INERTIX

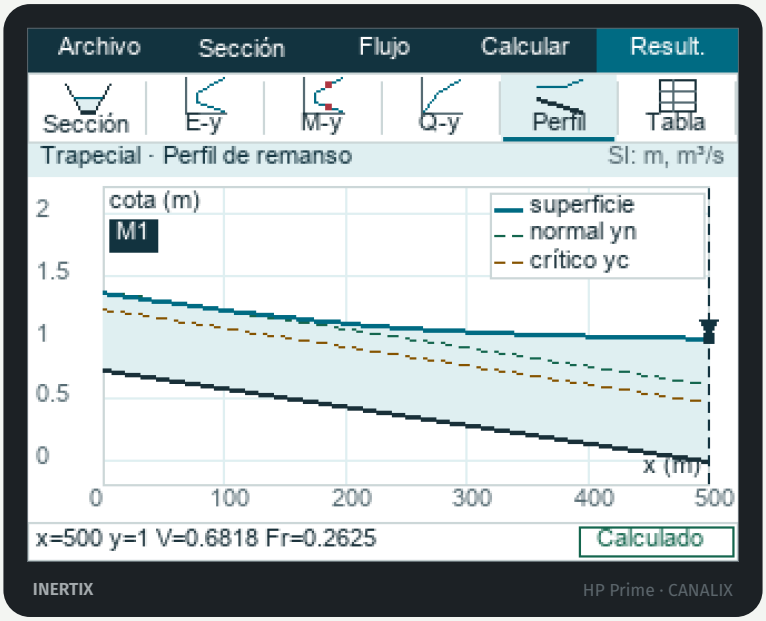
Programas de ingeniería civil para HP Prime

GUÍA DE USO

CANALIX

Canales abiertos: flujo uniforme, estado crítico, resalto y remanso

Versión 1.0 **HP Prime G1 · G2** Hidráulica · Octubre de 2026



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

CONTACTO Y SOPORTE

Asistente técnico INERTIX +591 69666824

Ing. Carlos Paredes Aguilar
+591 73842694

Ing. Samuel Huarachi Flores
+591 63562947

Contenido

1. Presentación y alcance **3**
1.1. Qué calcula . . . 3
1.2. Unidades y convenciones . . . 3
1.3. Límites y fuera de alcance . . . 3

2. Instalación **4**
2.1. Qué necesita . . . 4
2.2. Copiar el programa a la calculadora . . . 4

3. Licencia de uso **5**

4. La interfaz **6**
4.1. Teclas . . . 6
4.2. Editar un valor y resultados pendientes . . . 7

5. Ejemplo guiado **8**
5.1. Enunciado . . . 8
5.2. Datos . . . 8
5.3. Paso a paso . . . 8
5.4. Resultados . . . 17
5.5. Opciones importantes . . . 19

6. Referencia de menús y opciones **24**
6.1. 1 · Archivo . . . 24
6.2. 2 · Sección . . . 24
6.3. 3 · Flujo . . . 24
6.4. 4 · Calcular . . . 25
6.5. 5 · Result. . . . 25

7. Fundamento teórico breve **26**
7.1. Geometría y flujo uniforme . . . 26
7.2. Estado crítico . . . 26
7.3. Resalto hidráulico . . . 26
7.4. Remanso (flujo gradualmente variado) . . . 27
7.5. Sección de máxima eficiencia . . . 27

8. Errores y avisos **27**

9. Preguntas frecuentes **28**

1 Presentación y alcance

CANALIX resuelve la **hidráulica de canales abiertos** en la calculadora HP Prime: flujo uniforme por Manning, estado crítico, resalto hidráulico y perfil de remanso en un tramo prismático. Los datos se introducen en formularios ligados a un croquis de la sección; los resultados se ven sobre el croquis, en cuatro gráficas con cursor y en una tabla, y cada método se puede seguir **paso a paso** para comparar con el cálculo hecho a mano. Está pensado para estudiantes y profesionales de hidráulica.

1.1 Qué calcula

- Cinco secciones: rectangular, trapecial (taludes z_1, z_2 distintos), triangular, circular y parabólica ($x^2 = 4ay$).
- Flujo uniforme: tirante normal y_n, o bien el caudal Q, la pendiente S_0 o el ancho b si se conoce el tirante; área, perímetro, radio hidráulico, velocidad, Froude, energía, fuerza específica y tensión de corte.
- Estado crítico: tirante crítico y_c, energía mínima, pendiente crítica S_c y tirantes alternos.
- Resalto hidráulico por fuerza específica: conjugado, pérdida de energía, eficiencia, longitud aproximada y tipo de resalto.
- Conducto circular: caudal a sección llena, caudal máximo y segundo tirante normal.
- Remanso en un tramo prismático con un tirante de control (dado o crítico) en un extremo, con clasificación M, S, C, H o A del perfil.
- Sección de máxima eficiencia (rectangular, trapecial, medio hexágono, triangular y semicircular).
- Procedimiento por ocho métodos: Newton, bisección, estado crítico, resalto, remanso por RK4, paso directo, paso estándar y sección óptima.

1.2 Unidades y convenciones

Magnitud	Unidad	Convención
Longitudes y tirantes	m	Tirante medido en vertical desde el punto más bajo
Caudal	m^3/s	Positivo
Pendiente de fondo S_0	m/m	Positiva si el fondo baja en el sentido del flujo; 0 = horizontal; negativa = adversa
Taludes z	H:V	Horizontal por unidad vertical
Gravedad	9.81 m/s^2	Fija (solo sistema internacional)
Abscisa del perfil x	m	Desde el extremo de aguas arriba del tramo

1.3 Límites y fuera de alcance

Dato	Rango admitido
Rugosidad de Manning n	0.005 a 0.2 (típico 0.010 a 0.035)
Pendiente S_0	$\lvert S_0 \rvert \le 0.5$
Tramos del paso directo y estándar	2 a 40

Fuera de alcance

CANALIX trabaja solo en **unidades SI**. El remanso cubre **un solo tramo prismático** con un control en uno de sus extremos: no cubre tramos en serie, transiciones ni cambios de sección. La longitud del resalto es la aproximación empírica 6.9 $(y_2 - y_1)$ para canal rectangular horizontal. El paso directo con pocos tramos se aparta de la integración RK4 cerca de la asíntota del tirante normal (es propio del método: usa la pendiente de fricción media); el procedimiento lo indica.

2 Instalación

2.1 Qué necesita

- Calculadora **HP Prime G1 o G2** con el firmware actualizado.
- Un computador con **HP Connectivity Kit** y el cable USB de la calculadora.
- Los dos archivos que recibió con su compra:
  - la aplicación: `CANALIX.hpappdir`;
  - el archivo de licencia: `LIC_CANALIX.hpprgm`.

  En el plan fundador el archivo de licencia es `INERTIX_LICENCIA.hpprgm`.

2.2 Copiar el programa a la calculadora

1. Conecte la calculadora al computador y abra HP Connectivity Kit. La calculadora aparece como **HP Prime** en el panel *Calculadoras*.
2. Seleccione el archivo `CANALIX.hpappdir` y **arrástrelo sobre HP Prime** en ese panel. La aplicación se copia automáticamente al lugar que le corresponde; espere a que termine la transferencia.
3. Haga lo mismo con el **archivo de licencia**: arrástrelo sobre **HP Prime**. Basta copiarlo una vez; no hay que abrirlo ni escribir ninguna clave.
4. En la calculadora pulse Apps para abrir la *Biblioteca de aplicaciones*. CANALIX aparece allí con su icono.
5. Toque el icono de CANALIX para abrirlo. Con la licencia copiada, entra directamente (sección siguiente).

Copia de seguridad

Antes de instalar, respalde su calculadora desde HP Connectivity Kit (clic derecho sobre la calculadora, *Copia de seguridad*). Así conserva sus programas y notas ante cualquier imprevisto.

3 Licencia de uso

CANALIX funciona con un **archivo de licencia** preparado para su calculadora. **No hay que escribir ninguna clave**: el programa lee la licencia por sí solo cada vez que se abre.

1. Al comprar, indique el **ID de la calculadora** (número de serie). Si aún no lo tiene, abra CANALIX sin la licencia: la pantalla `Licencia de uso` lo muestra en la línea `ID de la calculadora`.
2. Con su compra recibe dos archivos:
   - la aplicación: `CANALIX.hpappdir`;
   - el archivo de licencia: `LIC_CANALIX.hpprgm`.

   En el *plan fundador* hay un único archivo de licencia, `INERTIX_LICENCIA.hpprgm`, que sirve para todos los programas.
3. Copie ese archivo a la calculadora igual que la aplicación: arrástrelo sobre **HP Prime** en HP Connectivity Kit. Queda guardado en el catálogo de programas (Program).
4. Abra CANALIX desde la *Biblioteca de aplicaciones*: entra directamente, sin pedir nada.

Si aparece la pantalla de licencia

- `FALTA ARCHIVO DE LICENCIA`: el archivo no está en la calculadora o fue borrado. Cópielo de nuevo y vuelva a abrir el programa (Enter reintenta, Esc sale).
- `LICENCIA NO VÁLIDA` o `SERIAL NO AUTORIZADO`: el archivo o la aplicación no corresponden al ID de esta calculadora. Escriba al asistente técnico con el ID que muestra la pantalla.

No modifique el contenido del archivo de licencia. Si el problema persiste, escriba al asistente técnico o directamente a Ing. Carlos Paredes Aguilar (+591 73842694) o a Ing. Samuel Huarachi Flores (+591 63562947).

Restablecimiento de la calculadora

Solo en caso de formatear la calculadora, vuelva a copiar la aplicación y su archivo de licencia. Conserve ambos archivos y su comprobante de compra.

4 La interfaz

La primera vez que se abre, CANALIX carga un **caso nuevo**: un canal trapecial de 1 m de fondo con taludes 1:1, Q = 1 m^3/s, n = 0.015 y S_0 = 0.001, listo para calcular o para cambiar sus datos. Las veces siguientes conserva el último caso con el que se trabajó.



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

1. **Barra de menú.** Cinco categorías; se abren con 1 a 5 o tocándolas.
2. **Cinta.** Órdenes de la categoría activa; la orden activa queda resaltada.
3. **Rótulo de la vista.** Tipo de sección y vista actual; a la derecha, las unidades.
4. **Lienzo.** Croquis, curvas o perfil. En el croquis se puede tocar el fondo, un talud, el contorno o el agua.
5. **Panel.** Datos del caso o, tras calcular, los resultados del flujo uniforme.
6. **Línea de estado.** Ayuda de teclas, mensajes y valores del cursor.
7. **Botón de cálculo.** `Calcular` si hay cambios sin resolver; `Calculado` si los resultados están al día.

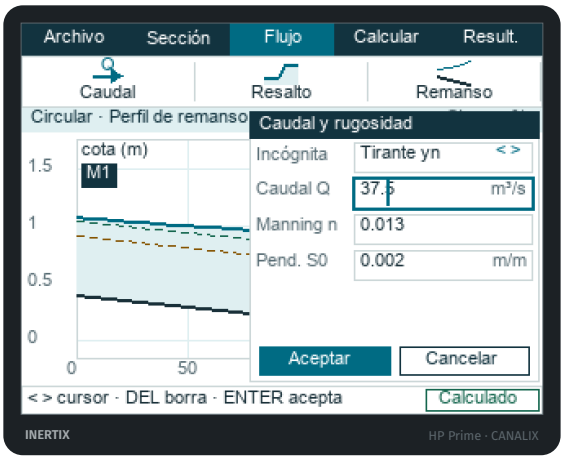
4.1 Teclas

Tecla	Dónde	Acción
1 … 5	Siempre	Abre la categoría del menú y pone el foco en la cinta.
◀ ▶	Cinta	Elige la orden.
Enter	Cinta	Activa la orden resaltada.
Enter	Croquis	Calcula; si hay un elemento seleccionado, abre sus propiedades.
◀ ▶	Croquis	Recorre fondo, taludes, contorno y agua.
▲ ▼	Curvas E–y, M–y, Q–y	Mueven el cursor de tirante.
◀ ▶	Perfil	Recorren las estaciones del remanso.
Flechas	Tabla, ayuda	Desplazan el documento.
◀ ▶	Procedimiento	Sección anterior o siguiente.
Esc	Siempre	Cierra la ventana o el formulario; en el lienzo, pide confirmar la salida.

Pantalla táctil

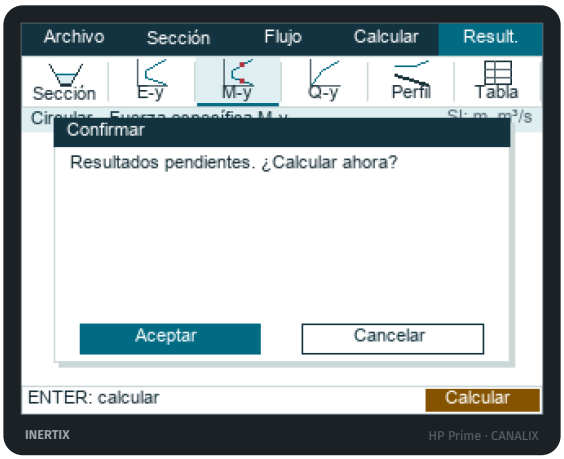
Todo se puede hacer también con el dedo: tocar una categoría o una orden la activa; en el croquis, tocar un elemento lo selecciona y tocarlo de nuevo abre su formulario; tocar `Calcular` resuelve; en las gráficas, tocar mueve el cursor; en los documentos y procedimientos, arrastrar desplaza.

4.2 Editar un valor y resultados pendientes



Edición en la propia celda: cursor dentro del número.

Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora



Tras un cambio, las vistas de resultados ofrecen calcular.

Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

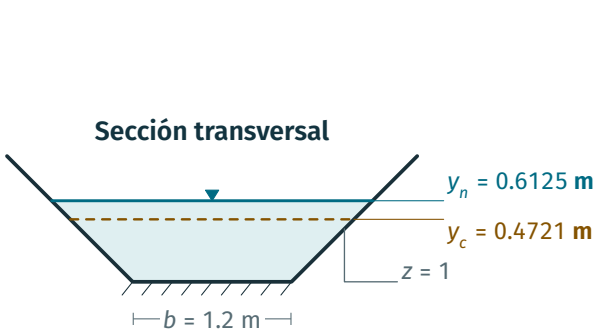
- En un formulario, ▲ ▼ cambian de campo. Teclear un número **reemplaza** el valor; Enter sobre un campo lo abre con el texto seleccionado.
- Dentro del número, ◀ ▶ mueven el cursor y Del borra el carácter de la izquierda, hasta dejar el campo vacío. Con el texto seleccionado, Del lo borra todo.
- (-) cambia el signo; EEX añade el exponente (`1.5E-3`).
- Enter acepta y pasa al campo siguiente; un campo confirmado vacío conserva su valor; Esc anula la edición. En los campos con < > (lista), ◀ ▶ cambian la opción y el formulario muestra solo los campos que aplican.
- Cualquier cambio deja los resultados **pendientes**: CANALIX no muestra valores de una solución anterior. Vuelva a 4 **Calcular** Resolver.

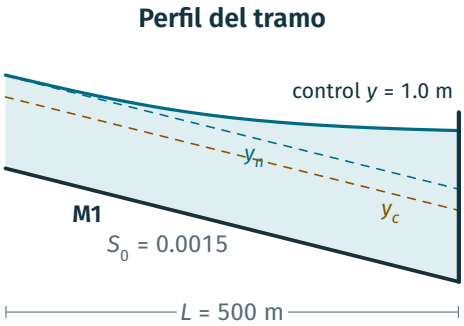
5 Ejemplo guiado

5.1 Enunciado

Un canal trapecial revestido de concreto (ancho de fondo 1.2 m, taludes 1:1) conduce **1.5 m³/s** con pendiente 0.0015 y rugosidad de Manning 0.015. Se pide:

- el **tirante normal** y el **tirante crítico**, y el régimen del flujo;
- el **tirante conjugado** de un resalto que se forma con un tirante inicial de 0.25 m;
- el **perfil de remanso** en los 500 m de canal aguas arriba de una estructura que fija un tirante de 1.0 m.





5.2 Datos

Dato	Valor	Dónde se introduce
Sección	Trapecial	2 **Sección** Trapecio
Ancho de fondo b	1.2 m	Mismo formulario
Taludes z_1, z_2 (H:V)	1 y 1	Mismo formulario
Caudal Q	1.5 m³/s	3 **Flujo** Caudal
Rugosidad de Manning n	0.015	Mismo formulario
Pendiente de fondo S_0	0.0015 m/m	Mismo formulario
Incógnita	Tirante normal y_n	Mismo formulario
Tirante inicial del resalto y_1	0.25 m	3 **Flujo** Resalto
Longitud del tramo L	500 m	3 **Flujo** Remanso
Control	Tirante dado y = 1.0 m, aguas abajo	Mismo formulario
Tramos del paso directo y estándar N	10	Mismo formulario

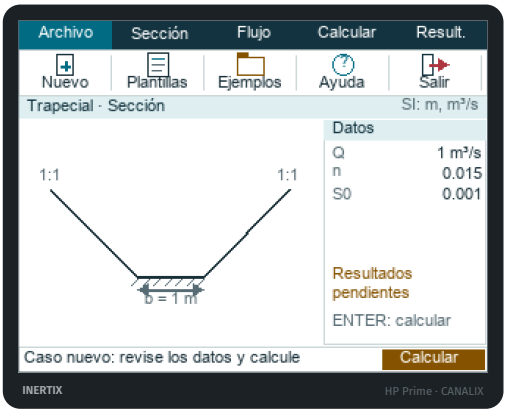
Fuente: Caso de validación oficial de INERTIX para canales trapeciales y flujo gradualmente variado (`Archivo > Ejemplos`). Los valores de tirante normal, tirante crítico y curva de remanso se verifican analíticamente mediante la ecuación de Manning y métodos de integración numérica adaptativa.

5.3 Paso a paso

El ejemplo se construye **desde cero y solo con el teclado**, en 17 pasos. En cada paso, la fila *Teclas* es la secuencia exacta desde el final del paso anterior; ▶ ×2 significa pulsar la tecla dos veces. Se

parte de la pantalla inicial de CANALIX.

1 Empezar un caso nuevo



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

TECLAS

1 Enter ×2

1 **Archivo** Nuevo pregunta si se descarta el caso actual; Enter confirma. Queda el canal trapecial de partida con los resultados pendientes. Así el ejemplo no hereda datos de un cálculo anterior.

✔ **Debe verse:** Canal trapecial de partida (b = 1 m, taludes 1:1) y «Resultados pendientes»

2 Sección trapecial: ancho de fondo 1.2 m



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

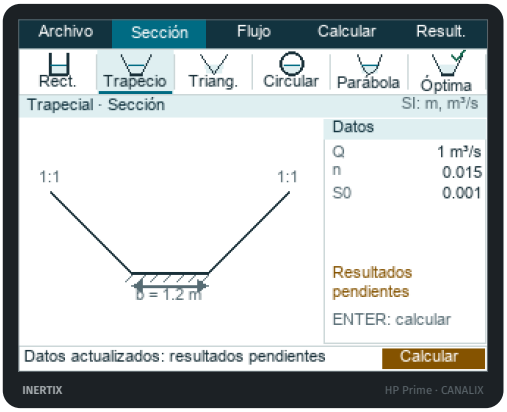
TECLAS

2 ▶ Enter 1 . 2 Enter

2 **Sección** Trapecio abre el formulario de la sección con el foco en `Fondo b`. Teclee 1.2 y acepte con Enter: el foco pasa a `Talud z1`. Los dos taludes ya valen 1, que es lo pedido.

✔ **Debe verse:** Formulario «Sección Trapecial»: Fondo b = 1.2 m, Talud z1 = z2 = 1 H:V

3 Aceptar la sección



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

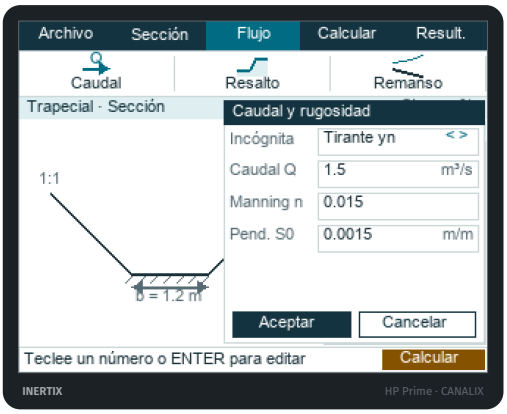
TECLAS

▼ ×2 **Enter**

Dos veces ▼ llevan al botón `Aceptar`. El croquis se redibuja con el fondo de 1.2 m y los taludes 1:1 rotulados.

✔ **Debe verse:** Croquis del trapecio con b = 1.2 m y taludes 1:1

4 Caudal, rugosidad y pendiente



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

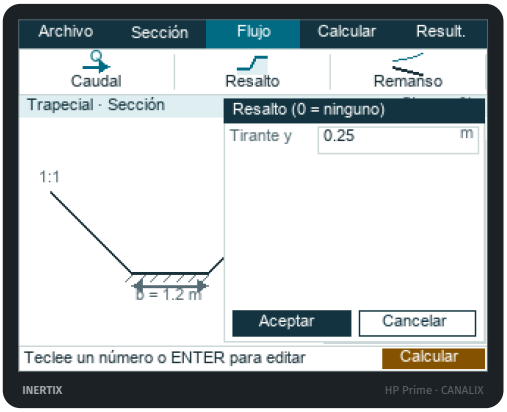
TECLAS

3 **Enter** 1 . 5 **Enter** ▼ 0 . 0 ×2 1 5 **Enter**

3 **Flujo** Caudal abre `Caudal y rugosidad` con la incógnita `Tirante yn`. Teclee *Q* = 1.5; la rugosidad 0.015 ya es la del concreto, así que se baja a `Pend. S0` y se teclea 0.0015. El foco queda en `Aceptar`.

✔ **Debe verse:** Formulario «Caudal y rugosidad»: Incógnita = Tirante yn, Q = 1.5 m³/s, n = 0.015, S0 = 0.0015

5 Tirante inicial del resalto



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

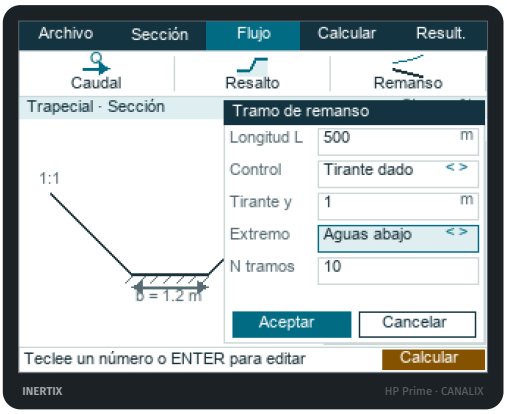
TECLAS

[Enter] [3] [▶] [Enter] [0] [.] [2] [5] [Enter]

[Enter] acepta el formulario anterior. [3] [Flujo] Resalto pide el tirante supercrítico antes del resalto: 0.25 m. Con 0 el programa no calcula resalto.

✔ **Debe verse:** Formulario «Resalto (0 = ninguno)»: Tirante y = 0.25 m

6 Tramo de remanso con tirante de control



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

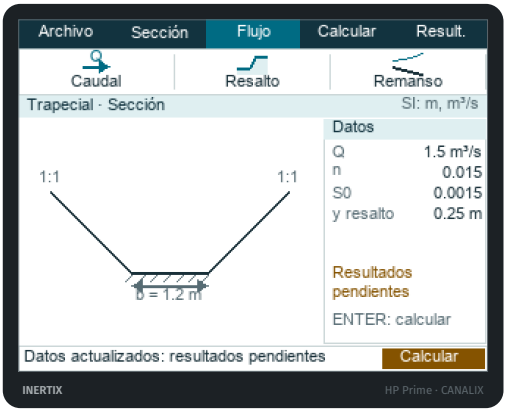
TECLAS

[Enter] [3] [▶]×2 [Enter] [5] [0]×2 [Enter] [▶] [▼] [1] [Enter]

Tras aceptar el resalto, [3] [Flujo] Remanso abre el tramo. Teclee *L* = 500; en `Control`, [▶] elige `Tirante dado` y aparece el campo `Tirante y`, donde se teclea 1. El extremo `Aguas abajo` y los 10 tramos ya son los del enunciado.

✔ **Debe verse:** Formulario «Tramo de remanso»: L = 500 m, Control = Tirante dado, y = 1 m, Aguas abajo, N = 10

7 Aceptar el remanso



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

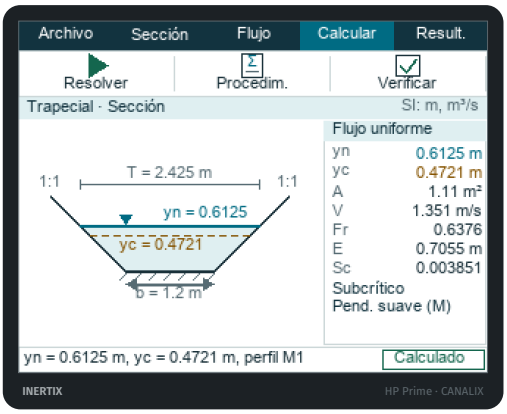
TECLAS

▼ ×2 **Enter**

`Aceptar` guarda el tramo. El panel muestra los datos y el botón `Calcular` sigue en naranja: todavía no hay resultados.

✔ **Debe verse:** Croquis con «Resultados pendientes» y el botón «Calcular» en naranja

8 Resolver



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

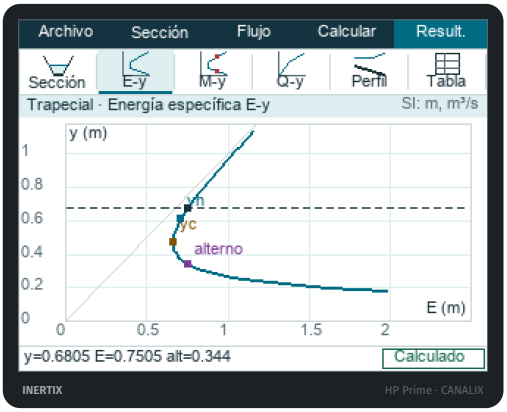
TECLAS

4 **Enter**

4 **Calcular** Resolver calcula todo de una vez. El croquis dibuja el agua al tirante normal y_n = 0.6125 m y el crítico y_c = 0.4721 m en trazos; el panel da *A*, *V*, *Fr*, *E* y S_c, el régimen `Subcrítico` y la pendiente `Pend. suave (M)`. La línea de estado resume y_n, y_c y el perfil M1.

✔ **Debe verse:** Agua en el croquis con yn = 0.6125 y yc = 0.4721; panel con A, V, Fr = 0.6376, E y Sc; «Subcrítico» y «Pend. suave (M)»

9 Curva de energía específica E–y



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

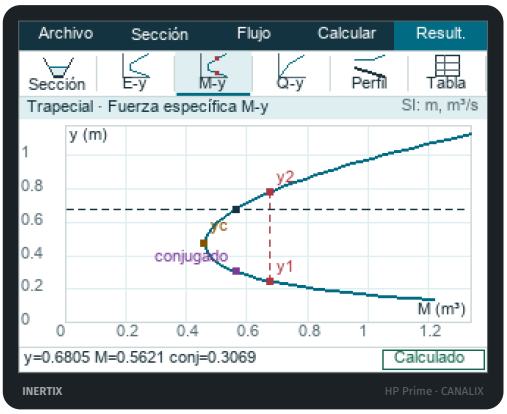
TECLAS

5 ▶ Enter ▲×3

5 **Result.** E-y dibuja $E(y)$ para el caudal del caso, con y_n y y_c marcados. Con ▲ el cursor sube por la curva; abajo se lee el tirante, su energía y el **tirante alterno** de igual energía.

✔ **Debe verse:** Curva E–y con yn, yc y el tirante alterno; abajo, y, E y alterno del cursor

10 Curva de fuerza específica M–y: el resalto



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

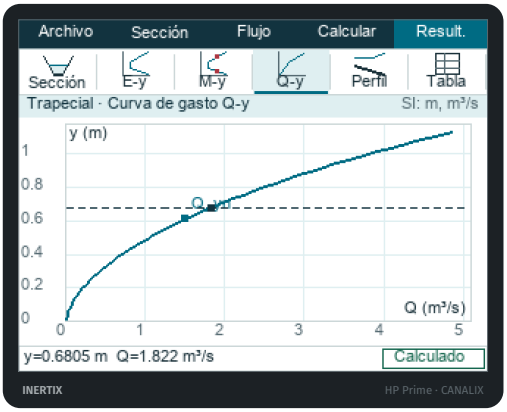
TECLAS

5 ▶×2 Enter

5 **Result.** M-y muestra la fuerza específica. Los puntos y_1 = 0.25 m y y_2 = 0.7829 m del resalto están a la misma altura de M: son los tirantes conjugados.

✔ **Debe verse:** Curva M–y con los conjugados y1 = 0.25 m y y2 = 0.7829 m marcados

11 Curva de gasto Q–y



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

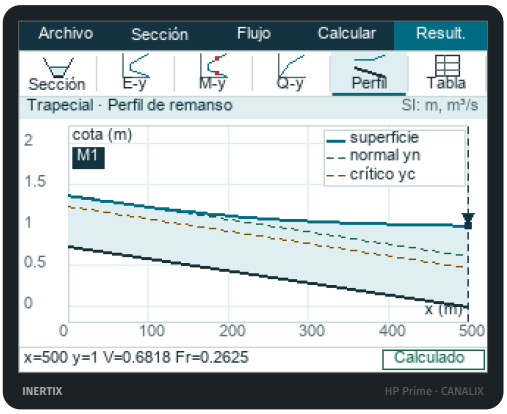
TECLAS

5 ▶ ×3 Enter

5 **Result.** Q-y da el caudal que conduce cada tirante en flujo uniforme. El cursor permite leer, por ejemplo, qué tirante tendría el canal con otro caudal.

✔ **Debe verse:** Curva Q(y) de Manning con el cursor; abajo, y y Q

12 Perfil de remanso



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

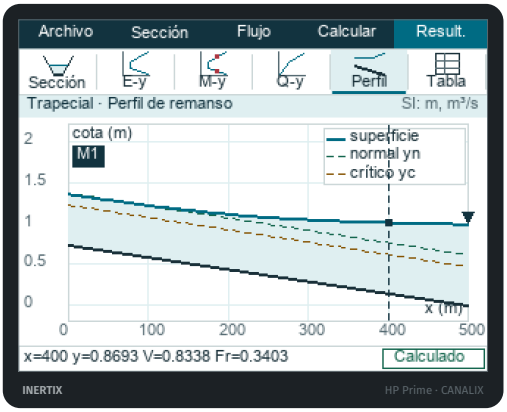
TECLAS

5 ▶ ×4 Enter

5 **Result.** Perfil dibuja el tramo de 500 m: fondo, superficie del agua, y_n y y_c. La superficie está por encima de y_n y y_c en pendiente suave: perfil **M1**, que nace en el control de 1.0 m y tiende al tirante normal hacia aguas arriba.

✔ **Debe verse:** Perfil M1 de 0 a 500 m: fondo, superficie, yn y yc; abajo, x = 500 e y = 1 en el control

13 Recorrer el perfil con el cursor



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

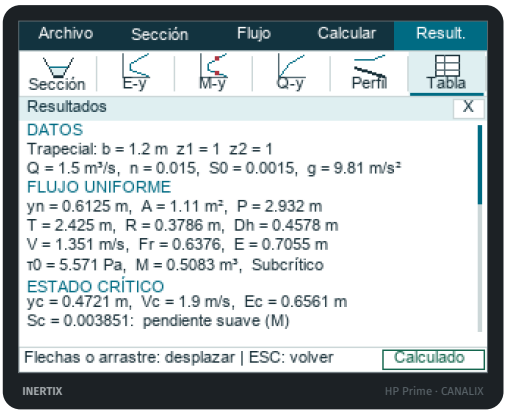
TECLAS

◀ ×10

◀ mueve el cursor estación a estación. En *x* = 400 m la línea de estado da *y* = 0.8693 m, la velocidad y el Froude. Recorrer la gráfica no recalcula ni cambia el caso.

✔ **Debe verse:** Cursor en x = 400 m; abajo, el tirante, la velocidad y el Froude de esa estación

14 Tabla de resultados



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

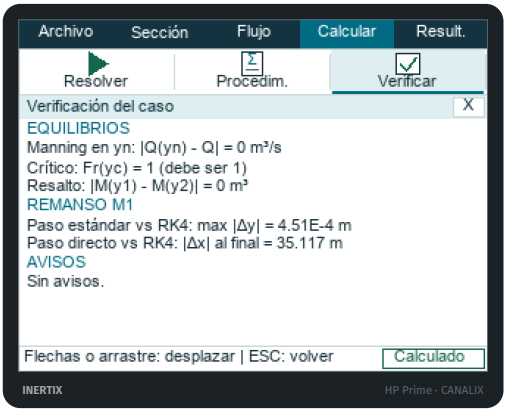
TECLAS

5 ▶ ×5 Enter

5 **Result.** Tabla abre el documento con todos los resultados: datos, flujo uniforme, estado crítico, resalto y la tabla de estaciones del remanso (*x*, *y*, cota, *V*, *Fr*). Las flechas lo desplazan.

✔ **Debe verse:** Documento «Resultados»: datos, flujo uniforme, estado crítico, resalto y estaciones del remanso

15 Verificación del caso



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

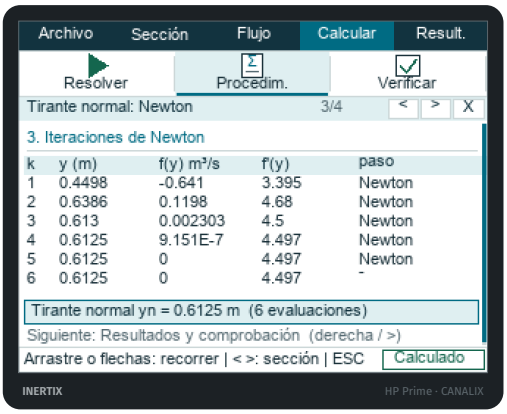
TECLAS

4 ▶ ×2 Enter

4 **Calcular** Verificar comprueba los equilibrios con los resultados: Manning reproduce Q en y_n, $Fr = 1$ en y_c y la fuerza específica es igual a ambos lados del resalto. También compara el paso estándar y el paso directo con la integración RK4 del remanso.

✔ **Debe verse:** Equilibrios: Manning en yn con diferencia 0 m³/s, Fr(yc) = 1 y M(y1) = M(y2); paso estándar y paso directo frente al RK4

16 Procedimiento: tirante normal por Newton



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

TECLAS

4 ▶ Enter ×2 ▶ ×2

4 **Calcular** Procedim. lista los ocho métodos; Enter abre el primero, `Tirante normal: Newton`. Con ▶ se llega a la sección 3: la tabla de iteraciones k, y, $f(y)$ y $f'(y)$ que converge a y_n = 0.6125 m en seis evaluaciones.

✔ **Debe verse:** Sección 3 «Iteraciones de Newton»: tabla k, y, f(y) y su derivada hasta yn = 0.6125 m

17 Procedimiento: resalto por fuerza específica



Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

TECLAS

Esc 4 ▶ Enter ▼×3 Enter ▶×2

Esc cierra el visor. En la lista de métodos, tres veces ▼ llevan a `Resalto: fuerza específica`. La sección 3 compara antes y después del resalto: tirantes, velocidades, Froude, energía y fuerza específica, con la pérdida ΔE = 0.2922 m y la eficiencia E_2/E_1 = 0.7397.

✔ **Debe verse:** Sección 3 «Resultados del resalto»: y1/y2, V, Fr, E y M antes y después; pérdida ΔE y eficiencia

5.4 Resultados

CANALIX coincide con la referencia

Tirantes normal y crítico, propiedades del flujo uniforme, conjugado del resalto y tipo de perfil coinciden con la referencia. El flujo es subcrítico (Fr = 0.64) en pendiente suave, por lo que la estructura de aguas abajo produce un remanso M1.

Magnitud	Referencia	CANALIX	Estado
Tirante normal y_n	0.612485 m	0.612485 m	Coincide
Área mojada A	1.1101 m^2	1.1101 m^2	Coincide
Velocidad V	1.3512 m/s	1.3512 m/s	Coincide
Número de Froude Fr	0.6376	0.6376	Subcrítico
Energía específica E	0.7055 m	0.7055 m	Coincide
Tirante crítico y_c	0.472065 m	0.472065 m	Coincide
Pendiente crítica S_c	0.003851	0.003851	$S_0 < S_c$: pendiente suave (M)
Conjugado del resalto y_2 (y_1 = 0.25 m)	0.782871 m	0.782871 m	Coincide
Perfil de remanso	M1	M1	Coincide

Tolerancia 10^{-6} m en tirantes. El eje x del perfil se mide desde aguas arriba.

Otros resultados de CANALIX	Valor	Comentario
Perímetro P · radio hidráulico R	2.9324 m · 0.3786 m	$R = A/P$
Ancho superficial T	2.4250 m	
Velocidad crítica V_c · energía crítica E_c	1.9004 m/s · 0.6561 m	Mínima energía para Q
Resalto: Fr_1 / Fr_2	2.861 / 0.4118	Resalto oscilante
Pérdida ΔE · eficiencia E_2/E_1	0.2922 m · 0.7397	
Longitud del resalto	≈ 3.68 m	6.9 $(y_2 - y_1)$, aproximación empírica
Remanso: tirante en $x = 0$ · $x = 400$ m	0.6170 m · 0.8693 m	Tiende a y_n hacia aguas arriba

La referencia es la del caso de validación: motor original, motor actual y solución numérica externa coinciden (en el perfil, dentro de 2×10^{-4} m).

Comprobación a mano

$$A = (b + z\,y_n)\,y_n = (1.2 + 0.6125)(0.6125) = 1.1101 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2\,y_n\sqrt{1+z^2} = 1.2 + 2(0.6125)(1.4142) = 2.9324 \text{ m}, \qquad R = A/P = 0.3786 \text{ m}$$

$$Q = \frac{1}{n} A\,R^{2/3}\sqrt{S_0} = \frac{1}{0.015}(1.1101)(0.3786)^{2/3}\sqrt{0.0015} = 1.500 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g\,A/T}} = \frac{1.3512}{\sqrt{9.81 \times 1.1101/2.4250}} = 0.6376 < 1 \quad \text{(subcrítico)}$$

5.5 Opciones importantes

Cinco casos cortos para lo que el ejemplo guiado no toca. Cada paso se ejecutó con el programa (capturas adaptadas) y se comprobó su resultado; los mismos casos están en la guía TI-Nspire.

OI-1 · Dimensionar el ancho de fondo para un tirante dado

Objetivo. Usar otra incógnita: en vez de y_n, el ancho b que conduce Q con un tirante elegido. `Ancho b` solo existe en secciones rectangular y trapecial; `Caudal Q` y `Pendiente S0` se usan igual con las demás. **Datos.** Ejemplo 1; tirante deseado y = 0.75 m.

1. **Partir del ejemplo guiado.** Cargue el ejemplo 1 desde la lista.

   `1` `▶` ×2 `Enter` ×2

2. **Elegir la incógnita «Ancho b».** `▲` sube a `Incógnita`; `▶` la cambia hasta `Ancho b`: aparece `Tirante y`.

   `3` `Enter` `▲` `▶` ×3

3. **Tirante deseado 0.75 m.** Baje a `Tirante y` y teclee 0.75; el foco queda en `Aceptar`.

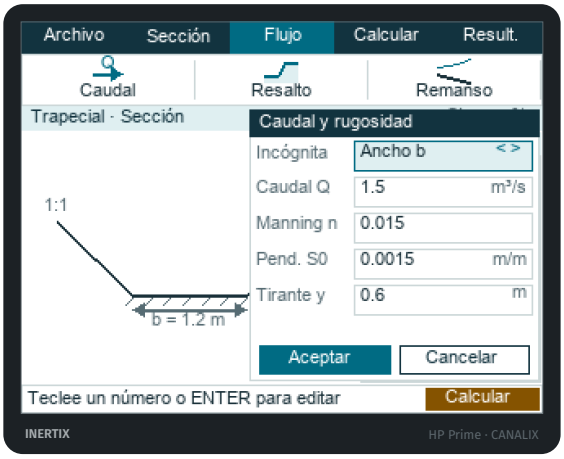
   `▼` ×4 `0` `.` `7` `5` `Enter`

4. **Aceptar y resolver.** Acepte y resuelva.

   `Enter` `4` `Enter`

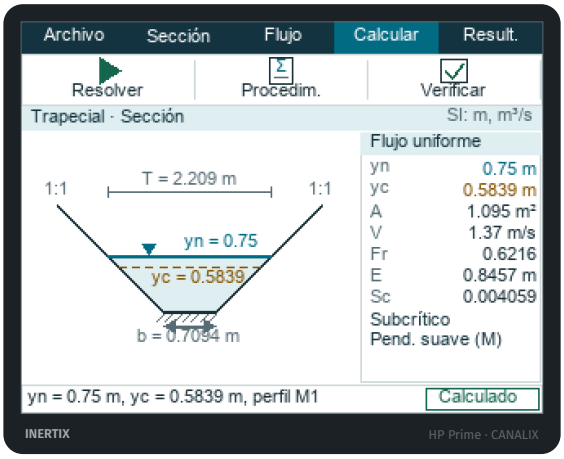
5. **Leer b en la tabla.** La tabla muestra el ancho hallado en `DATOS`.

   `5` `▶` ×5 `Enter`



Incógnita `Ancho b`.

Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora



b = 0.7094 m para y = 0.75 m.

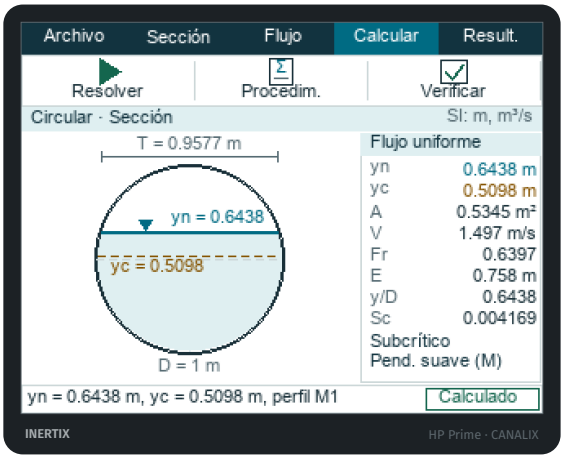
Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

Lectura. Con b = 0.7094 m el canal lleva 1.5 m^3/s con 0.75 m de tirante, V = 1.370 m/s y Fr = 0.622. El ancho calculado **reemplaza** al del caso.

OI-2 · Conducto circular parcialmente lleno

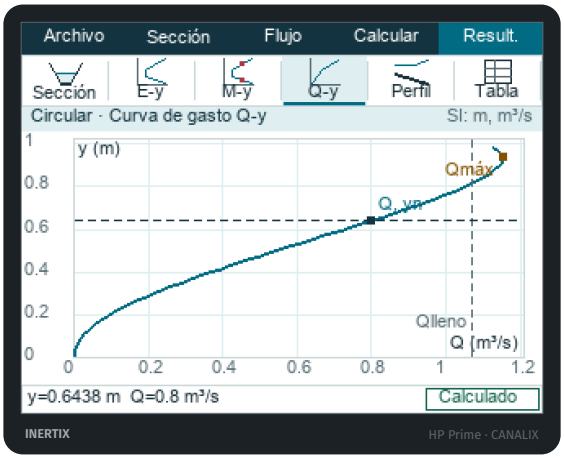
Datos. Ejemplo 2: D = 1 m, Q = 0.8 m^3/s, n = 0.013, S_0 = 0.002; control y = 0.85 m aguas abajo.

1. **Cargar el ejemplo 2.** `1` **Archivo** Ejemplos y el segundo de la lista.
   `1` `▶`×2 **Enter** `▼` **Enter**
2. **Resolver.** `4` **Calcular** Resolver.
   `4` **Enter**
3. **Curva de gasto con Qlleno y Qmáx.** `5` **Result.** Q-y.
   `5` `▶`×3 **Enter**
4. **Perfil de remanso.** `5` **Result.** Perfil.
   `5` `▶`×4 **Enter**



Conducto calculado: y_n, y_c y panel.

Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora



Curva Q–y con Q_{lleno} y $Q_{máx}$.

Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

Magnitud	CANALIX	Comentario
Tirante normal y_n	0.6438 m	y/D = 0.644
Tirante crítico y_c	0.5098 m	Subcrítico
Caudal a sección llena Q_{lleno}	1.0722 m^3/s	
Caudal máximo $Q_{máx}$	1.1534 m^3/s	En y/D = 0.938
Perfil de remanso	M1	Control y = 0.85 m aguas abajo

Lectura. $Q_{máx} > Q_{lleno}$: cerca de la clave el perímetro crece más que el área. Un caudal mayor que $Q_{máx}$ no se puede llevar a superficie libre: el programa lo rechaza.

OI-3 · Sección de máxima eficiencia: cancelar y aplicar

Datos. Ejemplo 1 calculado; forma `Trapecio z` con el talud de la sección (z = 1).

1. **Ejemplo 1 calculado.** Cargue y resuelva el ejemplo 1: P = 2.932 m.
   `1` `▶`×2 **Enter**×2 `4` **Enter**
2. **Abrir la sección óptima.** `2` **Sección** Óptima propone `Trapecio z` con z = 1.
   `2` `▶`×5 **Enter**

3. **Calcular la óptima.** `Aceptar` calcula y pregunta si se aplica.

   [▼]×2 [Enter]

4. **Cancelar: la sección no cambia.** [Esc] o `Cancelar`: la sección **no** cambia (ni tipo ni taludes) y los resultados siguen al día.

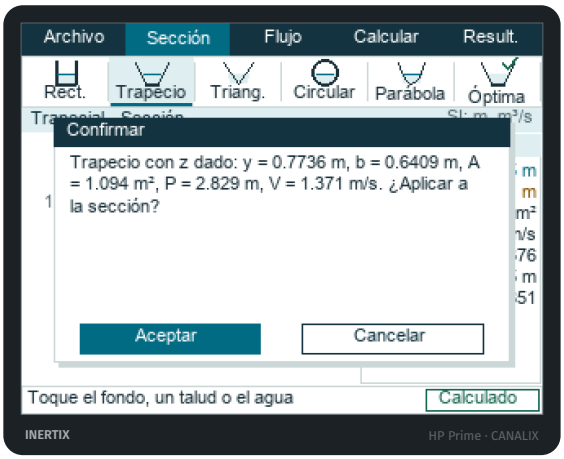
   [Esc]

5. **Aplicar la óptima.** Repita y elija `Aceptar`: b = 0.6409 m; resultados pendientes.

   [2] [▶]×5 [Enter] [▼]×2 [Enter]×2

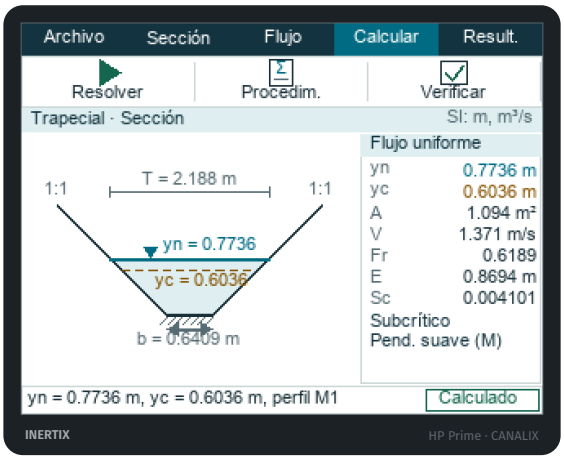
6. **Resolver la sección óptima.** Resuelva: y_n = 0.7736 m.

   [4] [Enter]



Resultado y pregunta «¿Aplicar a la sección?».

Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora



Sección óptima resuelta.

Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

Magnitud	CANALIX	Comentario
Tirante y · ancho b	0.7736 m · 0.6409 m	$R = y/2$
Área A · perímetro P	1.0943 m^2 · 2.829 m	Canal actual: P = 2.932 m
Velocidad V	1.3707 m/s	
Ahorro de perímetro (revestimiento)	3.5 %	Frente a la sección del ejemplo

Desde el 28-10-2026 cancelar la óptima ya no cambia la sección (antes dejaba z y el tipo cambiados).

OI-4 · Rápida: control crítico aguas arriba (S2) y paso estándar

Datos. Ejemplo 6: rectangular b = 3 m, Q = 9 m^3/s, n = 0.014, S_0 = 0.02; tramo de 100 m con control crítico aguas arriba y 10 tramos.

1. **Cargar el ejemplo 6.** Cargue el ejemplo 6.

   `1` `▶`×2 `Enter` `▼`×5 `Enter`

2. **Resolver.** Resuelva: y_n = 0.5465 m < y_c = 0.9717 m, supercrítico.

   `4` `Enter`

3. **Perfil S2.** `5` **Result.** Perfil: perfil S2.

   `5` `▶`×4 `Enter`

4. **Procedimiento del paso estándar.** `4` **Calcular** Procedim. y `Remanso: paso estándar`.

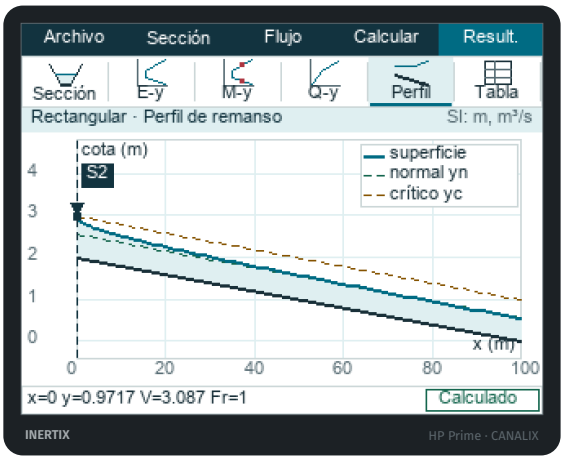
   `4` `▶` `Enter` `▼`×6 `Enter`

5. **Tabla del paso estándar.** `▶` hasta la tabla del método.

   `▶`×2

6. **Comparación con el motor.** La última sección lo compara con la integración RK4.

   `▶`



Perfil S2 desde y_c hacia y_n.

Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora



Tabla del paso estándar.

Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

Lectura. S_0 = 0.02 > S_c = 0.0038: pendiente fuerte. El agua entra a la rápida en y_c y baja hasta y_n. Un control aguas abajo sería incompatible con el flujo supercrítico.

OI-5 · Dato no válido y resultados pendientes

1. **Ejemplo 1 calculado.** Cargue y resuelva el ejemplo 1.

   `1` `▶`×2 `Enter`×2 `4` `Enter`

2. **Manning fuera de rango.** En `3` **Flujo** Caudal, n = 0.5 y `Aceptar`: aviso con el rango admitido.

   `3` `Enter` `▼` `0` `.` `5` `Enter` `▼` `Enter`

3. **Cerrar el aviso y cancelar.** Cierre el aviso y cancele: el caso no cambió y sigue calculado.

   `Enter` `Esc`

4. **Cambiar el caudal a 2 m³/s.** Cambie Q a 2 m^3/s: resultados pendientes.

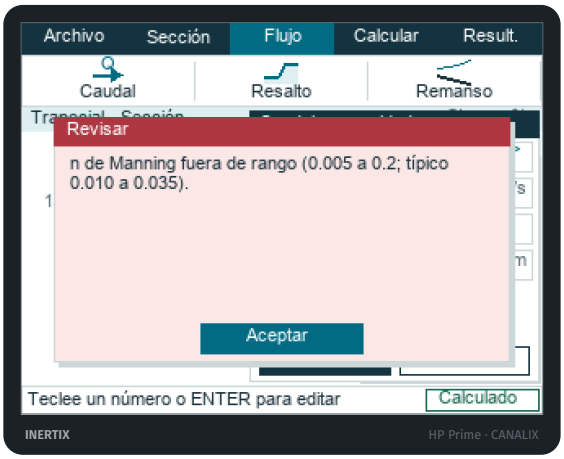
   `3` `Enter` `2` `Enter` `▼`×2 `Enter`

5. **Pedir una gráfica con resultados pendientes.** Pida la curva E–y: ofrece calcular.

   5 ▶ Enter

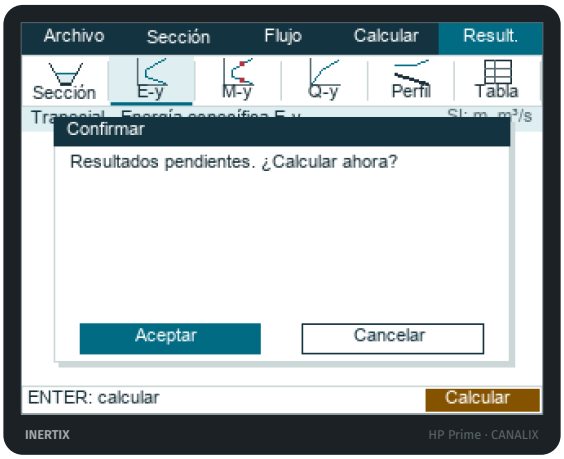
6. **Calcular.** Resuelva: y_n = 0.7153 m.

   4 Enter



Aviso de dato fuera de rango.

Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora



Vista de resultados pendiente.

Captura ADAPTADA: PPL del programa ejecutado y dibujado en PC, no de la calculadora

6 Referencia de menús y opciones

6.1 1 · Archivo

Orden	Qué hace
Nuevo	Pide confirmación y carga el caso nuevo: trapecial b = 1 m, z = 1, Q = 1 m^3/s, n = 0.015, S_0 = 0.001, sin resalto y remanso de 300 m con caída libre.
Plantillas	Casos típicos para adaptar: canal trapecial revestido, canal rectangular de concreto, cuneta triangular, alcantarilla circular y canal parabólico en tierra.
Ejemplos	Ocho casos resueltos: trapecial con resalto y remanso M1, circular parcialmente lleno, presa en canal rectangular ancho (M1), caída libre (M2), compuerta con resalto (M3), rápida desde control crítico (S2), canal horizontal (H2) y canal parabólico (M2).
Ayuda	Documento desplazable con menús, croquis, gráficas, remanso y convenciones.
Salir	Pide confirmación. El caso queda en memoria para la próxima sesión.

6.2 2 · Sección

Orden	Qué hace
Rect.	Ancho de fondo b.
Trapecio	Fondo b y taludes z_1, z_2 (H:V), que pueden ser distintos.
Triang.	Taludes z_1 y z_2.
Circular	Diámetro D.
Parábola	Parámetro a de $x^2 = 4ay$.
Óptima	Sección de máxima eficiencia para el Q, n y S_0 del caso: rectangular, trapecio con z dado, medio hexágono, triangular o semicircular. Muestra y, b o D, A, P y V y pregunta si se aplica.

El tipo activo aparece resaltado en la cinta; el campo `Tipo` del formulario también permite cambiarlo. En el croquis, tocar el fondo o un talud abre el formulario con el foco en ese dato.

6.3 3 · Flujo

Orden	Qué hace
Caudal	Incógnita (`Tirante yn`, `Caudal Q`, `Pendiente S0` o, en rectangular y trapecial, `Ancho b`), caudal, n y S_0. Si la incógnita no es y_n, pide el tirante conocido.
Resalto	Tirante conocido a un lado del resalto (0 = sin resalto). Puede ser el supercrítico o el subcrítico: el programa busca el conjugado en la otra rama.
Remanso	Longitud L, control (`Tirante dado` o `Crítico (caída)`), tirante de control, extremo (`Aguas abajo` para flujo subcrítico, `Aguas arriba` para supercrítico) y número de tramos del paso directo y estándar.

6.4 4 · Calcular

Orden	Qué hace
Resolver	Calcula flujo uniforme, estado crítico, resalto y remanso.
Procedim.	Lista de ocho métodos con su desarrollo por secciones: Newton, bisección, tirante crítico y energía, resalto, remanso por RK4, paso directo, paso estándar y sección óptima. Los que no aplican al caso aparecen con su motivo (por ejemplo, `requiere S0 > 0`).
Verificar	Equilibrios del caso (Manning en y_n, $Fr(y_c) = 1$, fuerza específica del resalto), comparación de los métodos de remanso y avisos.



Lista de procedimientos.

6.5 5 · Result.

Orden	Qué hace
Sección	Croquis con el agua, y_n, y_c, ancho superficial y panel de resultados.
E-y	Energía específica con cursor y tirante alterno.
M-y	Fuerza específica con cursor, conjugado y tirantes del resalto.
Q-y	Curva de gasto de Manning; en el circular, Q_{lleno} y $Q_{\text{máx}}$. No existe si $S_0 \le 0$.
Perfil	Perfil de remanso con su clase; el cursor recorre las estaciones (x, y, V, Fr).
Tabla	Documento con todos los resultados y las estaciones del remanso.

7 Fundamento teórico breve

7.1 Geometría y flujo uniforme

$$R = A/P, \qquad D_h = A/T, \qquad V = Q/A$$
$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} \sqrt{S_0} \qquad \text{(Manning)}$$
$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g D_h}}, \qquad E = y + \frac{V^2}{2g}, \qquad \tau_0 = \gamma R S_0$$

Donde: A área mojada, P perímetro mojado, T ancho superficial, R radio hidráulico, D_h profundidad hidráulica, n rugosidad de Manning, S_0 pendiente de fondo, Fr número de Froude, E energía específica, τ_0 tensión de corte media.

Sección	Área, ancho superficial y perímetro
Rectangular	$A = b\,y,\ T = b,\ P = b + 2y$
Trapecial	$A = b\,y + (z_1 + z_2)\,y^2/2,\ T = b + (z_1 + z_2)\,y,\ P = b + y\,(\sqrt{1 + z_1^2} + \sqrt{1 + z_2^2})$
Triangular	Igual que la trapecial con $b = 0$
Circular	$\theta = 2 \arccos(1 - 2y/D),\ A = D^2(\theta - \operatorname{sen}\theta)/8,\ T = D \operatorname{sen}(\theta/2),\ P = D\,\theta/2$
Parabólica	$T = 4\sqrt{a\,y},\ A = 2\,T\,y/3$

El tirante normal es la raíz de $f(y) = \frac{\sqrt{S_0}}{n} A R^{2/3} - Q$; el programa la busca por Newton dentro de un intervalo que la contiene y usa bisección si un paso se sale de él.

7.2 Estado crítico

$$\frac{Q^2 T_c}{g A_c^3} = 1 \quad (Fr = 1), \qquad E_c = y_c + \frac{V_c^2}{2g}, \qquad S_c = \left(\frac{Q\,n}{A_c\,R_c^{2/3}} \right)^2$$

Donde: Si $S_0 < S_c$ la pendiente es suave (M); si $S_0 > S_c$, fuerte (S); $S_0 = S_c$ crítica (C); $S_0 = 0$ horizontal (H); $S_0 < 0$ adversa (A).

7.3 Resalto hidráulico

$$M(y) = \frac{Q^2}{g A} + A\,\bar{y}_G, \qquad M(y_1) = M(y_2)$$
$$\Delta E = E_1 - E_2, \qquad L \approx 6.9\,(y_2 - y_1)$$
$$y_2 = \frac{y_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8\,Fr_1^2} - 1 \right) \qquad \text{(rectangular, Bélanger)}$$

Donde: M fuerza específica, $\bar{y}_G$ profundidad del centroide del área mojada bajo la superficie; y_1, y_2 tirantes conjugados.

7.4 Remanso (flujo gradualmente variado)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - Fr^2}, \qquad S_f = \left(\frac{Q\,n}{A\,R^{2/3}}\right)^2$$

$$\Delta x = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - \bar{S}_f}, \qquad \bar{S}_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2} \qquad \text{(paso directo)}$$

$$E_2 + S_{f2}\frac{\Delta x}{2} = E_1 + S_0\,\Delta x - S_{f1}\frac{\Delta x}{2} \qquad \text{(paso estándar)}$$

Donde: El motor integra dx/dy por Runge-Kutta de cuarto orden con 160 pasos de tirante. El paso directo fija incrementos iguales de tirante; el paso estándar fija estaciones y busca el tirante en cada una. Un control aguas abajo gobierna el flujo subcrítico y uno aguas arriba el supercrítico.

7.5 Sección de máxima eficiencia

Para un área dada, la sección óptima tiene perímetro mínimo; en todas las formas trapeciales y en la semicircular resulta $R = y/2$. Rectangular: $b = 2y$; trapecio con talud z: $b = 2y\,(\sqrt{1+z^2} - z)$; medio hexágono: $z = 1/\sqrt{3}$; triangular: $z = 1$; semicírculo: $D = 2y$.

8 Errores y avisos

Mensaje	Qué hacer
n de Manning fuera de rango (0.005 a 0.2...)	Corrija n; el formulario sigue abierto y el caso no cambia.
Pendiente S0 fuera de rango ($\lvert S_0\rvert \le 0.5$ m/m)	Corrija S_0.
Para despejar Q o b se necesita S0 > 0	Q y b salen de Manning, que exige flujo uniforme.
El ancho b solo se despeja en secciones rectangular y trapecial	Cambie la incógnita o el tipo.
Q supera la capacidad máxima del conducto	$Q > Q_{máx}$: aumente D o S_0.
Cálculo interrumpido: vuelva a Calcular	Aparece tras cortar un cálculo con la tecla On (ver abajo).

Corte con la tecla On

Si un cálculo largo (por ejemplo, el remanso con 40 tramos y los procedimientos) se interrumpe con On, el programa se cierra sin perder datos. Al volver a entrar abre con el **caso intacto**, los resultados **pendientes** y el aviso `Cálculo interrumpido: vuelva a Calcular` en la línea de estado. Pulse 4 Calcular Resolver. Este corte es propio de la HP Prime; la versión TI-Nspire no lo tiene.

El aviso se documenta desde el código vigente (`ca_app.ppl`, 28-10-2026) y la entrega del programa (§11: arneses de corte del 28-10-2026, 768 cortes sin caso alterado). No se reprodujo con el adaptador de capturas; calculadora física NO EJECUTADO.

9 Preguntas frecuentes

¿Por qué aparece «Resultados pendientes» si ya calculé?

Cualquier cambio en los datos deja los resultados pendientes para no mostrar valores de otro caso. Pulse 4 **Calcular** Resolver o Enter en el croquis.

¿Por qué no hay curva Q–y ni tirante normal?

Con $S_0 \leq 0$ (canal horizontal o adverso) no existe flujo uniforme. Sí se calculan el estado crítico y el remanso.

El remanso da un error sobre el control. ¿Qué reviso?

Un control aguas abajo exige flujo subcrítico ($y \geq y_c$) y uno aguas arriba, supercrítico ($y \leq y_c$). En pendiente fuerte, una caída aguas abajo no controla: use control crítico aguas arriba.

¿Por qué el paso directo da otra longitud que el perfil?

El paso directo usa la pendiente de fricción media de cada tramo y pierde precisión cerca de y_n. Con más tramos (N hasta 40) la diferencia baja; el perfil dibujado es el de la integración RK4.

En el conducto circular sale «Q supera la capacidad máxima».

El caudal es mayor que $Q_{máx}$, que ocurre con $y/D = 0.938$: el conducto no puede llevarlo a superficie libre con esa pendiente.

¿Cómo corrijo un número mal tecleado?

Mueva el cursor con ◄ ► y borre con Del; puede dejar el campo vacío y escribir de nuevo. Si acepta un campo vacío, se conserva el valor anterior.

¿Puedo trabajar en unidades inglesas?

No. CANALIX usa solo el sistema internacional (m, m^3/s, $g = 9.81\ m/s^2$).