente peligrosas y difíciles de remover.

Debe recordarse que el cinturón meándrico es el área de divagación natural del o los canales de estiaje y por lo tanto, cualquier obstrucción puede originar el cambio de posición.

Por otra parte, los back swamp definen el límite de las inundaciones ordinarias y en ellos se acumula biomasa muerta y sedimentos finos que, en conjunto, constituyen suelos muy malos para las obras de infraestructura.

4. Las terrazas T1 y T2 u otras son cubiertas con períodos de recurrencia más largos en crecientes extra ordinarias o



excepcionales.

Figura 10

Por esta razón, con frecuencia son ocupadas por la expansión urbana y surcadas por terraplenes que en crecientes de ese tipo, actúan como verdaderos diques de manera que las pocas obras de arte sufren serios problemas de erosión, siendo por lo general las más afectadas.

IV - CRITERIOS DE CONCEPCION DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

IV.1 - En áreas inundables sin escurrimiento fluvial, por precipitaciones

1. Las vías de comunicación:

- ❖ deben correr lo más próximas a las divisorias de agua y actuar como tales donde ellas no estén definidas.
- ❖ Cuando atraviesan áreas inundables, deberán prever además de las obras de arte principales, las alcantarillas necesarias para evitar el endicamiento y/ o la concentración del escurrimiento.
- ❖ Si las zonas de transfluencia fueran significativas, deberá preverse una obra de arte con compuertas y aparatos de registro.
- ❖ Deberá estudiarse la posibilidad de que los terraplenes actúen como embalses de regulación, dentro de una concepción totalizadora de estudio vial-hidráulico conjunto.

2. Canales de estiaje:

- ❖ Deberá tenerse especial cuidado ya que aumentan la densidad de la red, aceleran el escurrimiento, acortan el tiempo de concentración y aumenta el empuntamiento.

3. Procesos seudokársticos:

- ❖ deben estudiarse con mucho detenimiento, tanto en la base de terraplenes como a la infiltración dentro y debajo en ellos.

4. Obras hidráulicas:

- ❖ Para embalses de llanura, deberá analizarse cuidadosamente la posibilidad de tubificación y la colmatación por sedimentos y biomasa.
- ❖ Para la construcción de canales se tendrá muy en cuenta las alteraciones en la freática y la posibilidad de carcavamiento.
- ❖ Los estudios de base para obras de infraestructura deberán incluir obligatoriamente la fotointerpretación a fin de determinar divisorias, transfluencias, sentido del escurrimiento y niveles de inundación.
- ❖ Todos los perfiles deberán acotarse al cero del Instituto Geográfico Militar.

IV.2 - En torrentes de llanura se debe:

1. Evitar llevar canales o cunetas a la cuenca de recepción y prever la erosión regresiva de las nacientes.
2. Estudiar la posibilidad de pequeños embalses de regulación antes del canal de descarga y en él según el caso.
3. Prestar especial atención a las obras que crucen por este último y protegerlas de la erosión o sobrepaso de las aguas.
4. Estabilizar el escurrimiento en el cono de deyección mediante canalización directa o inversa y cuidar el efecto de colmatación.

IV.3 - En conoides aluviales se debe:

1. Prever terraplenes laterales a ambos lados del curso y sobre los derrames laterales, que permitan la expansión hídrica sin desbordes y actúen como grandes canales invertidos.
2. Proteger las márgenes en las áreas de concavidad meándrica.
3. Proteger la vegetación natural sobre los paleo derrames laterales y controlar los procesos de erosión que puedan dismantelarlos y provocar el desborde de las aguas ante su eventual rotura.
4. Diseñar una red vial coordinada con proyectos hídricos, que permitan definir las divisorias y controlar el escurrimiento con embalses de poca altura.
5. Contemplar la construcción de compuertas para evitar los ingresos de desborde, en las interconexiones de las planicies embutidas con los valles fluviales, mediante canales que corten los paleo derrames.

IV.4 - En los valles fluviales

1. En la faja meándrica debe interferirse al mínimo el escurrimiento y la dirección de la corriente, diseñando secciones suficientes y adecuando la localización de las obras de arte.
2. El valle ordinario, es decir hasta los límites de los back swamp, no debe ser ocupado por urbanizaciones y las eventuales construcciones deben reunir características de diseño que impidan la interferencia al escurrimiento y las ponga a resguardo de las inundaciones.
3. Las obras viales que atraviesan la zona anterior deben hacerse en viaducto o constar de suficientes obras de arte para no interferir en el escurrimiento al generar remansos, o erosión que pueda provocar su colapso.
4. Deberá prestarse preferente atención al desplazamiento de biomasa flotante, a su efecto de empuje sobre pilares y a la

erosión resultante.

5. En casos imprescindibles, la polderización de este sector del valle debe contemplar: 1- el estudio de la modificación en la sección de escurrimiento y su efecto en la dinámica fluvial. 2- especial atención a la existencia de paleo cauces por su influencia en las filtraciones y en procesos de tubificación.
6. En los niveles de terrazas las polderizaciones son factibles y con frecuencia necesarias, pero debe tenerse presente que en los grandes valles fluviales aquéllas pueden ser muy extensas, a fin de contemplar la reducción de la sección de escurrimiento.
7. Finalmente, las soluciones para las poblaciones deben ser adaptadas a cada caso en particular, ya que además de los polders existe un sin número de soluciones alternativas, que pueden ser menos costosas, más seguras y eficientes.
8. No debe perderse de vista que ninguna obra civil se puede construir a salvo de todo riesgo y por lo tanto, que la preparación de la población y la adecuación de la infraestructura urbana a situaciones de colapso o superación debe formar parte de la concepción y el manejo de las obras de defensa

V - ALGUNAS PAUTAS DE POLITICA Y ESTRATEGIA

Si bien es cierto que el tema es demasiado amplio para ser desarrollado en este trabajo, parece conveniente mencionar algunas acciones posibles, cuya implementación reducirá los costos y los riesgos vinculados a crecientes e inundaciones, por el solo hecho de prever la situación y no tener que enfrentarla coyunturalmente. Para ello es necesario:

1. Coordinar las acciones de todo tipo frente a la emergencia hídrica, mediante la unidad de conducción, aún cuando la operación sea descentralizada.
2. Disponer del instrumento jurídico y administrativo que asegure la operatividad en la emergencia y ello debe regularse por Ley,
3. Preparar a la población para enfrentar la emergencia hídrica, debe formar parte esencial de las operaciones del gobierno y en lo posible, canalizarse por las áreas de educación y salud.
4. Resguardar al máximo del riesgo a: 1- las obras de infraestructura de servicios esenciales y sus respectivos accesos (usinas, hospitales, agua potable, combustibles, etc.) aún cuando se proyecten defensas; 2- las obras viales estratégicas y/o de evacuación, dejándolas aptas para cualquier circunstancia.
5. Delimitar claramente las líneas de iso riesgo y zona a inundarse para los diferentes niveles hídricos.

6. Instrumentar un sistema de pronóstico y alerta a las poblaciones y a los organismos públicos, es esencial y debe formar parte del sistema de informática hídrica.
7. Disponer de elementos necesarios para la emergencia debe formar parte del equipamiento básico de ciudades con riesgo hídrico.
8. Exigir en las instituciones de las zonas afectadas, la inclusión y el desarrollo de la temática de riesgo hídrico en los programas de enseñanza en todos los niveles y especialmente en los técnico- profesionales de relación directa con él.
9. Concebir y planificar modelos de desarrollo urbano, así como los proyectos de ingeniería pura ciudades con riesgo hídrico, implica analizarlos dentro de toda una visión global que va más allá de los aspectos puramente técnicos, involucran la calidad de vida y requieren equipos Ínter y multisectoriales.

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

POPOLIZIO, E. 1973. El pseudokarst y su importancia en los estudios hidrológicos del NEA. Serie C Investigación Tomo 0 N° 1. Centro de Geociencias Aplicadas. UNNE. Resistencia.

POPOLIZIO, E. 1975 a. Los sistemas de escurrimiento. Serie C Investigación Tomo 2 N° 2. Centro de Geociencias Aplicadas. UNNE. Resistencia.

POPOLIZIO, E. 1975 b. Las redes de escurrimiento. Serie C Investigación Tomo 2 N° 3. Centro de Geociencias Aplicadas. UNNE. Resistencia.

POPOLIZIO, E. 1980. Bases para el manejo de los recursos hídricos en un sector de la llanura chaqueña. Actas 3° Congreso Mundial de Recursos Hídricos. México. Revista GEOCIENCIAS IX. Centro de Geociencias Aplicadas. UNNE. Resistencia.

POPOLIZIO, E. 1981. Importancia de la fotointerpretación geomorfológica en las obras de ingeniería de llanuras. Anales Congreso Panamericano de Ingeniería Ambiental. UPADI. Puerto Rico.

POPOLIZIO, E. 1982. Enfoque sistémico de la geomorfología aplicada a la ingeniería. Actas de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. Vol. II- 181- 194. Buenos Aires.