

Modelo Hidráulico Cauces. Cálculo de la lámina de agua en régimen estacionario para cauces naturales o artificiales de lecho fijo

ALFONSO PALMA VILLALÓN (*); LUIS QUINTAS RIPOLL (**)

RESUMEN El modelo hidráulico CAUCES determina la lámina de agua en cauces naturales o artificiales para flujos gradualmente variados en régimen estacionario o permanente. El programa determina los tramos en régimen lento y rápido, obteniendo las secciones donde se produce el resalto hidráulico. Dispone de salidas gráficas y obtención de imágenes 3D de inundación.

HYDRAULIC MODELL "CAUCES". WATER LEVER CALCULATION FOR STEADY FLOW IN FIXED CHANNELS

ABSTRACT The hydraulic modell CAUCES obtains the water levels in natural or artificial channel using steady flow regime. The model can distinguish subcritical or supercritical flow, obtaining in which sections the hydraulic jump is. The model has output utilities to obtain graphical information and 3D images of the flood.

Palabras clave: Cauces; Lámina de agua; Lecho; Flujo.

MODELO HIDRÁULICO CAUCES

La finalidad del CAUCES es el cálculo del perfil de la lámina de agua en cauces naturales o artificiales, de lecho fijo, para flujo gradualmente variado en régimen estacionario.

El programa fija las secciones de control, en régimen crítico, determinando los tramos en régimen lento y rápido, y obteniendo las secciones donde se produce el resalto hidráulico.

Permite la entrada o salida de caudales a lo largo del tramo estudiado y modelizar las diversas obras singulares que se puedan existir en su recorrido, puentes, alcantarillas, vertederos u otras estructuras.

El procedimiento básico de cálculo está basado en la solución de la ecuación de la energía unidimensional, y evalúa la pérdida de energía debida a la fricción con la ecuación de Manning, teniendo en cuenta las pérdidas localizadas debidas a cambio de forma de las secciones y los cambios de dirección del flujo. El método de resolución es el de aproximaciones sucesivas.

El programa surgió como necesidad para determinar la lámina de agua en canales y aliviaderos, para secciones tra-

peciales o rectangulares, ampliándose posteriormente a secciones irregulares, propias de cauces naturales.

El programa está realizado en TURBOBASIC, manejando todos los ficheros en ASCII.

Igualmente el programa permite salidas gráficas, perfiles longitudinales y transversales, en CAD, mediante programas en AUTOLISP, así como la obtención de los perfiles del cauce a través del programa ISTRAM¹, gestión de bases cartográficas, pudiendo dibujar posteriormente la línea de inundación en la misma base cartográfica y la creación de escenarios de inundación.

HIPÓTESIS BÁSICAS

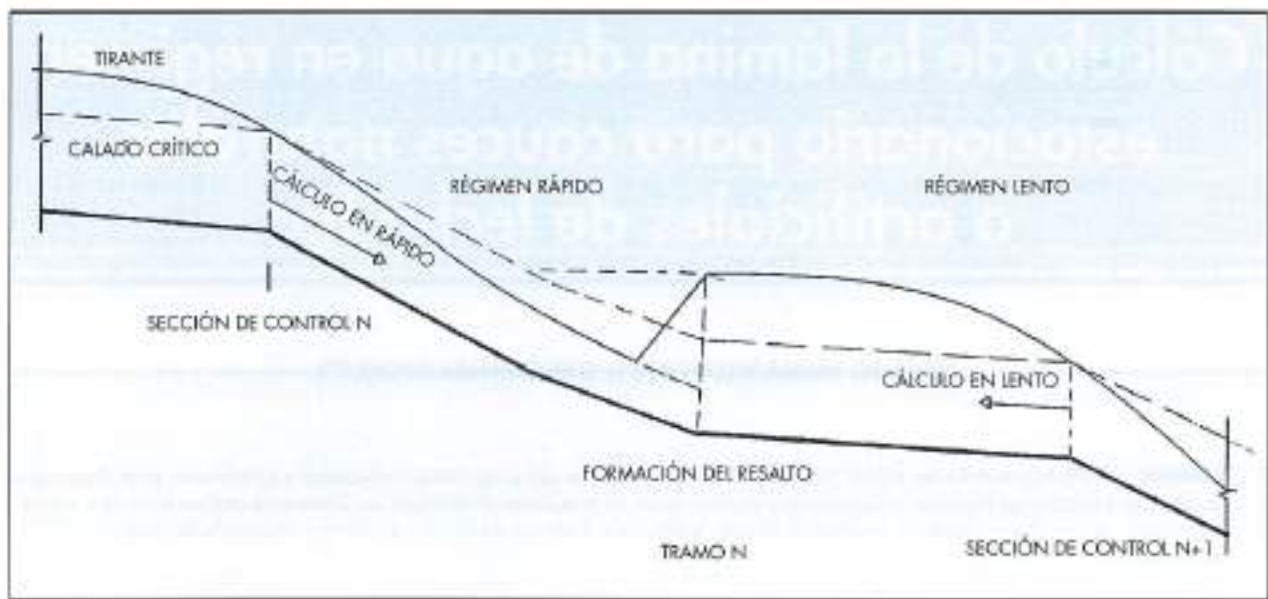
Las principales hipótesis básicas asumidas por el programa son:

- Flujo estacionario: por tanto no hay variación del calado o la velocidad con el tiempo.
- Flujo gradualmente variado: esto conduce a una distribución hidrostática de presiones.
- Flujo unidimensional: la única componente de la velocidad es en la dirección del flujo.
- Los contornos son rígidos, no admitiéndose erosión o sedimentación en el cauce.

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Sección de Estudios Hidráulicos del Centro de Estudios Hidrográficos, CEDEX (M^o de Fomento).

(**) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de División de Ingeniería de Sistemas del Centro de Estudios Hidrográficos, CEDEX (M^o de Fomento).

(1) ISTRAM es marca registrada de SAIS, Ingeniería de Recursos Naturales y Sistemas, S.A.



Con estas hipótesis resulta que la ecuación básica de la conservación de la energía es la de Bernoulli, que aplicándola entre dos secciones S_1 y S_2 resulta:

$$z_1 + y_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + y_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_e$$

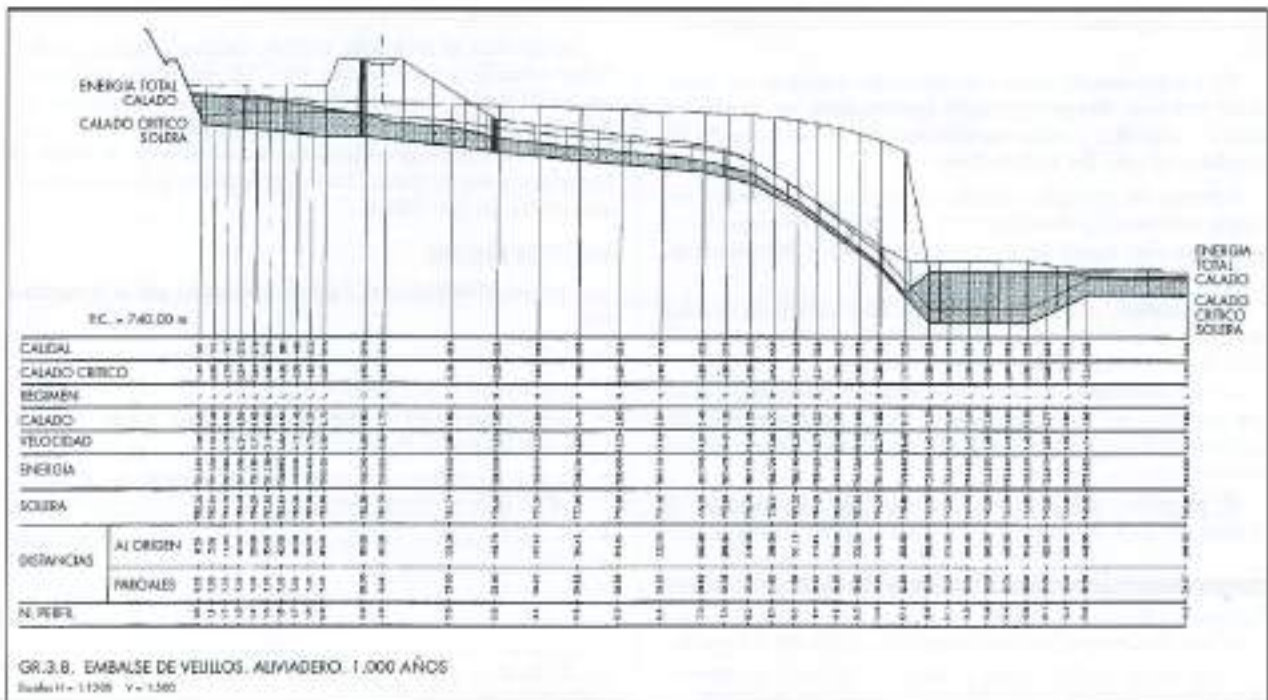
Donde h_e es la pérdida de energía, cuya valor es:

$$h_e = L \cdot \frac{\eta^2 \cdot v_m^2}{R_H^{4/3}} + C_1 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + C_2 \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

Donde η es el coeficiente de rugosidad de Manning, y C_1 y C_2 son coeficientes de pérdidas por cambio de forma de las secciones (expansiones y contracciones, respectivamente) o por cambio de dirección del cauce (según ángulo y radio medio de giro).

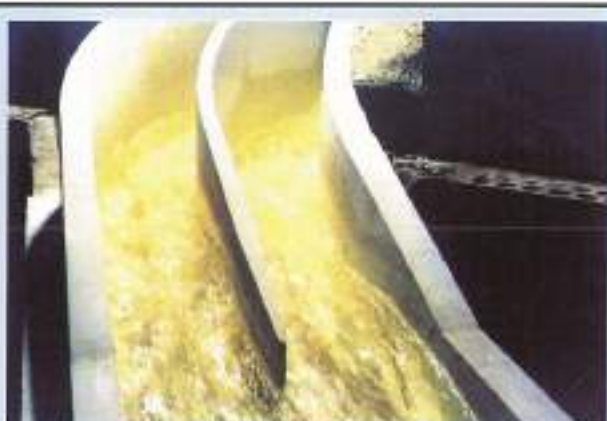
El programa permite fijar diferentes coeficientes de Manning para cada segmento de la poligonal que define cada sección. En el cálculo tiene en cuenta el efecto de la inundación de las márgenes, donde el agua circula a baja velocidad.

El programa determina las secciones de control, donde se produce el cambio de régimen lento a rápido, procediendo a partir de ellas al cálculo de los calados aguas arriba en régi-



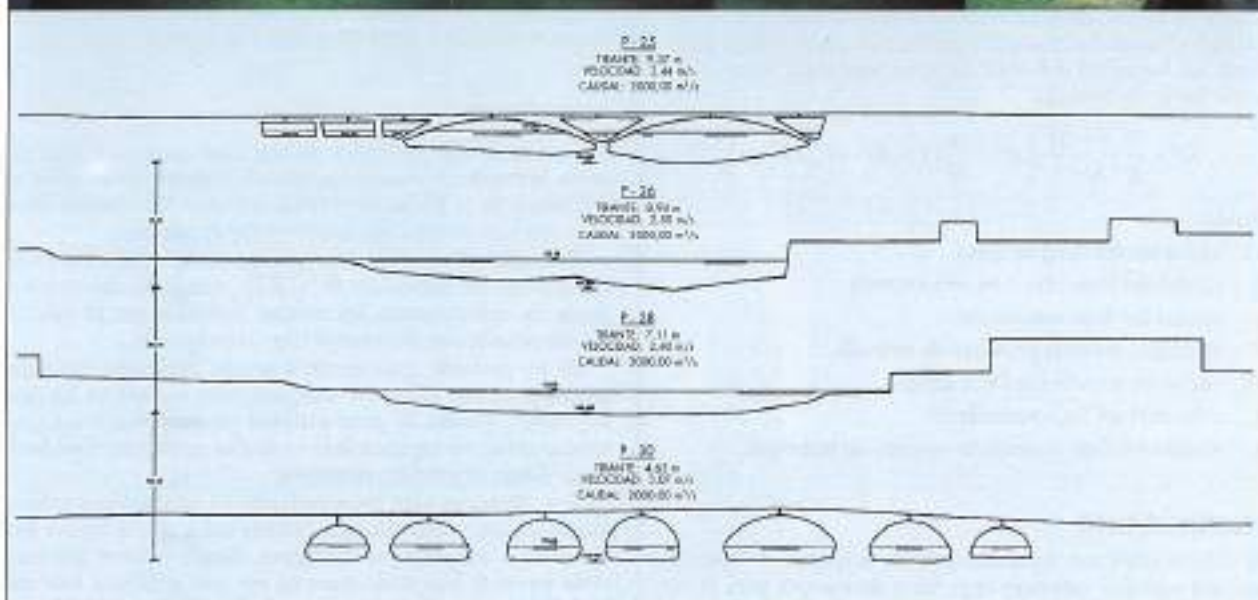


Solución inicial, $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$. Vertedero y canal colector. Se aprecia gran agitación en el paramento opuesto al vertedero.



Solución inicial, $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$. Salida de la curva del divisorio.

GR. Presa de Velillas. Modelo olivadero



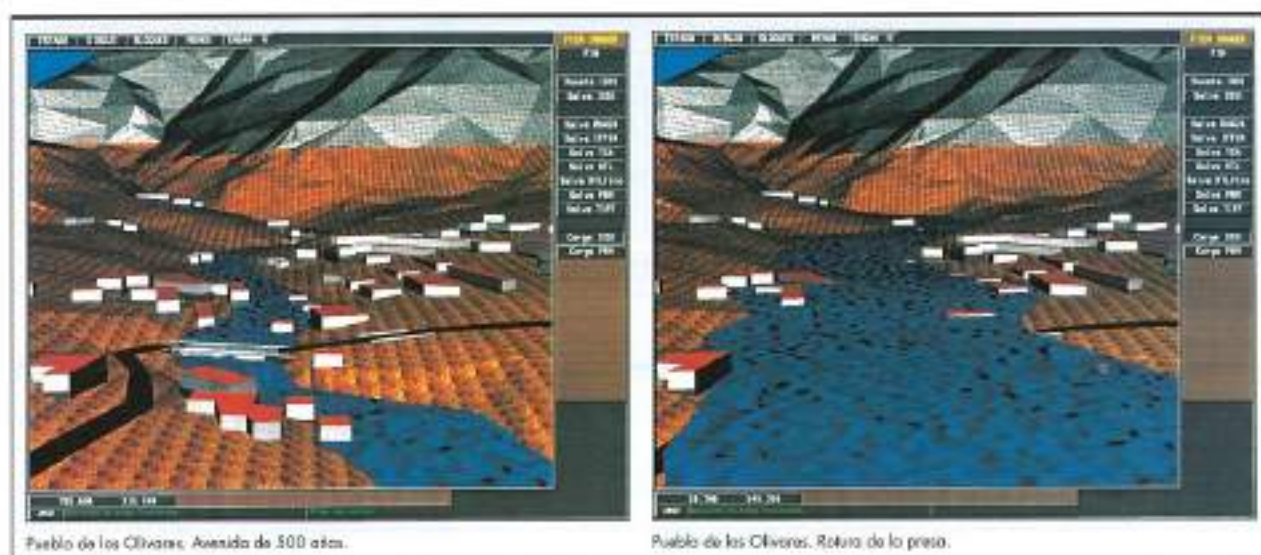
GR. Río Ebro a su paso por Zaragoza.

men lento y de los calados aguas abajo en régimen rápido, hasta que se origina el resalto al encontrarse con los calados en régimen lento del tramo siguiente.

Para la determinación del punto donde se produce el resalto se aplica el teorema de la conservación de la energía, fijándose el resalto en la primera sección, yendo aguas abajo

en régimen rápido, donde se cumpla la siguiente desigualdad:

$$\frac{Q \cdot V_1}{g} + E_1 \leq \frac{Q \cdot V_2}{g} + E_2$$



siendo:

Q : caudal en la sección estudiada.

V_1 : la velocidad en régimen rápido.

E_1 : El empuje hidrostático con el tirante del régimen rápido.

V_2 : la velocidad en régimen lento.

E_2 : El empuje hidrostático con el tirante del régimen lento.

La entrada o salida de caudales se realiza igualmente aplicando la ecuación de la conservación de la energía, considerando en los flujos entrantes o salientes el caudal, la velocidad, el tirante y en ángulo del flujo respecto al flujo principal. La variación del nivel de agua originada viene dada por la conocida fórmula:

$$\Delta Y = \frac{Q}{g} \frac{V + \Delta V}{Q + q} \left[\Delta V + \frac{q}{Q} (V + \Delta V - V_q \cos \alpha_q) \right]$$

siendo:

ΔY : variación del nivel de agua.

Q : caudal del flujo principal a la entrada.

q : caudal del flujo secundario.

V : velocidad del flujo principal de entrada.

ΔV : variación de velocidad a la salida.

V_q : velocidad del flujo secundario.

α_q : ángulo del flujo secundario respecto al principal.

RÉGIMEN DEL FLUJO

El cálculo comienza determinando las secciones de control, que son aquellas secciones cuya línea de energía para el régimen crítico del caudal de cálculo está por encima de las secciones contiguas. Posteriormente en el cálculo de la lámina el programa puede modificar estas secciones.

El programa divide el cauce en estudio en tramos entre secciones de control, y empezando por el tramo situado mas aguas abajo, se avanza en primer lugar hacia aguas arriba, desde la sección de control inferior del tramo, calculando, a partir del calado crítico en esa sección, en régimen lento las secciones que se van encontrando, hasta que no exista energía para seguir. A continuación desde la sec-

ción de control superior, igualmente con el calado crítico, se va calculando hacia aguas abajo en régimen rápido hasta que en el cruce con el régimen lento se produce el resalto hidráulico.

En este proceso se pueden producir muchas alternativas que el programa debe ir resolviendo:

- Que no se produzca resalto hidráulico: el flujo en régimen rápido arrastra el lento y por lo tanto desaparece la sección de control aguas abajo.
- Que no se encuentren el régimen rápido y lento: se crea una sección de control intermedia de control.

APLICACIONES

Se han realizado múltiples aplicaciones para el diseño de obras hidráulicas, especialmente aliviaderos, entre ellos el aliviadero de la Presa de Velillos, de labio fijo, vertido lateral y con cuenco amortiguador (ver figura adjunta).

Este aliviadero se ha ensayado en modelo reducido en el Laboratorio de Hidráulica del C.E.H., comprobando en buen grado de aproximación los niveles definidos por el cálculo con los resultantes del ensayo (ver foto adjunta).

Se ha aplicado igualmente a cauces naturales con regímenes próximos al crítico, situación muy normal en los ríos españoles, siendo de gran utilidad ya que determina que tramos están en régimen lento y cuales en rápido, fijando el lugar donde se produce el resalto.

Por último se está desarrollando su aplicación a cauces abiertos, con zonas de inundación, tal como el tramo del río Ebro a su paso por Zaragoza, donde existen además siete puentes que atraviesan en río (ver gráfico y foto adjunta).

Una aplicación añadida es la introducción de los niveles de agua dentro de una base cartográfica, y a través del program ISTRAM, se pueden obtener una imagen visual del posible impacto de los niveles de agua en la zona estudiada, resultando los llamados **escenarios de inundación**.

En los gráficos adjuntos se puede ver dicha aplicación desarrollada para el estudio de rotura de la presa de Velillos, en los efectos que se producen sobre el pueblo de Olivares la onda de rotura de la presa.