

REFINAMIENTO EN EL CALCULO DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE(*)

Por ALBERTO BENITEZ
Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos

Como resultado de su experiencia en proyectos de drenaje de carreteras en los Estados Unidos, el autor trata de despertar la atención de los proyectistas españoles sobre nuevos y más imaginativos enfoques al proyecto de este tipo de estructuras.

Es muy notable el progreso obtenido en España en los últimos años en las técnicas de proyecto de carreteras, autopistas y ferrocarriles. De utilización normal en nuestro país son ya las muy refinadas y sofisticadas técnicas de cálculo de trazado mediante programas electrónicos, optimización del movimiento de tierras y refinamientos en las técnicas de construcción. Casi me atravesaría a decir que en estos aspectos estamos muy próximos a las mejores técnicas empleadas en los países más avanzados.

Después de haber trabajado en drenajes de carreteras durante dos años en Estados Unidos, se me antoja a mí, por el contrario, que el cálculo de las obras de drenaje (**) en España está muy por detrás de los refinamientos de las restantes partes que componen un buen proyecto de carreteras.

No es de sorprender esto cuando vemos, con harta frecuencia, a espléndidos ingenieros de trazado preocupados con sus radios de curvas, sus clotoides, sus ajustes al terreno, sus movimientos de tierras, y después de tener la carretera totalmente definida dar quizá a jóvenes subalternos la tarea de calcular las obras de drenaje.

Con demasiada frecuencia se hace el cálculo de los caudales muy groseramente, y se lanza el correspondiente caño, tajea o pontón tipificados en la Instrucción de Carreteras. Si la obra de la Instrucción elegida no cabe en la altura del terraplén se baja la solera de la estructura o se eleva la cota de terraplén. Si

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta revista hasta el 31 de agosto de 1976.

(**) Prefiero esta denominación de obras de drenaje a la más clásica de "obras de fábrica" porque no todas las obras de drenaje han de ser de fábrica, ni las de fábrica han de ser necesariamente de drenaje.

las velocidades de entrada o salida en la estructura son excesivas se protegen estos tramos con revestimientos de hormigón, y en paz. Casi, generalmente, la solera de la estructura sigue rigurosamente la línea del cauce de la vaguada.

Aunque siguiendo los criterios de la Instrucción (a mi juicio, demasiado rígidos y necesitados de puesta al día), algún progreso importante se ha hecho modernamente en España en el cálculo electrónico de la hidráulica de las estructuras de drenaje. El autor dispone de un juego de programas en donde entrando con los datos básicos: pluviometría en una o varias estaciones, períodos de retorno (de dos a mil años) el programa efectúa, a elegir, el ajuste por el método de Gumbel o de mínimos cuadrados y después calcula el caudal máximo de seis posibles formas:

1. Mediante la fórmula racional.
2. Mediante la de Burkli-Ziegler.
3. O elige la de mayor caudal de las dos.
4. O la de menor.
5. O da la media.
6. O fijando una superficie de cuenca parcial le aplica la fórmula racional a ella y la de Burkli-Ziegler al resto.

Fijando la forma de la cuneta (triangular, rectangular, trapezoidal o semicircular) el programa define la sección más económica, da todos sus parámetros hidráulicos —incluyendo el número de Froude— y la longitud total para permitir su rápida valoración. Por último, en las obras de drenaje, el programa define la más económica de entre 30 de la Instrucción, da sus datos hidráulicos e indica un abanico de alternativas con uno hasta diez caños para que el proyectista pueda elegir la más adecuada si existen otras limitaciones.

En España (al contrario de lo que ocurre

en Estados Unidos) muy rara vez se juega con factores tan fácilmente controlables como ensanche o estrechamiento de la lámina, para jugar con los calados o con aceleración, y deceleración de los caudales de cálculo, para abaratar las estructuras.

¿Por qué este desprecio hacia una parte de la obra cuyo coste puede fácilmente ser un 20 por 100 del total?

A mi juicio, la razón es puramente humana: el buen proyectista de carreteras no está acostumbrado a vibrar en el campo de los calados, las velocidades, los resaltos, los números de Froude ni los disipadores de energía. Y evidentemente, también, los magníficos técnicos hidráulicos de que el país dispone tienden a menospreciar el estudio de los modestos drenajes de carreteras. Qué duda cabe que es mucho más lucido el estudio hidráulico del aliviadero de una presa —que cuesta tanto y que se ve tan bien— que no tratar de abaratar un pontón —que el pobre se ve tan poco—. Si se me excusa lo pedestre del refrán: “Los unos por los otros y la casa sin barrer”.

El objeto de esta nota no es más que el de tratar de despertar la atención de los técnicos españoles sobre los grandes ahorros en costes de obra que pueden conseguirse con proyectos imaginativos que jueguen con todos los factores hidráulicos posibles: cambios de velocidad, pendiente, anchura de lámina, calado, régimen y dirección. El mayor tiempo y preparación que exigen estos proyectos más refinados puede —y suele— estar ampliamente compensado por los ahorros obtenidos.

Como ejemplo de estructura de drenaje fuera de lo corriente, se indica el de la figura 1, que el autor colaboró a proyectar en la autopista FAI-74, en Peoria (Illinois). Debido a la densa urbanización hubo de encajarse la carretera en la vaguada, desviando su caudal máximo de $179 \text{ m}^3/\text{seg.}$ por el canal (A) de 9,80 metros de anchura y 3,40 m de profundidad a una velocidad supercrítica de 7,6 m/seg. A esa velocidad el caudal entraba en una estructura en S (B) de tres caños rectangulares, con curvas de transición a la entrada y a la salida, y solera peraltada en las curvas para evitar turbulencia en la superficie. La estructura desembocaba en un disipador de energía (C), que devolvía el caudal a la vaguada natural. Esta heterodoxa estructura resultó ser, con mucho,

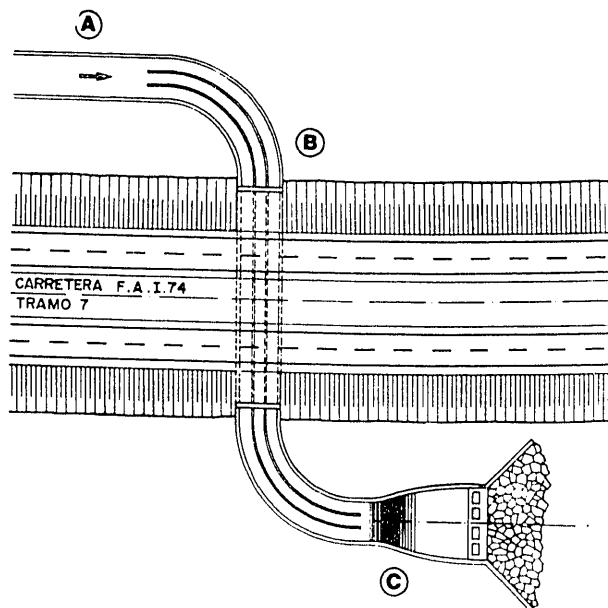


Figura 1.

la más económica de todas las soluciones estudiadas. Se realizó un ensayo en modelo reducido, que el autor dirigió en los laboratorios de la Universidad de Urbana, Illinois.

Otras técnicas interesantes, que prácticamente no se aplican en nuestro país, están basadas en la reducción al máximo de las pérdidas de carga debidas a la rugosidad, aceleración del flujo a la entrada de la estructura para, generalmente, pasar a régimen supercrítico, reduciendo así la sección necesaria y decelerándolo a la salida. La figura 2 muestra una tajea convencional, y la figura 3, la estructura deprimida para la misma capacidad de caudal. El ahorro obtenido en el coste de obra es del orden de un 40 por 100. Puede objetarse que en la sección deprimida se pudieran producir deposiciones indeseables de arrastres. Si bien se producirán con los caudales pequeños sin mayor inconveniente, si la estructura está bien proyectada, para los máximos caudales de cálculo esta estructura deprimida se limpia a sí misma automáticamente. La figura 4 muestra una estructura de dos caños con el mismo principio de aceleración de caudal, provista de un disipador de energía a su salida, y ofrece igualmente un ahorro de un 35 por 100 en el coste de obra comparada con una estructura convencional de la misma capacidad.

Es, pues, siempre muy interesante el preocuparse —sobre todo en estructuras importan-

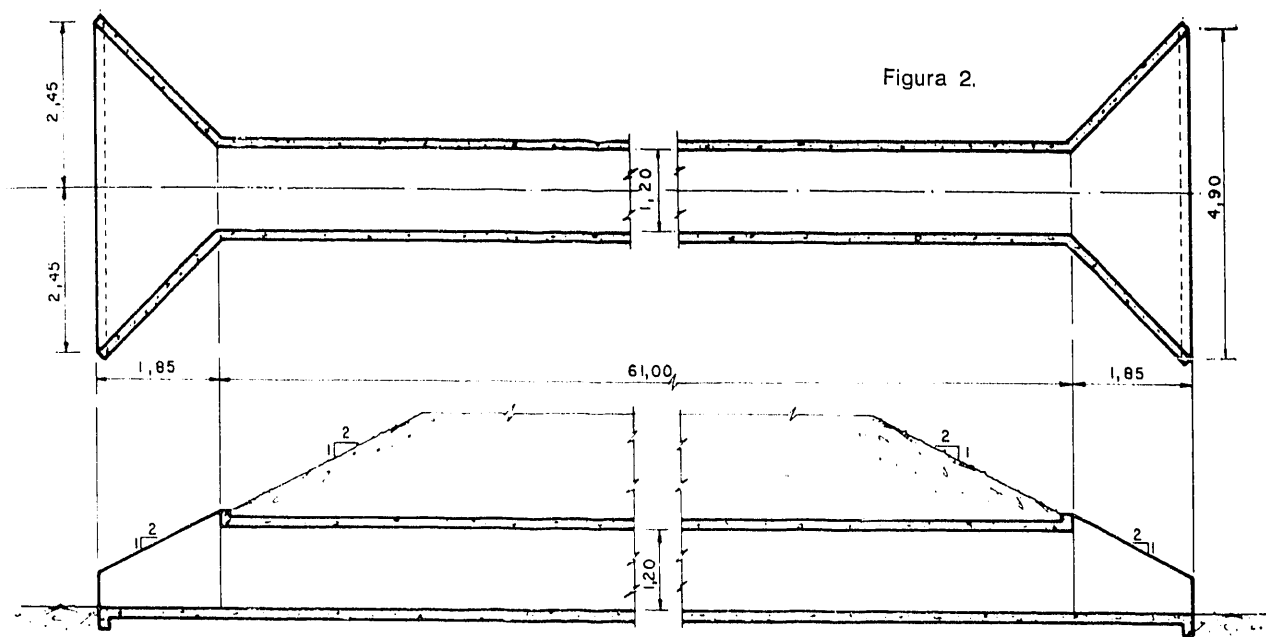


Figura 2.

tes— de estudiar las posibilidades de construcción de estructuras de este tipo, que atraviesen la carretera con velocidades supercríticas del flujo y, como se ve, con un considerable ahorro.

En casos de altura de terraplén estricta, con mucha frecuencia también, se utiliza la técnica de establecer estructuras de transición a la entrada, que a la vez de acelerar el flujo, lo dispersan en anchura, disminuyendo, por am-

bas razones, el calado en la estructura bajo la carretera y revirtiendo el proceso, es decir, disipando la energía, estrechando la sección y aumentando el calado a la salida para, en definitiva, restituir el flujo a las mismas condiciones naturales que tenía antes de su entrada en la estructura.

Si se comparan los costes de estas estructuras con soluciones alternativas de elevar la cota roja del terraplén para dar cabida a una

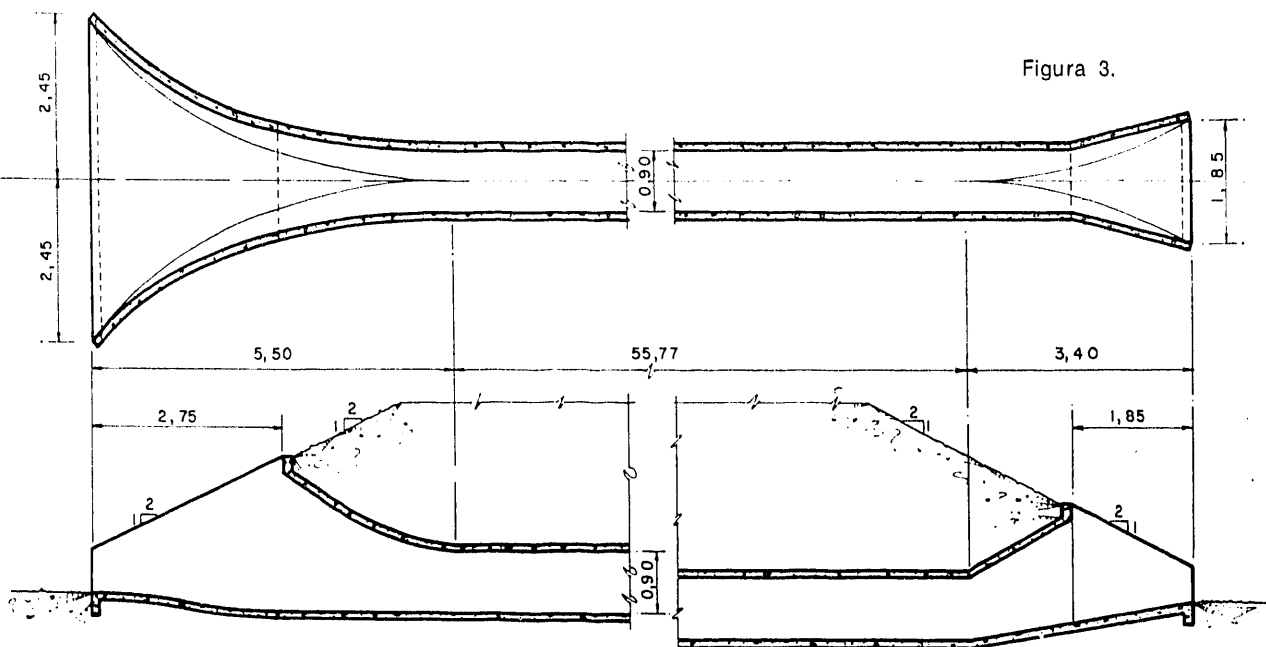


Figura 3.

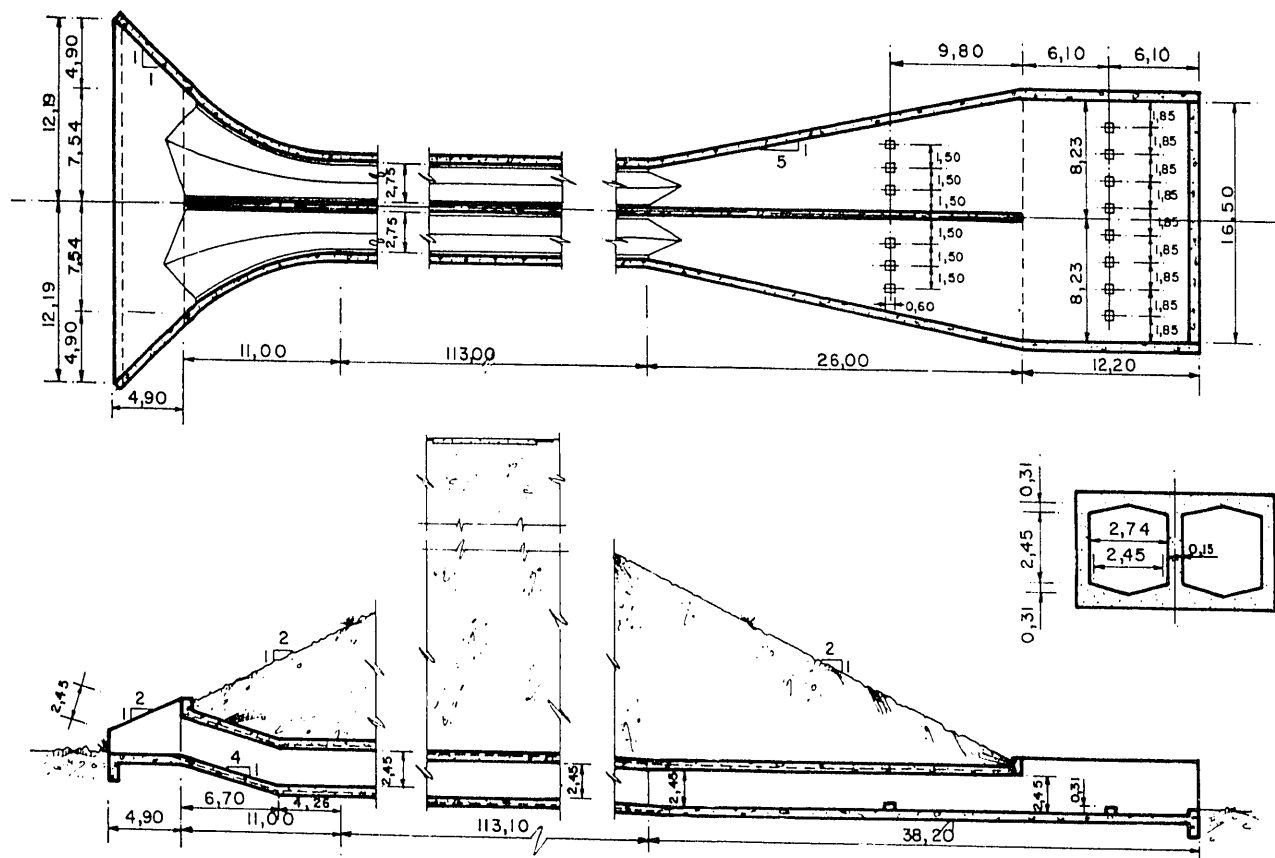


Figura 4.

estructura convencional o disponer ésta con la solera en desmorte obligando a construir canales revestidos a su entrada y salida, puede comprobarse, en la mayoría de los casos, que el coste adicional de proyecto de la estructura más sofisticada está ampliamente compensado por el ahorro en los costes de obra. A mi juicio, los ingenieros españoles estamos demasiado preocupados con las excesivas velocidades en las obras de fábrica. En Estados Unidos se tiende a ir, siempre que sea posible, a velocidades más altas y si hay razones para temer erosiones en la solera, proteger ésta con revestimientos de losas y adoquines de piedra más resistentes a la erosión que el hormigón. Por otra parte, las reparaciones periódicas de estas obras de fábrica representan una muy pequeña parte de los costes de conservación de la obra entera.

Una sugerencia importante. Frecuentemente se proyecta la vía por completo sin la menor consideración a los problemas de drenaje, y *después*, se colocan las estructuras como buena-

mente se puede, retocando en algunas ocasiones las cotas rojas en algunos tramos. Esta manera de operar es claramente desaconsejable y cara. El ingeniero de drenajes debe empezar a actuar desde el momento en que se ha fijado sobre un mapa, aunque no sea más que, aproximadamente, el trazado en planta del eje de la vía. El proyecto de la carretera, en cuanto se refiere a su definición, geométrica, ha de ir armónicamente paralelo al proyecto de los correspondientes drenajes y nunca el proyecto de drenaje debe constituir un pegote más o menos acertado, que se coloca después de la definición geométrica total de la carretera.

Como ya se mencionó anteriormente, con esta nota sólo se pretende despertar la atención de los proyectistas españoles sobre las economías de obra que un enfoque más imaginativo en el proyecto de estas estructuras de drenaje puede producir en el coste total de obra de nuestras nuevas carreteras.