**INERTIX**

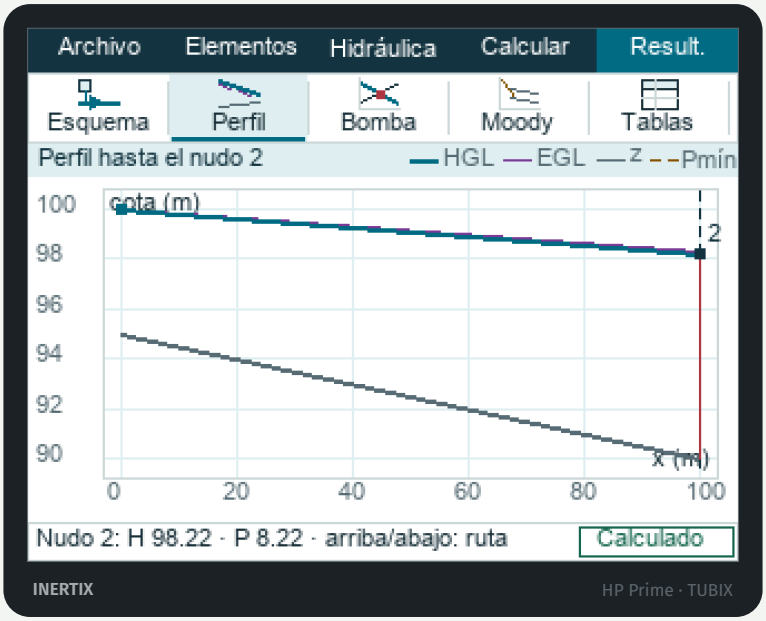
Programas de ingeniería civil para HP Prime

GUÍA DE USO

# TUBIX

## Tuberías a presión con embalses, bombas y válvulas

**Versión 2026.10** **HP Prime G1 · G2** Hidráulica · Octubre de 2026





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 . . . 4

**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** **5**

4.1. Teclas . . . 6

4.2. Formularios y resultados pendientes . . . 7

4.3. Errores y avisos . . . 7

**5. Ejemplo guiado** **8**

5.1. Enunciado . . . 8

5.2. Datos . . . 8

5.3. Paso a paso . . . 9

5.4. Resultados . . . 14

**6. Opciones importantes** **15**

**7. Referencia de menús y opciones** **18**

7.1. 1 · Archivo . . . 18

7.2. 2 · Elementos . . . 19

7.3. 3 · Hidráulica . . . 20

7.4. 4 · Calcular . . . 20

7.5. 5 · Result. . . . 21

**8. Fundamento teórico breve** **21**

8.1. Ecuaciones del sistema . . . 21

8.2. Pérdidas de carga . . . 21

8.3. Bombas y válvulas . . . 21

8.4. Problemas clásicos . . . 22

9. Preguntas frecuentes 22

# 1 Presentación y alcance

TUBIX resuelve **conducciones de agua a presión** en la calculadora HP Prime: tuberías simples, en serie, en paralelo, tres depósitos, bombeos y sistemas con válvulas. El sistema se arma con **elementos** sobre un dibujo en elevación (embalses, conexiones, tuberías, bombas y válvulas); un **Newton global** calcula todos los caudales y cotas a la vez, y el programa muestra el esquema de resultados, el perfil de energía, la curva bomba–sistema, el diagrama de Moody y el procedimiento de 13 métodos clásicos. Está pensado para estudiantes de hidráulica y para proyectistas de conducciones.

## 1.1 Qué calcula

- **Caudal, velocidad, Re, $f$, pérdida por fricción $h_f$, pérdida local $h_m$** y diferencia de carga de cada elemento.
- **Cota piezométrica y presión de cada nudo**, con avisos de velocidad o presión fuera de criterios, subpresión, régimen de transición, bomba detenida o fuera de curva.
- **Pérdidas**: Darcy-Weisbach con Colebrook-White, Swamee-Jain o $f$ dada (laminar 64/Re), o Hazen-Williams; pérdidas locales con $K$ por tubería.
- **Bombas** con curva de 1 punto o de 3 puntos, retención, potencia hidráulica y al eje, y la **curva del sistema** con el punto de operación.
- **Válvulas** TCV, PRV, PSV, PBV y FCV, con su estado (activa, abierta o cerrada).
- **Diseño**: el diámetro de una tubería o el nivel de un embalse que cumplen un caudal o una presión.
- **Agua según la temperatura** (0 a 100 °C) o viscosidad y densidad manuales.
- Trece **procedimientos paso a paso**: Newton global, pérdidas tubería a tubería, Colebrook (punto fijo y Newton), problemas tipo II y III, Hazen-Williams frente a Darcy, serie, paralelo, tres depósitos, bomba y sistema, perfil de energía, válvulas y diseño.

## 1.2 Unidades y convenciones

| Magnitud | Unidad y convenio |
|---|---|
| Abscisas, cotas, longitudes | m; el dibujo es una elevación: abscisa $x$ y cota $z$ |
| Diámetro, rugosidad | mm |
| Demanda $q$, caudal $Q$ | L/s; la demanda es ≥ 0 (un aporte se modela con un embalse) |
| Signo de $Q$ | Positivo del nudo inicial al final del elemento |
| Cota piezométrica $H$ | m; en un embalse es el nivel del agua |
| Presión | mca: $P = H - z$ |
| Pérdidas de entrada y salida | Se incluyen en $K$ de la tubería (convenio de EPANET) |
| Potencia | kW |

### 1.3 Límites y fuera de alcance

**Fuera de alcance**

- Hasta **16 nudos y 20 elementos**; unidades SI fijas.
- Flujo **permanente e incompresible**: no hay golpe de ariete ni simulación en período extendido.
- Las **redes malladas extensas** y Hardy Cross corresponden a REDHIX.
- No hay válvula de propósito general (GPV) ni curvas de eficiencia de bomba: la eficiencia es un valor fijo.
- La curva de 3 puntos es una parábola (EPANET usa $H = A - B\,Q^C$); la transición entre Re 2000 y 4000 se interpola linealmente.
- Si una válvula no puede regular porque el sistema no tiene solución con ella activa, queda abierta y se informa.

## 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: `TUBIX.hpappdir`;
  - el archivo de licencia: `LIC_TUBIX.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 `TUBIX.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*. TUBIX aparece allí con su icono.
5. Toque el icono de TUBIX 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

TUBIX 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 TUBIX 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: `TUBIX.hpappdir`;
   - el archivo de licencia: `LIC_TUBIX.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 TUBIX 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

Al abrirlo por primera vez, TUBIX muestra el ejemplo `Tubería simple, Q 10 L/s` sin calcular, con la categoría `Elementos` activa. Después conserva el último sistema en memoria.




1. **Barra de menú.** Cinco categorías; se abren con 1 a 5 o tocándolas.
2. **Cinta.** Órdenes o herramientas de la categoría activa.
3. **Rótulo.** Nombre del sistema o de la vista, y su tamaño.
4. **Lienzo.** El sistema en elevación con escalas en m: embalses con agua, conexiones con su demanda, tuberías, bombas y válvulas.
5. **Línea de estado.** Datos del elemento elegido, valores del cursor y mensajes.
6. **Botón de cálculo.** `Calcular` (ámbar) si hay cambios; `Calculado` si todo está al día.

## 4.1 Teclas

| Tecla | Dónde | Acción |
|---|---|---|
| 1 … 5 | Siempre | Abre la categoría y resalta su primera orden. |
| ◀ ▶ | Cinta | Elige la orden; Enter la activa. |
| ◀ ▶ | Lienzo | Recorren los nudos (1, 2, 3, …). |
| ▲ ▼ | Lienzo | Recorren los elementos (tuberías, bombas y válvulas). |
| Enter | Lienzo | Edita el elemento elegido; sin elemento elegido, calcula si hay cambios. |
| Del | Lienzo | Borra el nudo (con sus elementos) o el elemento elegido; pide confirmación. |
| + − 0 | Lienzo | Acercar, alejar y encuadrar el dibujo. |
| ▲ ▼ | Esquema | Cambian la serie: *Q*, *V* o *h*. |
| ◀ ▶ | Perfil, Bomba, Moody | Mueven el cursor por nudos, caudales o tuberías. |
| ▲ ▼ | Perfil | Cambian el nudo de destino del perfil. |
| ◀ ▶ | Procedimiento | Sección anterior o siguiente. |
| Esc | Siempre | Cierra la ventana o la vista, quita la herramienta o la selección; al final pide confirmar la salida. |

**Pantalla táctil**

Los nudos, embalses, tuberías, bombas y válvulas se **crean tocando el lienzo** con las herramientas de la categoría `Elementos` (2); no hay cursor de teclado para situarlos. Tocar un elemento lo elige y un segundo toque abre sus propiedades; arrastrar desplaza la vista; tocar `Calcular` resuelve.

## 4.2 Formularios y resultados pendientes




Formulario de la conexión con un campo en edición.




Formulario de la tubería: rugosidad y material.

- ▲ ▼ cambian de campo. Al teclear un número se **reemplaza** el valor; Enter lo acepta y pasa al campo siguiente. Al entrar con Enter el texto queda seleccionado: Del lo vacía.
- Durante la edición, ◄ ► mueven el cursor y Del borra el carácter de la izquierda. Un campo vacío conserva el valor anterior.
- En los campos con < > (Tipo, Material, Curva, Fórmula, Fricción, Viscosidad), ◄ ► cambian la opción. Cambiar el `Tipo` rehace los campos: un embalse pide el nivel *H*; con Hazen-Williams la tubería pide *C* en lugar de la rugosidad.
- Bajo los campos están `Aceptar` y `Cancelar`; Esc cierra sin guardar.
- Todo cambio de datos deja los resultados **pendientes**: el botón se pone ámbar y las vistas de resultados ofrecen calcular. Los cursores de las gráficas nunca recalculan.

## 4.3 Errores y avisos

Un dato fuera de rango no cierra el formulario ni cambia el sistema: el aviso dice qué corregir. Los más habituales:

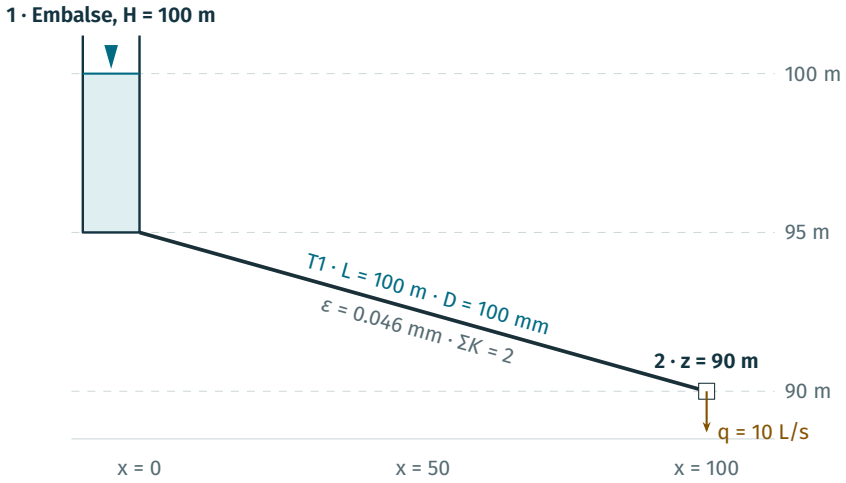
| Mensaje | Causa y solución |
|---|---|
| `La demanda debe ser >= 0 L/s. Un aporte al sistema se modela con un embalse.` | Demanda negativa: use un embalse. |
| `Falta un embalse (nivel fijo) …` | El sistema no tiene nivel fijo: agregue un embalse. |
| `Sistema singular: revise conexiones …` | Un nudo no llega a ningún embalse o una válvula cerrada lo aísla. |
| `El cálculo no converge en 80 iteraciones …` | Curva de bomba o consignas de válvulas incompatibles. |
| `…: no aplica, …` | El método elegido no aplica al sistema; el texto dice qué falta. |
| `Máximo 16 nudos y embalses.` | Límite del programa (20 elementos). |

> **Corte con la tecla On**
> Si se interrumpe un cálculo, un diseño, la carga de un ejemplo o plantilla, un borrado o un formulario con la tecla On, al volver a entrar TUBIX abre con el **sistema intacto** (como estaba antes de la acción cortada), los resultados **pendientes** y el aviso `Cálculo interrumpido: vuelva a Calcular`. Basta con repetir la acción o 4 Calcular Resolver.

# 5 Ejemplo guiado

## 5.1 Enunciado

Un **embalse** con el nivel del agua en **H = 100 m** alimenta, por una **tubería de acero de 100 m y 100 mm**, una conexión situada a la **cota 90 m** que entrega **10 L/s**. Calcular la **velocidad**, el número de Reynolds, el **factor de fricción** (Colebrook-White), las pérdidas por fricción y locales, y la **cota piezométrica y la presión** en el punto de entrega. Comprobar $f$ con el procedimiento de Colebrook y el caudal con el problema tipo II.




## 5.2 Datos

| Elemento | Datos |
|---|---|
| Nudo 1 · embalse | Nivel $H$ = 100 m; cota de fondo 95 m; abscisa $x$ = 0 |
| Nudo 2 · conexión | Cota $z$ = 90 m; demanda $q$ = 10 L/s; abscisa $x$ = 100 m |
| Tubería 1 (nudos 1-2) | $L$ = 100 m; $D$ = 100 mm; $\varepsilon$ = 0.046 mm (acero); $\Sigma K$ = 2 |
| Fórmula de pérdidas | Darcy-Weisbach, $f$ por Colebrook-White |
| Fluido | Agua a 20 °C: $\nu$ = 1.004E-6 $m^2/s$; $g$ = 9.80665 $m/s^2$ |

Fuente: Caso de validación oficial de TUBIX para conducciones forzadas e impulsión en tuberías simples (`Archivo > Ejemplos`). La pérdida de carga continua, gradiente hidráulico y factor de fricción se comprueban analíticamente mediante la ecuación iterativa de Colebrook-White y Darcy-Weisbach.

## 5.3 Paso a paso

El sistema se construye desde cero a partir de la plantilla `En blanco`, que trae solo el embalse 1. La conexión y la tubería se crean **tocando el lienzo** (tres toques en total); todo lo demás se hace con teclas. La numeración la fija el orden de entrada: el embalse es el nudo 1, la conexión el nudo 2 y la tubería la 1. En cada paso, la fila *Teclas* es la secuencia exacta desde el final del paso anterior; ▶×3 significa pulsar la tecla tres veces.

### 1 Sistema nuevo en blanco



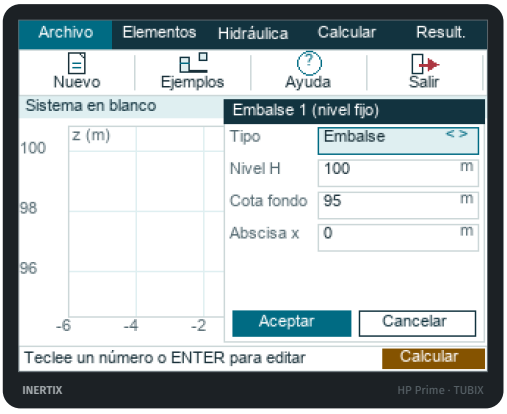

**TECLAS**

1 Enter ▼×6 Enter

1 **Archivo** Nuevo abre la lista de plantillas; la última, `En blanco: solo un embalse`, deja un sistema limpio con el embalse 1 y la fórmula, el fluido y los criterios por defecto.

✔ **Debe verse:** «Sistema en blanco»: solo el embalse 1 en el lienzo (1 nudo, 0 elementos)

### 2 Revisar el embalse 1




**TECLAS**

▶ Enter

▶ elige el nudo 1 y Enter abre su formulario. El nivel del agua ($H$ = 100 m) y la cota de fondo (95 m) ya son los del enunciado: no hay que cambiar nada.

✔ **Debe verse:** Formulario «Embalse 1 (nivel fijo)»: Nivel H = 100 m, Cota fondo = 95 m, Abscisa x = 0

## 3 Crear el nudo 2




TECLAS

Esc 2 ▶ Enter zona libre abajo a la derecha del lienzo

2 Elementos Nudo arma la herramienta y un toque en una zona libre del lienzo crea el nudo 2. Su posición exacta no importa: las coordenadas se fijan en el paso siguiente.

✔ **Debe verse:** Nudo 2 nuevo y el aviso «Únalo con Tubería» en la línea de estado

## 4 Datos del nudo 2




TECLAS

Enter ▼ 9 0 Enter 1 0 Enter 1 0 0

Enter abre el formulario de la conexión. Se escriben la cota *z* = 90 m, la demanda de 10 L/s y la abscisa *x* = 100 m; Enter acepta cada campo y pasa al siguiente.

✔ **Debe verse:** «Nudo 2 (conexión)»: Cota z = 90 m, Demanda = 10 L/s y Abscisa x = 100 m en edición

## 5 Aceptar y dibujar la tubería




TECLAS

Enter ×2 2 ▶ ×3 Enter embalse 1 nudo 2

Con `Aceptar` el nudo baja a su sitio.
2 Elementos Tubería pide el nudo inicial y el final: se toca el embalse y luego el nudo 2. La longitud se toma del dibujo (100.1 m, por el desnivel) y el diámetro, el valor por defecto de 100 mm.

✔ **Debe verse:** Tubería 1 del embalse al nudo 2: «L 100.1 m, D 100 mm; siga o ESC»

## 6 Datos de la tubería 1



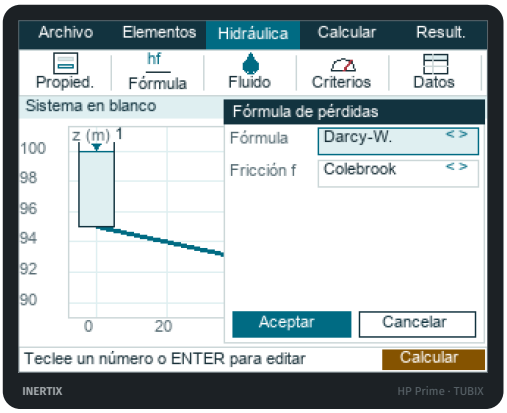

TECLAS

Esc Enter 1 0 0 Enter ▼×2 2 Enter

Esc termina la cadena de tuberías y Enter abre el formulario. Se corrige $L$ = 100 m y se escribe $K$ = 2 (entrada más salida). La rugosidad de 0.046 mm corresponde al acero.

✔ **Debe verse:** «Tubería 1 (nudos 1-2)»: L = 100 m, D = 100 mm, rugosidad 0.046 mm, K local = 2, Acero

## 7 Aceptar y revisar la fórmula



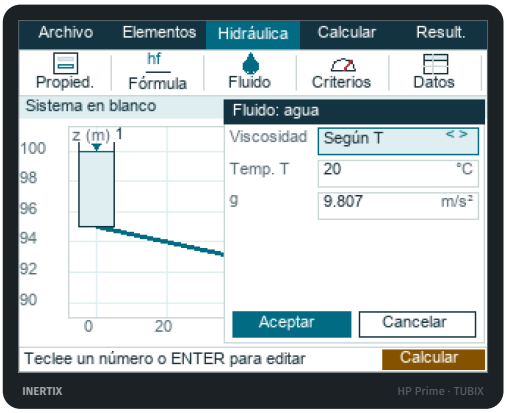

TECLAS

▼ Enter 3 ▶ Enter

Tras `Aceptar`, 3 **Hidráulica** Fórmula muestra Darcy-Weisbach con $f$ por Colebrook-White, que es lo que pide el enunciado.

✔ **Debe verse:** «Fórmula de pérdidas»: Darcy-W. con fricción por Colebrook

## 8 Revisar el fluido




TECLAS

Esc 3 ▶×2 Enter

3 **Hidráulica** Fluido toma la viscosidad del agua `Según T`: a 20 °C da $\nu$ = 1.004E-6 m²/s. Con `Manual` se escriben $\nu$ y $\rho$ directamente.

✔ **Debe verse:** «Fluido: agua»: viscosidad Según T, T = 20 °C, g = 9.807 m/s²

## 9 Resolver




TECLAS

Esc 4 Enter

4 **Calcular** Resolver valida los datos y resuelve el sistema con Newton global: converge en dos iteraciones y el botón pasa a `Calculado`.

✔ **Debe verse:** «Resuelto: 2 iteraciones de Newton» y chip «Calculado»

## 10 Esquema de resultados



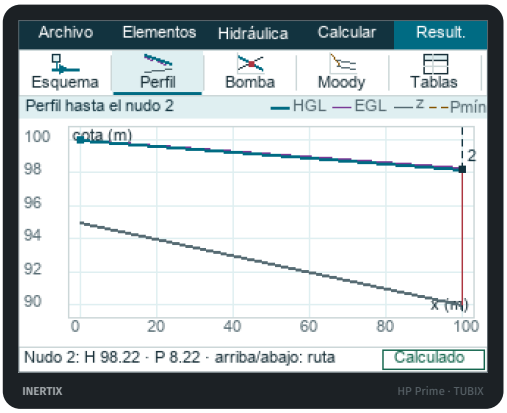

TECLAS

5 Enter

5 **Result.** Esquema rotula el caudal de cada tubería y la presión de cada nudo, con colores según los criterios de servicio. ▲ ▼ cambian a la velocidad o a la pérdida.

✔ **Debe verse:** Caudal Q = 10 L/s sobre la tubería 1 y presión 8.22 mca en el nudo 2

## 11 Perfil de energía



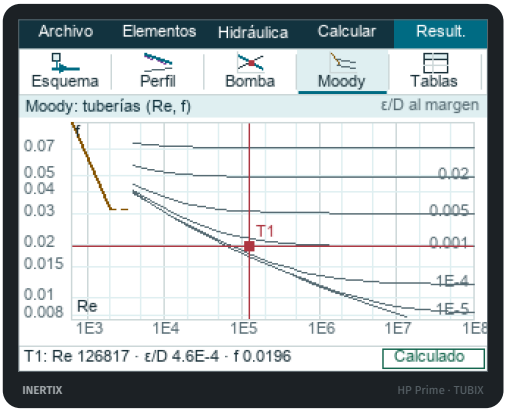

TECLAS

5 ▶ Enter

5 **Result.** Perfil dibuja la línea piezométrica (HGL), la de energía (EGL), el terreno y $z + P_{mín}$ hasta el nudo 2. La separación entre la HGL y la tubería es la presión: 8.22 mca en la entrega.

✔ **Debe verse:** Líneas HGL y EGL del embalse al nudo 2, terreno y z + Pmín; «Nudo 2: H 98.22 · P 8.22»

## 12 Diagrama de Moody



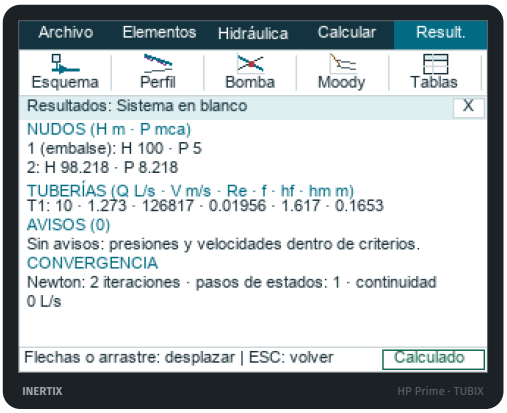

TECLAS

5 ▶ ×3 Enter

5 **Result.** Moody sitúa la tubería sobre las curvas de Colebrook: con Re = 126 817 y $\varepsilon/D$ = 4.6E-4 el flujo es turbulento, en la zona donde $f$ depende de Re y de la rugosidad: $f$ = 0.0196.

✔ **Debe verse:** La tubería 1 sobre las curvas de Colebrook: «Re 126817 · ε/D 4.6E-4 · f 0.0196»

## 13 Tablas de resultados




TECLAS

5 ▶ ×4 Enter

5 **Result.** Tablas reúne todos los valores: $H$ y $P$ de cada nudo; $Q$, $V$, Re, $f$, $h_f$ y $h_m$ de cada tubería; avisos y convergencia. Son los resultados que se comparan con la referencia.

✔ **Debe verse:** Nudo 2: H 98.218 · P 8.218; tubería 1: Q 10 · V 1.273 · Re 126817 · f 0.01956 · hf 1.617 · hm 0.1653

## 14 Lista de métodos



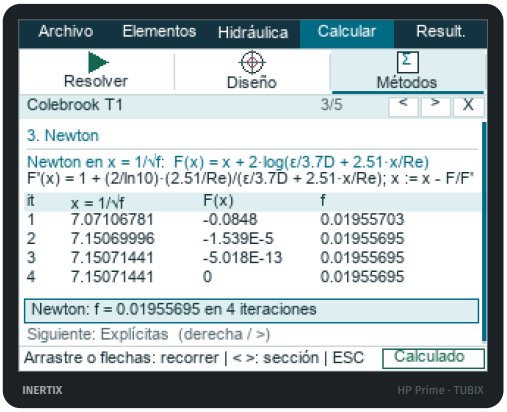

TECLAS

Esc 4 ▶ ×2 Enter

4 **Calcular** Métodos lista los 13 procedimientos. Los que no aplican a este sistema llevan una `x` y el motivo, por ejemplo `el sistema no tiene bombas`.

✔ **Debe verse:** Métodos 1 a 6 y 11 disponibles; los que no aplican llevan «x» y el motivo

## 15 Colebrook por Newton




TECLAS

▼ ×2 Enter ▶ ×2

El método 3 resuelve la ecuación de Colebrook de la tubería 1 por punto fijo y por Newton. La sección 3 muestra la iteración en $x = 1/\sqrt{f}$: en 4 pasos se llega a $f$ = 0.01955695, el valor del motor.

✔ **Debe verse:** Sección 3/5 «Newton»: x = 1/√f converge en 4 iteraciones a f = 0.01955695

## 16 Tipo II: caudal con la pérdida




TECLAS

Esc 4 ▶ ×2 Enter ▼ ×3 Enter ▶ ×3

El método 4 hace el problema inverso: con la pérdida total del motor (1.7818 m) y $D$ = 100 mm, itera $f$ hasta hallar el caudal. La comparación final da 10 L/s, igual que el motor.

✔ **Debe verse:** Sección 4/4 «Comparación»: Q iterado = 10 L/s = Q del motor, diferencia 0

## 5.4 Resultados

**TUBIX coincide con la referencia**

Velocidad, Reynolds, factor de fricción, pérdidas, cota piezométrica y presión en la entrega coinciden con el cálculo independiente; el problema tipo II recupera los 10 L/s.

| Magnitud | Referencia | TUBIX | Estado |
|---|---|---|---|
| Velocidad $V$ | 1.273240 m/s | 1.27324 m/s | Coincide |
| Número de Reynolds | 126 817 | 126 817 | Coincide |
| Factor de fricción $f$ | 0.019557 | 0.0195570 | Coincide |
| Pérdida por fricción $h_f$ | 1.6165 m | 1.6165 m | Coincide |
| Pérdida local $h_m$ | 0.1653 m | 0.1653 m | Coincide |
| Pérdida total $h_f + h_m$ | 1.7818 m | 1.7818 m | Coincide |
| Cota piezométrica del nudo 2 | 98.218 m | 98.218 m | Coincide |
| Presión en el nudo 2 | 8.218 mca | 8.218 mca | Coincide |
| Caudal por el problema tipo II | 10 L/s | 10 L/s | Coincide |

La referencia es el cálculo independiente del caso (también reproducido con EPANET 2.2). TUBIX resuelve el sistema con Newton global en 2 iteraciones; Colebrook converge en 4 iteraciones de Newton.

### Comprobación a mano

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \times 0.010}{\pi \times 0.100^2} = 1.2732 \text{ m/s}, \qquad \text{Re} = \frac{VD}{\nu} = \frac{1.2732 \times 0.100}{1.004\text{E-}6} = 126\,817$$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{1.2732^2}{2 \times 9.80665} = 0.082655 \text{ m}, \qquad h_f = f\,\frac{L}{D}\,\frac{V^2}{2g} = 0.019557 \times 1000 \times 0.082655 = 1.6165 \text{ m}$$

$$h_m = \Sigma K\,\frac{V^2}{2g} = 2 \times 0.082655 = 0.1653 \text{ m}, \qquad H_2 = 100 - 1.6165 - 0.1653 = 98.218 \text{ m}$$

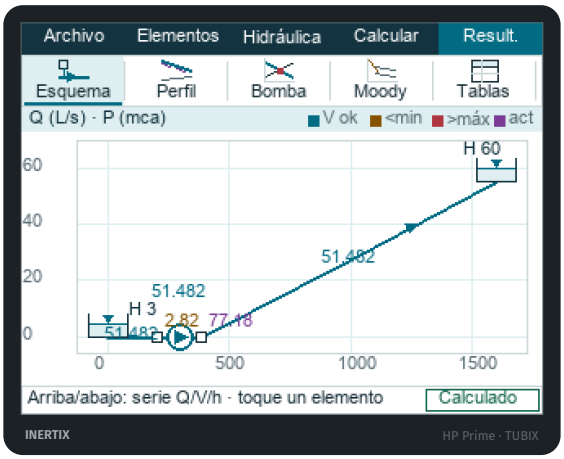
$$P_2 = H_2 - z_2 = 98.218 - 90 = 8.218 \text{ mca}$$

## 6 Opciones importantes

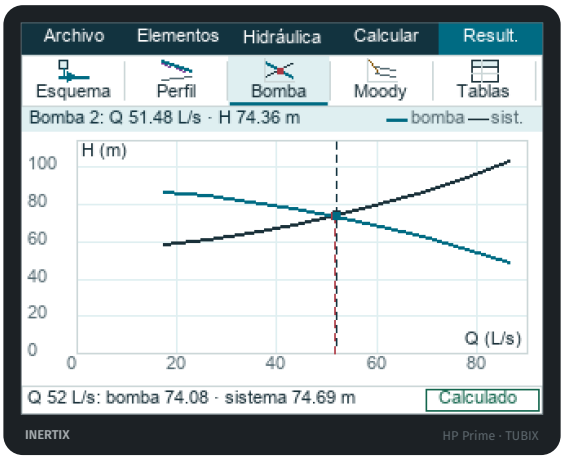
Seis casos cortos que muestran lo que el ejemplo guiado no toca: bombas, válvulas, tres depósitos, diseño, Hazen-Williams y la gestión de errores. Son los mismos OI-1 a OI-6 de la guía TI-Nspire; sus cifras se comprobaron con el motor común (`contenido_comun/casos.json` de la guía TI). Ejemplos y Nuevo reemplazan el sistema en memoria.

### OI-1 · Bombeo con curva de 3 puntos

1 **Archivo** Ejemplos y `Bombeo con curva de 3 puntos` cargan un bombeo de un pozo (nivel 3 m) a un tanque (nivel 60 m) por 10 m de succión de 250 mm y 1500 m de impulsión de 200 mm. La bomba pasa por (0; 90 m), (40 L/s; 80 m) y (80 L/s; 55 m) con eficiencia del 78 %. Se resuelve con 4 **Calcular** Resolver y 5 **Result.** Bomba cruza la curva de la bomba con la del sistema.




Esquema del bombeo calculado.



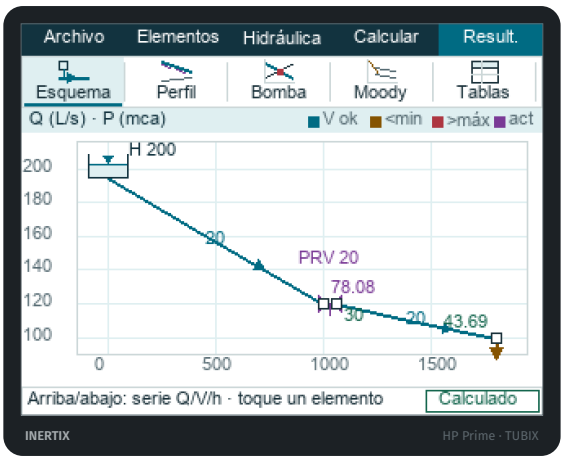

Curvas bomba–sistema y punto de operación.

| Resultado | TUBIX |
|---|---|
| Caudal de operación | 51.482 L/s |
| Carga de la bomba | 74.359 m |
| Potencia al eje ($\eta$ = 78 %) | 48.04 kW |

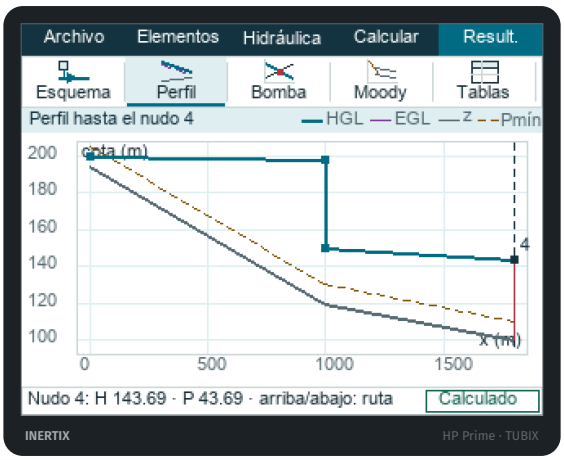
Caso propio del programa, contrastado con un solver independiente (scipy). El punto de operación es el cruce de las dos curvas de la vista `Bomba`.

## OI-2 · Gravedad con reductora PRV

1 **Archivo** Nuevo y `Gravedad con reductora PRV` cargan una conducción por gravedad desde un embalse a 200 m hasta una entrega de 20 L/s a la cota 100 m, con una válvula reductora de presión de 150 mm ajustada a 30 mca aguas abajo.




Esquema: la PRV queda activa.




Perfil: salto de carga en la válvula.

| Resultado | TUBIX |
|---|---|
| Estado de la válvula | Activa |
| Presión aguas abajo de la PRV | 30.000 mca |
| Caudal | 20 L/s |

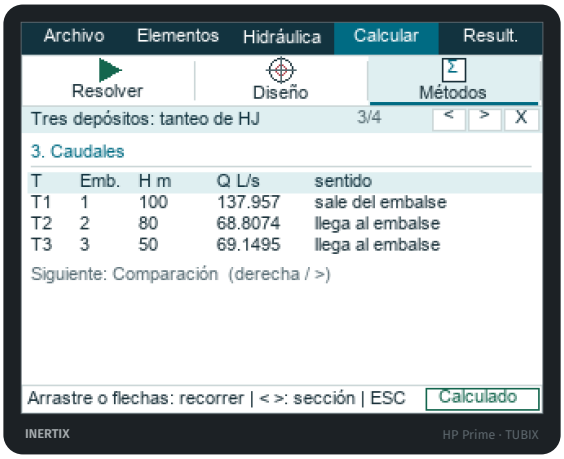
Plantilla del programa; el comportamiento de las válvulas TCV, PRV, PSV, PBV y FCV se contrastó con EPANET 2.2. Aguas arriba de la válvula la presión es de 78.08 mca; la PRV la baja a 30 mca.

## OI-3 · Tres depósitos con f dada

1 Archivo Ejemplos y `Tres depósitos con f dada` cargan tres embalses (niveles 100, 80 y 50 m) unidos a un nudo por tuberías de 300, 250 y 200 mm con $f$ = 0.020, 0.022 y 0.025. El método 9 (`Tres depósitos: tanteo de HJ`) busca la cota del nudo que equilibra los caudales.




Tanteo de $H_j$ por bisección.



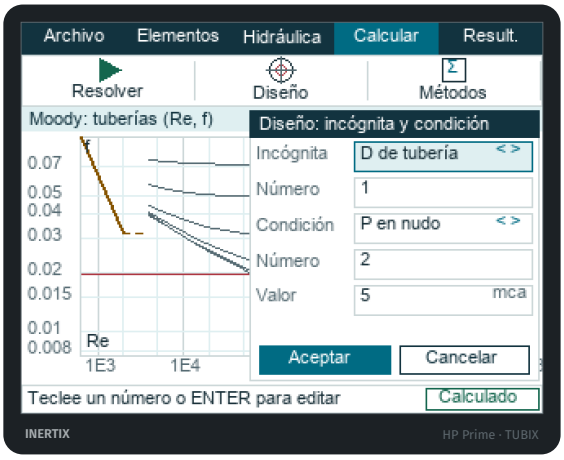

Caudales y sentido en cada tubería.

| Resultado | TUBIX |
|---|---|
| Cota piezométrica del nudo $H_j$ | 87.053 m |
| Caudales T1 / T2 / T3 | 137.96 / 68.81 / 69.15 L/s |
| Sentido | Sale del embalse 1; llega a los embalses 2 y 3 |

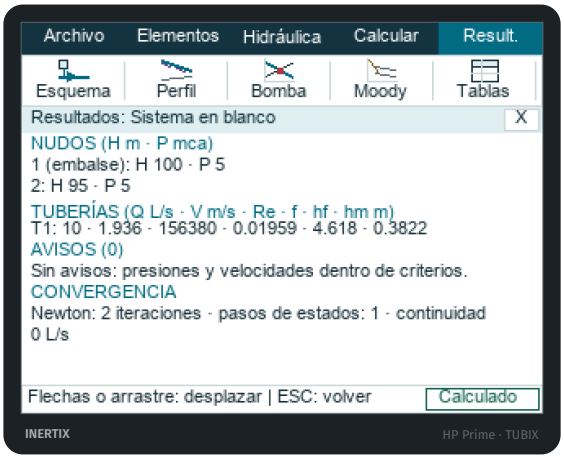
Ejercicio de tres depósitos de la asignatura CIV-2209 que traía el TUBIX original, con $f$ fija por tubería (planteamiento de Streeter y de Sotelo). Contrastado con un solver independiente.

## OI-4 · Diseño del diámetro

Con el ejemplo guiado calculado, 4 Calcular Diseño pide la incógnita (diámetro de una tubería o nivel de un embalse) y la condición (caudal en un elemento o presión en un nudo). Para obtener **5 mca en el nudo 2** variando el diámetro de la tubería 1, TUBIX encuentra $D$ = 81.10 mm y ofrece aplicarlo y recalcular.




Incógnita y condición del diseño.




Tablas tras aplicar el diámetro.

| Resultado | TUBIX |
|---|---|
| Diámetro que cumple $P_2$ = 5 mca | 81.10 mm |
| Presión recalculada en el nudo 2 | 5.000 mca |
| Velocidad con ese diámetro | 1.94 m/s |

La búsqueda amplía el intervalo y aplica regula falsi; 4 **Calcular** Métodos y `Diseño: búsqueda` muestran las evaluaciones. Después conviene elegir un diámetro comercial, escribirlo en la tubería y recalcular.

### OI-5 · Derivación con Hazen-Williams

1 **Archivo** Ejemplos y `Derivación con Hazen-Williams` cargan un embalse (nivel 50 m) y dos conexiones unidas en serie por tuberías de 1200 m / 200 mm (1-2) y 800 m / 150 mm (2-3), con $C$ = 140; las demandas suman 25 L/s.

1. 3 **Hidráulica** Fórmula: `Hazen-W.`; la tubería pide $C$ en lugar de la rugosidad.
2. 4 **Calcular** Resolver y 5 **Result.** Esquema: presiones de 26.28 y 32.44 mca.
3. 4 **Calcular** Métodos, `Hazen-Williams y Darcy`: compara la pérdida con las dos fórmulas.
4. 3 **Hidráulica** Criterios: cambie $P_{mín}$ a 30 mca y recalcule: el nudo 2 pasa a advertencia.

Hazen-Williams solo vale para agua en régimen turbulento; el método 6 muestra el $C$ equivalente y el $f$ de Darcy de cada tubería. Sin capturas HP propias en esta revisión.

### OI-6 · Errores, resultados pendientes y corte con On

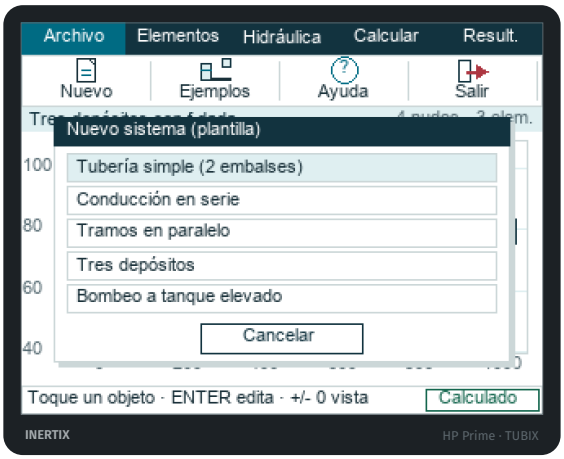
1. Con el ejemplo guiado calculado, abra el nudo 2 y escriba una demanda de −2: aparece el aviso de demanda y el formulario sigue abierto; Esc lo cierra sin cambios.
2. Cambie la demanda a 12 L/s: el botón pasa a `Calcular` y 5 **Result.** Perfil ofrece calcular.
3. Con `Calcular` o Enter se recalcula: $P_2$ = 7.483 mca.
4. Si un cálculo se corta con On, al volver a abrir TUBIX el sistema está intacto y la línea de estado dice `Cálculo interrumpido: vuelva a Calcular`.

Al salir, el sistema queda en la memoria del programa y se recupera al volver a abrir TUBIX.

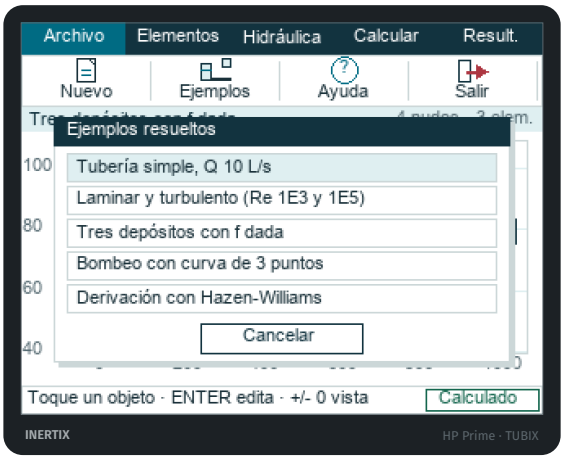
## 7 Referencia de menús y opciones

### 7.1 1 · Archivo

| Orden | Qué hace |
|---|---|
| Nuevo | Plantillas: «Tubería simple (2 embalses)», «Conducción en serie», «Tramos en paralelo», «Tres depósitos», «Bombeo a tanque elevado», «Gravedad con reductora PRV» y «En blanco: solo un embalse». Reemplazan el sistema y restauran fórmula, fluido y criterios. |
| Ejemplos | «Tubería simple, Q 10 L/s», «Laminar y turbulento (Re 1E3 y 1E5)», «Tres depósitos con f dada», «Bombeo con curva de 3 puntos» y «Derivación con Hazen-Williams». |
| Ayuda | Documento con el menú, el dibujo, las ecuaciones, bombas, válvulas y convenios. |
| Salir | Pide confirmación; el sistema queda en memoria. |




1 **Archivo** Nuevo: plantillas.

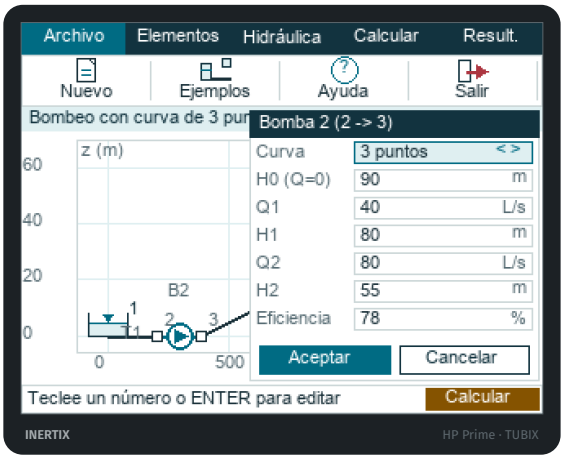



1 **Archivo** Ejemplos.

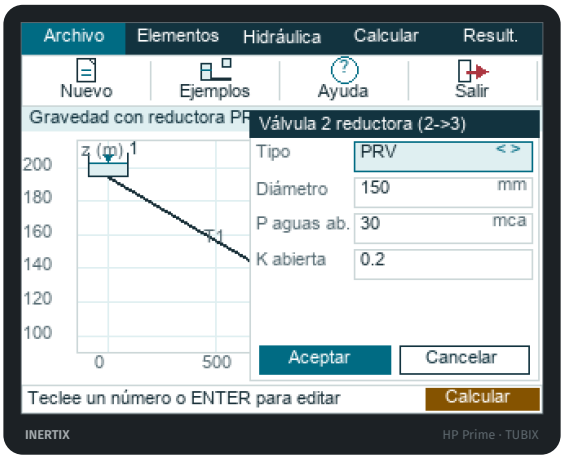
## 7.2 2 · Elementos

Herramientas del lienzo; se usan tocando la pantalla.

| Herramienta | Qué hace |
|---|---|
| Selec. | Toque un elemento para elegirlo y otra vez (o Enter) para editarlo. |
| Nudo | En un punto libre crea una conexión; sobre una tubería, la divide en dos. |
| Embalse | En un punto libre crea un embalse ($H = z + 5$ m); sobre un nudo, lo convierte (pide confirmación). |
| Tubería | Toque el nudo inicial y el final; $L$ toma la distancia del dibujo (editable). Los tramos se encadenan; Esc termina. |
| Bomba, Válvula | Sobre una tubería se insertan en el medio; entre dos nudos, los unen. Abren su formulario. |
| Borrar | Toque el nudo o el elemento; pide confirmación. Al borrar un nudo se renumeran los siguientes. |



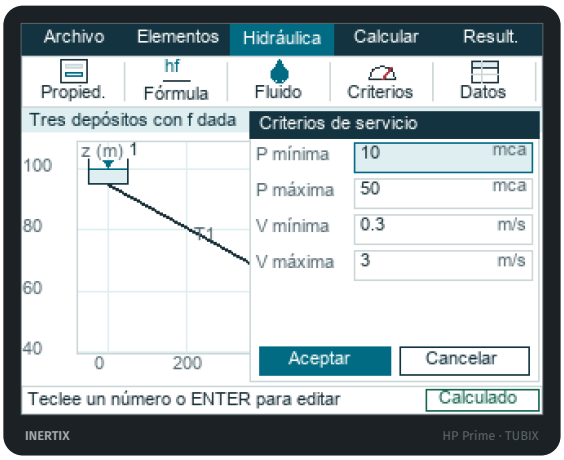

Formulario de la bomba (3 puntos).



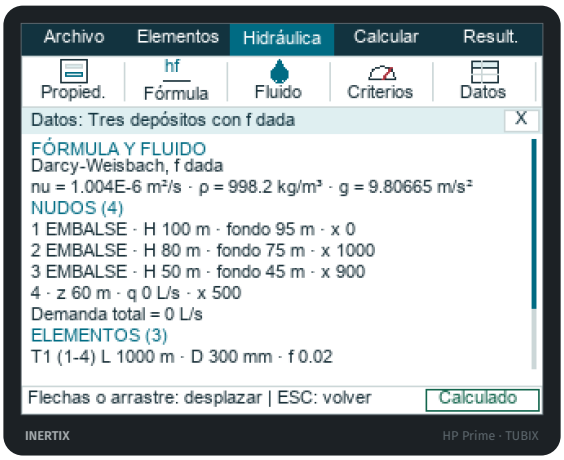

Formulario de la válvula PRV.

## 7.3 3 · Hidráulica

| Orden | Qué hace |
|---|---|
| Propied. | Formulario del nudo o elemento elegido: conexión ($z$, $q$, $x$); embalse ($H$, fondo, $x$); tubería ($L$, $D$, $\varepsilon$ o $C$ o $f$, $K$, material); bomba (curva de 1 o 3 puntos, eficiencia); válvula (tipo, diámetro, consigna, $K$ abierta). |
| Fórmula | Darcy-Weisbach (fricción por Colebrook, Swamee-Jain o $f$ dada) o Hazen-Williams. |
| Fluido | Agua según la temperatura (0 a 100 °C) o $\nu$ y $\rho$ manuales; $g$. |
| Criterios | $P_{mín}$, $P_{máx}$ (mca), $V_{mín}$, $V_{máx}$ (m/s); por defecto 10, 50, 0.3 y 3. |
| Datos | Documento con la fórmula, el fluido, todos los nudos y todos los elementos. |




3 **Hidráulica** Criterios.




3 **Hidráulica** Datos.

## 7.4 4 · Calcular

| Orden | Qué hace |
|---|---|
| Resolver | Valida los datos y resuelve con Newton global y el ciclo de estados de bombas y válvulas. Los errores dicen el elemento y el dato. |
| Diseño | Diámetro de una tubería o nivel de un embalse para un caudal en un elemento o una presión en un nudo; ofrece aplicarlo y recalcular. |
| Métodos | Los 13 procedimientos paso a paso. La lista marca con «x» los que no aplican y dice por qué (por ejemplo, la serie exige una cadena entre dos embalses sin válvulas de control). |

Los métodos de serie, paralelo y Hazen-Williams frente a Darcy se ven con las plantillas «Conducción en serie» y «Tramos en paralelo» y con el ejemplo «Derivación con Hazen-Williams».

### 7.5 5 · Result.

| Orden | Qué hace |
|---|---|
| Esquema | $Q$, $V$ o $h$ por elemento y $P$ por nudo, con color según los criterios y estado de las válvulas. |
| Perfil | HGL, EGL, terreno y $z + P_{mín}$ hasta un nudo de destino, con cursor. |
| Bomba | Curva de la bomba, curva del sistema y punto de operación, con cursor en $Q$. |
| Moody | Curvas de Colebrook ($\varepsilon/D$ de 0 a 0.05), laminar y las tuberías del sistema. |
| Tablas | Nudos, tuberías, bombas, válvulas, avisos y convergencia. |

Si los resultados están pendientes, cada vista ofrece calcular antes de mostrarse.

## 8 Fundamento teórico breve

### 8.1 Ecuaciones del sistema

$$H_i - H_j = h(Q) \quad \text{(cada elemento)}, \qquad \sum Q_{entra} - \sum Q_{sale} = q_k \quad \text{(cada conexión)} \tag{1}$$

Donde: $H$ cota piezométrica (fija en los embalses), $h(Q)$ pérdida de la tubería, menos la carga de la bomba o la pérdida de la válvula. Newton global resuelve todos los $Q$ y $H$ a la vez, con búsqueda lineal; un ciclo de estados decide si cada bomba trabaja y si cada válvula está activa, abierta o cerrada.

### 8.2 Pérdidas de carga

$$h = \left(f\,\frac{L}{D} + K\right)\frac{V^2}{2g}, \qquad V = \frac{4Q}{\pi D^2}, \qquad \mathrm{Re} = \frac{VD}{\nu} \tag{2}$$

$$\text{Colebrook: } \frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}}\right) \qquad \text{Swamee-Jain: } f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right)\right]^2} \tag{3}$$

$$\text{Hazen-Williams: } h_f = \frac{10.67\,L\,Q^{1.852}}{C^{1.852}\,D^{4.871}} \tag{4}$$

Donde: Laminar (Re < 2000): $f = 64/\mathrm{Re}$; de 2000 a 4000, $f$ se interpola linealmente. Colebrook se resuelve por Newton en $x = 1/\sqrt{f}$. En Hazen-Williams, $Q$ en $m^3/s$ y $D$ en m.

### 8.3 Bombas y válvulas

$$\text{1 punto: } H = \tfrac{4}{3}H_d - \tfrac{H_d}{3}\left(\frac{Q}{Q_d}\right)^2, \qquad \text{3 puntos: } H = a + b\,Q + c\,Q^2 \text{ por } (0,H_0),(Q_1,H_1),(Q_2,H_2) \tag{5}$$

$$P_{hid} = \rho\, g\, Q\, H, \qquad P_{eje} = \frac{\rho\, g\, Q\, H}{\eta} \tag{6}$$

Donde: La bomba tiene retención: si no vence la carga queda detenida. TCV: pérdida $K\,V^2/2g$; PRV fija la presión aguas abajo; PSV, la de aguas arriba; PBV, una pérdida fija; FCV, un caudal máximo.

### 8.4 Problemas clásicos

$$\text{Tipo II: } V = \sqrt{\frac{2g\,h}{f\,L/D + K}},\ Q = V\,\frac{\pi D^2}{4} \qquad \text{Tres depósitos: } \sum_i Q_i(H_j) = 0 \tag{7}$$

Donde: En el tipo II se supone $f$, se calcula $Q$ y se corrige $f$ con Colebrook hasta que no cambia; el tipo III busca $D$ del mismo modo. En tres depósitos, cada $Q_i$ sale de $|H_i - H_j|$ y se ajusta $H_j$ por bisección. Paralelo: se reparte un caudal supuesto y se corrige con la misma pérdida en todas las ramas.

**Nota**

La cota piezométrica de un nudo sigue el convenio de EPANET: la carga de velocidad no se suma, y las pérdidas de entrada (0.5) y salida (1.0) se dan en $K$. Por eso el ejemplo guiado usa $\Sigma K = 2$.

## 9 Preguntas frecuentes

**¿Cómo creo un sistema nuevo?**

1 Archivo Nuevo y una plantilla. Con `En blanco: solo un embalse` se dibuja todo con 2 Elementos Nudo y 2 Elementos Tubería, tocando el lienzo.

**Al calcular dice que el nudo no está unido a ningún embalse.**

Cada nudo debe llegar a un embalse por elementos. Únalo con 2 Elementos Tubería y vuelva a calcular.

**¿Cómo meto un aporte de agua en un nudo?**

La demanda solo admite valores ≥ 0. Un aporte se modela con un embalse: 2 Elementos Embalse sobre el nudo lo convierte.

**¿Por qué la longitud de la tubería no es la que esperaba?**

Al dibujarla se toma la distancia entre los nudos, desnivel incluido. Corrija $L$ en el formulario.

**La bomba aparece detenida.**

No vence la carga del sistema: la retención la cierra. Revise la curva o los niveles; 5 Result. Bomba muestra si las curvas se cruzan.

**La válvula queda «abierta» y no regula.**

Con la consigna pedida el sistema no tiene solución con la válvula activa; TUBIX la deja abierta y lo informa en `Válvulas: estados`.

**¿Pierdo el sistema al salir?**

No: queda en memoria y se recupera al volver a abrir TUBIX.