INERTIX

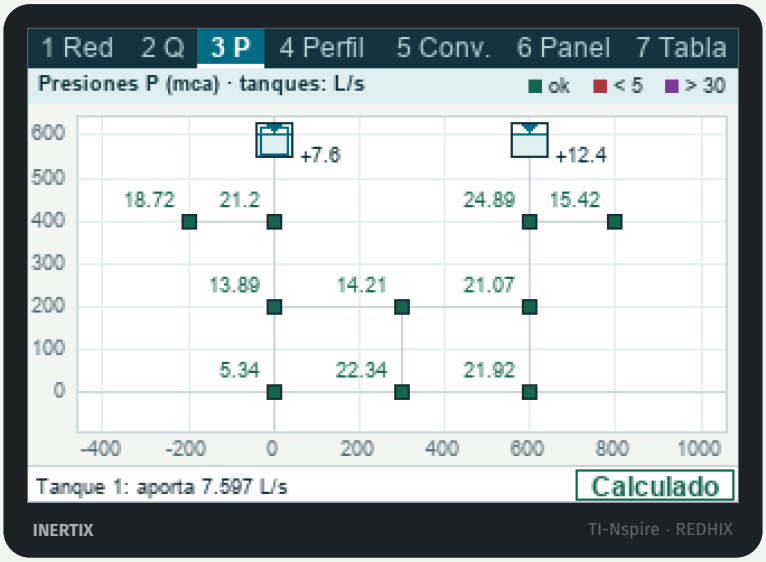
Programas de ingeniería civil para TI-Nspire

GUÍA DE USO

REDHIX

Redes de agua a presión: Hardy Cross, Newton y Gradiente

Versión 1.0.0 **TI-Nspire** Hidráulica · Noviembre 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 **4**
1.1. Qué calcula . . . 4
1.2. Unidades y convenciones . . . 4
1.3. Límites y fuera de alcance . . . 4

2. Instalación **5**
2.1. Abrir en la computadora . . . 5
2.2. Transferir a la calculadora . . . 5

3. Licencia de uso **5**
3.1. Cómo funciona . . . 6
3.2. Activar en la calculadora . . . 6
3.3. Mensajes de la pantalla Licencia . . . 7

4. La interfaz **7**
4.1. Zonas de la pantalla . . . 8
4.2. Teclas . . . 9
4.3. Formularios y resultados pendientes . . . 9
4.4. Editar la red . . . 10
4.5. Ayuda integrada . . . 11
4.6. Errores y avisos . . . 11

5. Ejemplo guiado **12**
5.1. Enunciado . . . 12
5.2. Datos . . . 12
5.3. Paso a paso . . . 13
5.4. Resultados . . . 19

6. Opciones importantes **20**
6.1. OI-1 · Red mallada con Hazen-Williams y comparación de los métodos . . . 20
6.2. OI-2 · Diseñar diámetros y aplicarlos . . . 21
6.3. OI-3 · Colebrook frente a Swamee-Jain . . . 22
6.4. OI-4 · Newton como método principal y su procedimiento . . . 23
6.5. OI-5 · Editar un tubo: dato no válido, recálculo y perfil . . . 24
6.6. OI-6 · Guardar y abrir el documento . . . 25

7. Referencia de menús y opciones **26**

7.1. Archivo 26

7.2. Red 26

7.3. Datos 27

7.4. Calcular 27

7.5. Result. 27

8. Fundamento teórico breve **28**

8.1. Ecuaciones de la red 28

8.2. Pérdidas de carga 28

8.3. Métodos de solución 29

8.4. Cotas, presiones y diseño 29

9. Preguntas frecuentes **29**

1 Presentación y alcance

REDHIX resuelve **redes de agua a presión**, abiertas o malladas, alimentadas por uno o varios tanques de nivel fijo, en las TI-Nspire CX y CX II. La red se edita a escala en la pantalla, los caudales se calculan por **tres métodos** (Hardy Cross, Newton en mallas y Gradiente) y el programa muestra las presiones, el perfil piezométrico, la convergencia y el procedimiento de cada método. Es la misma aplicación que la versión HP Prime, con una interfaz pensada para la TI-Nspire: pestañas de vistas, menú nativo, formularios flotantes y tablas editables.

1.1 Qué calcula

- **Caudal, velocidad, Re, f, pérdida por fricción h_f, pérdida local y gradiente** J de cada tubo.
- **Cota piezométrica y presión de cada nudo**, con su estado frente a $P_{\text{mín}}$ y $P_{\text{máx}}$, y el **aporte de cada tanque**.
- **Iteraciones y residuos** de Hardy Cross, Newton en mallas y Gradiente (Todini-Pilati, el algoritmo de EPANET); los tres se resuelven siempre y se comparan.
- **Pérdidas**: Darcy-Weisbach con Colebrook o Swamee-Jain, o Hazen-Williams; pérdidas locales con K por tubo y con el factor $m = 1 + L_e/L$.
- **Diseño de diámetros comerciales** para una velocidad de diseño, en pulgadas o en PVC (mm), aplicable a la red.
- Seis **procedimientos paso a paso** con fórmula, sustitución y tablas.

1.2 Unidades y convenciones

Magnitud	Unidad y convenio
Coordenadas, cotas, longitudes	m; la cota z de un nudo es la del terreno; en un tanque se da su nivel H
Diámetro, rugosidad	mm
Demanda q, caudal Q	L/s; la demanda es ≥ 0 (un aporte se modela con un tanque)
Signo de Q	Positivo de N_i a N_j (del nudo inicial al final del tubo)
Presión	mca: $P = H - z$
Viscosidad	ν en m²/s, se escribe en unidades de 1E-6 (campo ν `×1E-6`)
Aporte de un tanque	L/s; negativo si el tanque recibe agua

1.3 Límites y fuera de alcance

⚠ Fuera de alcance

- Hasta **30 nudos y 45 tubos**; al menos un tanque, 2 nudos y 1 tubo, todos conectados.
- Flujo **permanente** con tanques de **nivel fijo**: no hay bombas, válvulas ni simulación en período extendido.
- Régimen laminar con $f = 64/\text{Re}$; la transición (Re de 2000 a 4000) se interpola linealmente.
- Las mallas son las caras de la red dibujada; con cruces o tubos paralelos se usa una base de mallas cortas independientes (el resultado es el mismo; cambian las tablas de Hardy Cross).

- El aporte inicial de cada tanque (%) solo reparte los caudales iniciales: no influye en la solución.
- Rangos: D de 10 a 3000 mm, rugosidad de 0 a 5 % de D, m de 1 a 2, ν de 0.1 a 20 (×1E-6), g de 9 a 10 m/s², tolerancia de 1E-8 a 1 L/s, de 1 a 500 iteraciones, V de diseño de 0.1 a 5 m/s.

2 Instalación

El archivo que abre el usuario es `REDHIX.tns`. Los componentes del programa se distribuyen integrados en ese documento.

Archivo	Uso
`REDHIX.tns`	Documento de la aplicación para TI-Nspire.
Guía de uso en PDF	Instrucciones y ejemplo guiado de la misma versión.
Ficha de ejemplo en PDF	Enunciado, datos y resultados de referencia.

2.1 Abrir en la computadora

1. Conserve una copia del documento recibido.
2. Ábralo en el software TI-Nspire compatible indicado en la ficha de esta guía.
3. Active la página del programa y compruebe que aparece su pantalla inicial.

2.2 Transferir a la calculadora

Con el software TI-Nspire de escritorio, la ruta documentada por Texas Instruments es conectar el equipo por USB, abrir el documento y usar **File > Save to Handheld** (Archivo > Guardar en unidad portátil). Seleccione el equipo y la carpeta de destino; después abra el documento transferido.

Referencia: Texas Instruments, solución 26210. Es la ruta general documentada por Texas Instruments para cualquier documento .tns.

Guardar un caso

Guarde una copia del documento con un nombre reconocible. El programa está diseñado para conservar los datos del caso; la guía indica qué se restaura y cuándo hay que recalcular. No presuponga que el resultado guardado sigue vigente.

3 Licencia de uso

REDHIX se entrega con una **licencia personal**: se activa una sola vez y queda ligada a **su** calculadora TI-Nspire (CX y CX II). La activación de la versión HP Prime no se aplica a la TI-Nspire.

Archivo	Uso
`REDHIX.tns`	Documento de la aplicación; el programa completo va dentro.
`INERTIX_LICENCIA.tns`	Documento con la licencia de **su** calculadora. Se recibe después de enviar el ID; una misma licencia puede incluir varios programas INERTIX.

Los programas se reciben por WhatsApp en un archivo `.zip`, junto con `INERTIX_LICENCIA.tns`. Si ya tiene los programas, recibe solo `INERTIX_LICENCIA.tns`.

3.1 Cómo funciona

- Al abrir `REDHIX.tns` aparece `Verificando la licencia...` durante unos segundos (unos 7 a 8 en una TI-Nspire CX CAS). Es normal: con una licencia válida para esa calculadora, REDHIX se abre solo, con el caso guardado. Sin ella queda la pantalla `Licencia`, que solo ofrece `Licencia` (estado, pegar, copiar el ID, verificar de nuevo) y `Ayuda` (instrucciones, soporte, acerca de): **no se puede calcular**.
- La licencia es un texto firmado ligado al **ID completo** de la calculadora; enumera los programas y la versión mayor autorizados. Si se edita un carácter, deja de ser válida.
- Se verifica al abrir el documento, al pegar una licencia y al volver a la página. No se guarda un estado «activado»: un documento copiado a otra calculadora muestra `Licencia de otra calculadora`.
- En el software de computadora no hay ID de calculadora: la pantalla dice `Se activa solo en una calculadora TI-Nspire` y el programa no calcula, aunque el documento traiga una licencia válida.

3.2 Activar en la calculadora

1. Abra `REDHIX.tns` en la calculadora. Anote el `ID del equipo` completo y el `control` de 4 caracteres que muestra la pantalla `Licencia` (o menu **Licencia** → `Copiar ID`).
2. Envíe ambos con su pedido por WhatsApp, por el mismo chat donde compró.
3. Copie el `INERTIX_LICENCIA.tns` recibido a la calculadora (sección anterior), ábralo y pulse enter: aparece `Licencia copiada`.
4. Abra `REDHIX.tns` y pulse ctrl+V (o menu menu **Licencia** → `Pegar licencia`).
5. Con `Licencia activa`, guarde el documento con ctrl+S para conservarla.

Con la licencia activa, menu **Archivo** → `Licencia` muestra el estado, el ID y el control sobre el caso, y esc vuelve sin cambiarlo.

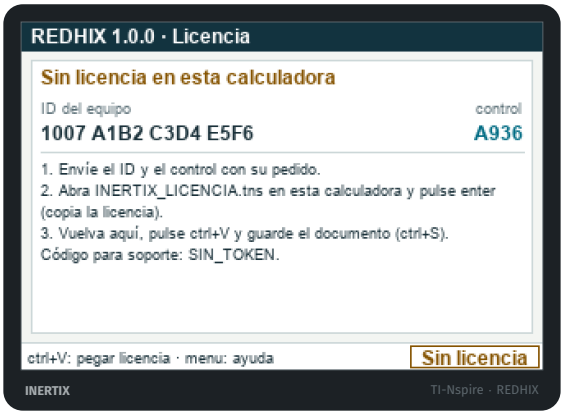
3.3 Mensajes de la pantalla Licencia

Mensaje	Qué hacer
Verificando la licencia…	Espere unos segundos; el programa se abre solo si la licencia es válida.
Licencia activa	Nada; guarde el documento si acaba de pegarla.
Sin licencia en esta calculadora	Siga los pasos anteriores.
Licencia no válida	El texto está incompleto o alterado: vuelva a abrir `INERTIX_LICENCIA.tns`, pulse enter y pegue de nuevo.
Licencia de otra calculadora	La licencia es de otro ID. Pida soporte con el ID y el control de esta calculadora.
Programa o versión no incluidos	La licencia no incluye este programa o esta versión mayor.
Se activa solo en una calculadora TI-Nspire	Software de computadora o emulador: abra el documento en su TI-Nspire CX y CX II.
No se pudo verificar	Pida soporte con el código que muestra la pantalla.

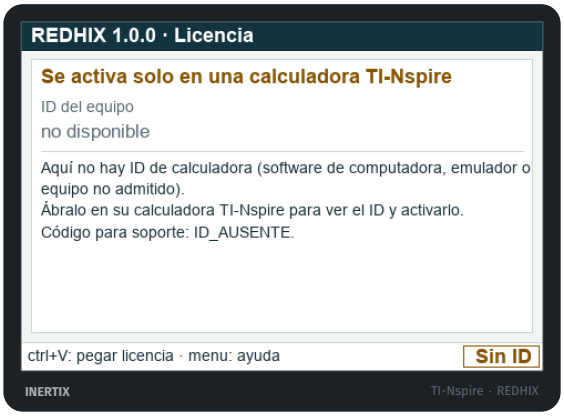
Salvo `Licencia activa`, cada mensaje muestra un `Código para soporte`. En la pantalla Licencia, menu **Ayuda** → `Soporte` reúne programa, ID, control, estado y código para enviarlos.

Qué protege la licencia en REDHIX

Sin licencia válida para esta calculadora el programa no calcula: menu **Calcular** → `Resolver`, el clic en `Calcular`, enter en una vista pendiente, la pregunta `¿Calcular ahora?` de las vistas, `Procedim.`, menu **Result.** → `Tablas`, `Diseño D`, aplicar los diámetros, menu **Datos** → `Mallas` y menu **Datos** → `Q inicial` muestran `Licencia no verificada en esta calculadora. Vea Archivo > Licencia.` y la red no cambia. La Ayuda sigue disponible.



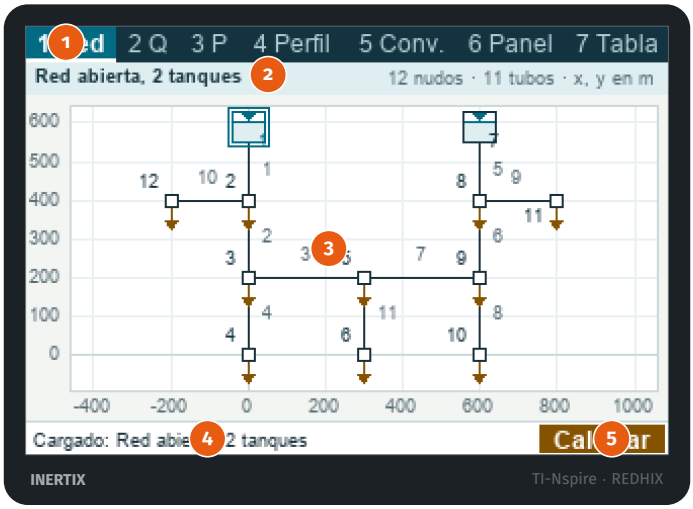
Sin licencia: pantalla Licencia (ID de ejemplo).



En la computadora: «Se activa solo en una calculadora TI-Nspire».

4 La interfaz

4.1 Zonas de la pantalla

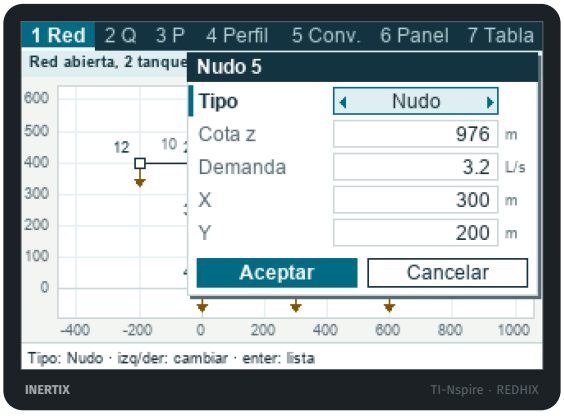


Zona	Uso
1 Pestañas	`1 Red`, `2 Q` (caudales), `3 P` (presiones), `4 Perfil`, `5 Conv.`, `6 Panel` y `7 Tabla`. Se eligen con la cifra, con tab o con un clic.
2 Encabezado	Nombre de la red y su tamaño, o el título de la vista y su leyenda de colores.
3 Lienzo	La red a escala (x, y en m): tanques, nudos con su demanda y tubos numerados.
4 Barra inferior	Datos del elemento elegido, lectura del cursor o ayuda de teclas.
5 Insignia	`Calcular` (resultados pendientes; un clic calcula) o `Calculado`.
Menú	menu abre Archivo, Red, Datos, Calcular y Result., con las órdenes de la versión HP. No hay `Salir`: el documento se cierra desde el sistema.

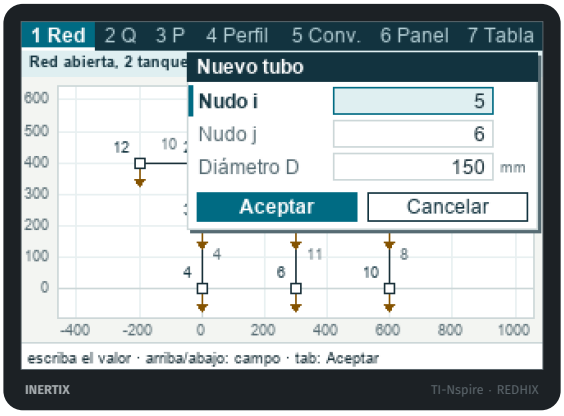
4.2 Teclas

Control	Dónde	Acción
menu	Siempre	Abre las órdenes.
1 a 7, tab	Vistas	Cambian de pestaña. Una vista de resultados pendiente pregunta si calcula.
◀ ▶	Red, Q, P	Recorren nudos y tanques; ▲ ▼ recorren los tubos. Un clic elige el más cercano.
enter / 2.º clic	Red	Abre las propiedades del elegido. En Q y P, enter abre la tabla de resultados.
del	Red	Borra el elegido (pide confirmar); un nudo se lleva sus tubos y renumera los siguientes.
n t m	Red	Lista de nudos, lista de tubos, mover el nudo elegido (flechas o clic; enter o esc termina).
+ − f o	Red, Q, P	Acercar, alejar y encuadrar.
◀ ▶	Perfil	Recorren los nudos del perfil; ▲ ▼ cambian el nudo final.
◀ ▶	Conv.	Recorren las iteraciones.
▲ ▼, enter	Panel	Desplazan; enter abre la tabla de resultados.
n t d	Tabla	Nudos, tubos o listado de datos; flechas eligen celda, enter edita, + agrega, del quita.
◀ ▶	Procedim.	Sección anterior o siguiente; ( ) mueven las tablas anchas.
esc	—	Cierra formularios, listas, avisos y documentos; en una vista de resultados vuelve a Red.

4.3 Formularios y resultados pendientes



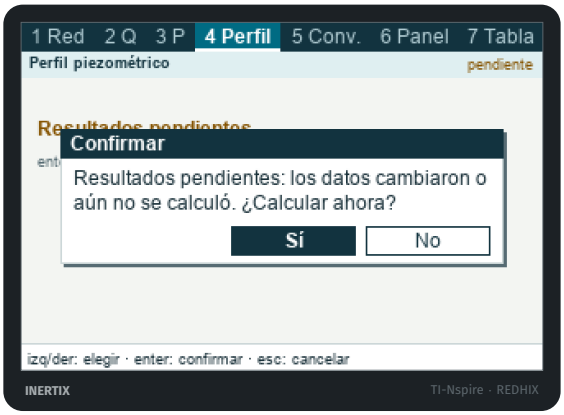
Formulario del nudo 5.



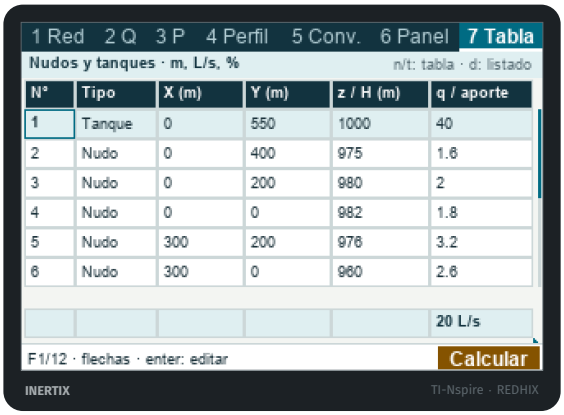
menu **Red** → `Tubo`: tubo nuevo entre dos nudos.

- **Formularios.** ▲ ▼ cambian de campo y ◀ ▶ la opción (Tipo, Fórmula, Fricción, Método, Catálogo, Aplicar a); enter sobre una opción abre su lista. Al escribir se reemplaza el valor (se admiten operaciones + − × ÷ ( ) ^ E); enter confirma y pasa al campo siguiente. tab lleva a `Aceptar`. esc deshace la edición de la celda; otro esc cancela sin cambios. Las opciones largas se abrevian (`Darcy-W.`, `H. Cross`); la nota de abajo muestra el nombre completo.
- **Tipo de nudo.** Cambiar el tipo de nudo a tanque rehace el formulario (nivel H y aporte inicial); con Hazen-Williams el tubo pide C en lugar de la rugosidad.

- **Validación.** Un dato no válido muestra el motivo; al cerrar el aviso el formulario sigue abierto y la red **no** cambia (caso OI-5).
- **Resultados pendientes.** Cualquier cambio de datos deja la insignia en `Calcular` y la tabla muestra `pend.` en las columnas de resultados. Las vistas de resultados preguntan si calcula; con `No`, Q y P muestran la red sin resultados. Recorrer una gráfica no recalcula nada.



Vista dependiente con resultados pendientes.

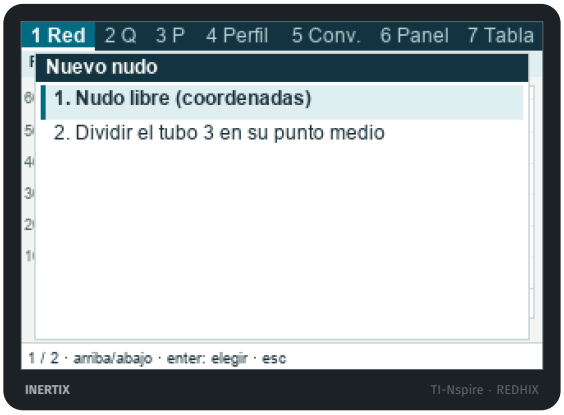


Pestaña Tabla: nudos.

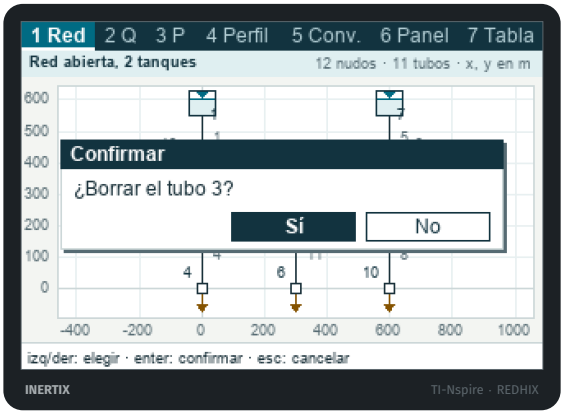
4.4 Editar la red

La versión HP crea los nudos y tubos tocando el lienzo; en la TI-Nspire se hace con órdenes y formularios.

- menu **Red** → `Nudo`, `Tanque` y `Tubo` agregan con un formulario (coordenadas, cota o nivel, demanda; o nudos inicial y final y D). El tubo toma L = distancia del dibujo; edítela en sus propiedades.
- Con un **tubo** elegido, menu **Red** → `Nudo` ofrece `Dividir el tubo en su punto medio`; con un **nudo** elegido, menu **Red** → `Tanque` ofrece convertirlo en tanque ($H = z + 30$ m).
- menu **Red** → `Mover` o m mueve el nudo elegido por una rejilla de 5 a 50 m según el zoom; las longitudes L no cambian. menu **Red** → `Borrar` o del pide confirmar.
- La pestaña `Tabla` edita todos los nudos o tubos en celdas, con totales de demanda y de longitud.



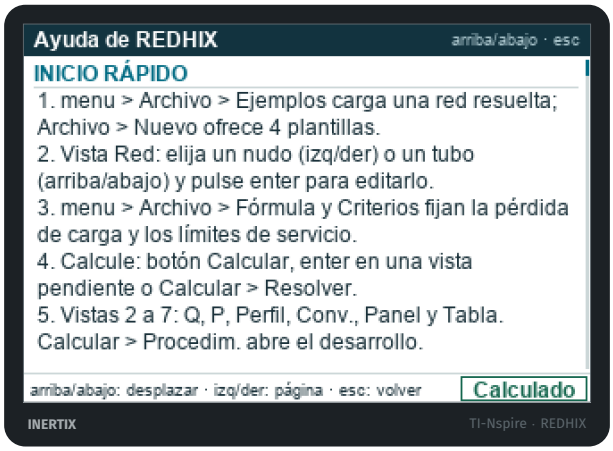
Con el tubo 3 elegido: nudo libre o dividir.



Borrar el tubo 3: confirmación.

4.5 Ayuda integrada

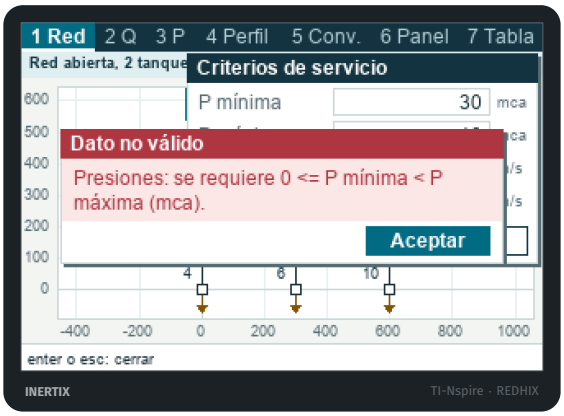
menu **Archivo** → `Ayuda` abre `Ayuda de REDHIX`: inicio rápido, vistas, teclas, comandos, unidades y convenios, límites, guardado y errores; después, las secciones técnicas de la versión HP (ecuaciones, métodos, caudales iniciales, convenios y ejemplo 1) y al final `ACERCA DE` (y `LICENCIA` en las ediciones con licencia). ▲ ▼ desplazan, ◄ ► pasan de página y esc vuelve a la red sin cambiarla.



Primera página de la Ayuda.

4.6 Errores y avisos

Aviso	Qué significa y qué hacer
Dato no válido	Un dato fuera de rango (D de 10 a 3000 mm, rugosidad de 0 a 5 % de D, $K \geq 0$, demanda ≥ 0, mínimos menores que los máximos…) o que no es un número. El aviso dice el motivo; al cerrarlo el formulario sigue abierto y la red no cambia.
La red necesita…	Faltan nudos (al menos 2), tubos (al menos 1) o un tanque de nivel fijo.
Red no conexa	Un nudo no se une al tanque 1 por tubos; el mensaje dice cuál.
Tubo k: …	Un dato del tubo k no vale al resolver; ocurre, por ejemplo, si `Aplicar a: todos` copió una rugosidad que en un tubo más fino pasa del 5 % de D.
… no convergió en n iteraciones	El método principal no llegó a la tolerancia: aumente `Máx. iter.` o elija otro método. Si no converge uno de los otros dos, el Panel dice `no converge`.
Límite de la red	Hay 30 nudos o 45 tubos.
`Calcular` (insignia)	Cambió un dato después del último cálculo. Calcule de nuevo.
Licencia no verificada	Solo en ediciones con licencia; ver el capítulo de licencia.



Criterios: P mínima mayor que la máxima.



Plantilla vacía: faltan nudos.

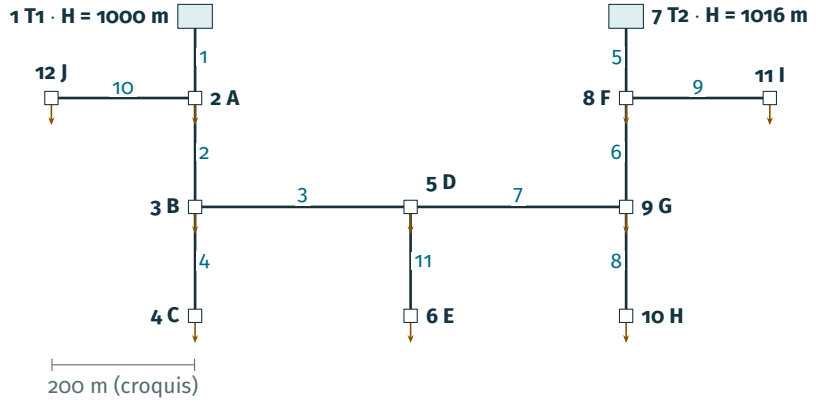
Sin corte con ON

En la HP Prime, la tecla `On` puede interrumpir un cálculo y el programa avisa al volver (`Cálculo interrumpido`). En la TI-Nspire ese caso no existe: las acciones terminan antes de volver a dibujar la pantalla. Lo que se conserva entre sesiones es el documento: guarde con ctrl + S; al abrirlo, la red es la misma y los resultados quedan pendientes (OI-6).

5 Ejemplo guiado

5.1 Enunciado

Dos tanques de nivel fijo, **T1 (H = 1000 m)** y **T2 (H = 1016 m)**, alimentan una red abierta de PVC con **10 nudos de consumo** (A a J) y **11 tubos**; la demanda total es de **20 L/s**. Calcular el **caudal de cada tubo**, el **aporte de cada tanque** y la **presión de cada nudo** con Hardy Cross (Darcy-Weisbach y Swamee-Jain), y revisar las presiones entre 5 y 30 mca. Después, repetir el cálculo con la **demanda de D aumentada a 6 L/s**.



5.2 Datos

Nudo	1 T1	2 A	3 B	4 C	5 D	6 E	7 T2	8 F	9 G	10 H	11 I	12 J
z, H (m)	1000	975	980	982	976	960	1016	980	978	970	982	974
q (L/s)	–	1.6	2.0	1.8	3.2	2.6	–	2.3	1.8	1.3	2.2	1.2

Tubo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nudos	1-2	2-3	3-5	3-4	7-8	8-9	9-5	9-10	8-11	2-12	5-6
L (m)	420	580	540	600	510	600	560	660	480	370	620
D (mm)	101.6	101.6	50.8	57.2	101.6	101.6	76.2	50.8	57.2	50.8	63.5

Parámetro	Valor
Fórmula de pérdidas	Darcy-Weisbach, f por Swamee-Jain
Rugosidad ε (PVC)	0.0015 mm en todos los tubos; $K = 0$
Viscosidad ν, gravedad g	1.308E-6 m²/s (agua a 10 °C), 9.81 m/s²
Factor de pérdidas locales $m = 1 + L_e/L$	1.07
Aporte inicial de T1 / T2	40 % / 60 % (solo para los caudales iniciales)
Criterios	$5 \leq P \leq 30$ mca; $0.3 \leq V \leq 2$ m/s
Método y tolerancia	Hardy Cross, $\lvert\Delta Q\rvert \leq$ 1E-4 L/s

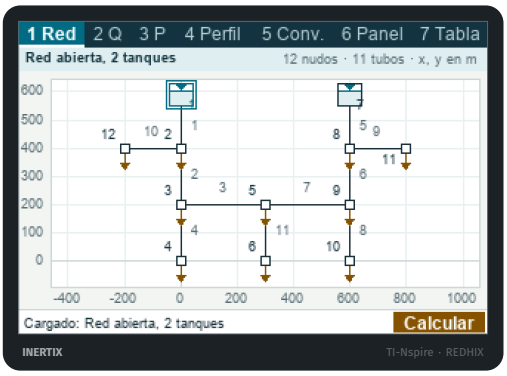
Fuente: Caso de validación para redes de distribución de agua a presión y mallas hidráulicas ramificadas (`Archivo > Ejemplos`). Los caudales por tramo, gradientes hidráulicos y presiones residuales en nudos se comprueban analíticamente mediante las ecuaciones de Swamee-Jain y Darcy-Weisbach.

Mismo ejemplo que la guía HP

Los 17 pasos siguen el orden y la numeración de la guía HP. Cambian las rutas: las órdenes se abren con menu y los resultados se ven en las pestañas. La red del ejemplo se carga y se revisan sus datos, en lugar de dibujarla; la numeración de nudos y tubos es la del enunciado y la usan las tablas de Hardy Cross.

5.3 Paso a paso

1 Cargar el ejemplo «Red abierta, 2 tanques»



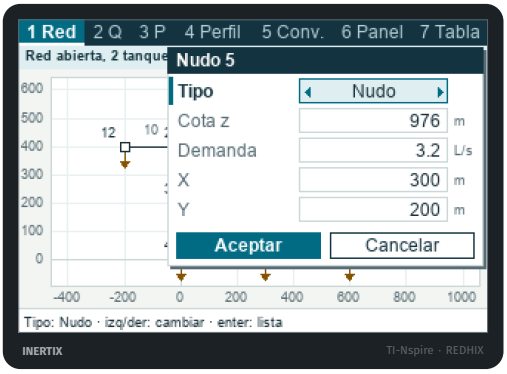
TECLAS

menu **Archivo** → `Ejemplos` 1

menu **Archivo** → `Ejemplos` y la cifra 1 cargan la red con sus datos y criterios. Se carga aunque ya se vea en pantalla: así se descarta cualquier cambio anterior.

✔ **Debe verse:** Red de 12 nudos y 11 tubos, encabezado «Red abierta, 2 tanques» e insignia «Calcular»

2 Propiedades del nudo D (nudo 5)



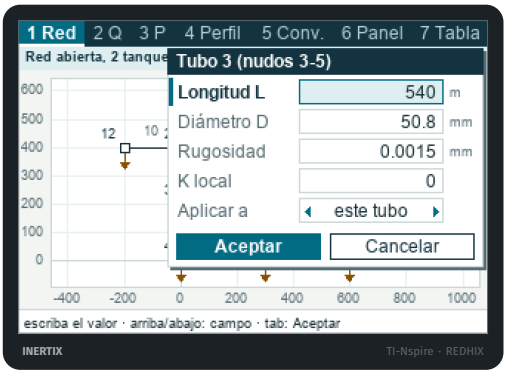
TECLAS

▶ ×4 **enter**

El nudo 1 está elegido; ▶ cuatro veces llega al nudo 5 y **enter** abre su formulario. Un nudo de consumo pide su cota de terreno y su demanda: 976 m y 3.2 L/s.

✔ **Debe verse:** Formulario «Nudo 5»: Tipo Nudo, Cota z = 976 m, Demanda = 3.2 L/s

3 Propiedades del tubo 3



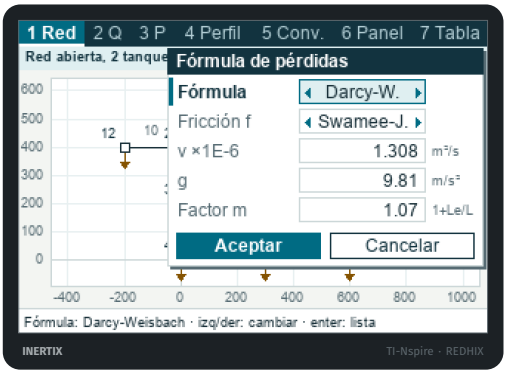
TECLAS

esc ▼ ×3 **enter**

esc cierra sin cambios y ▼ recorre los tubos. El tubo 3 une B con D: $L = 540$ m y $D = 50.8$ mm (2 pulg). Con Darcy-Weisbach pide la rugosidad; `Aplicar a` permite copiar la rugosidad y K a todos los tubos.

✔ **Debe verse:** «Tubo 3 (nudos 3-5)»: L = 540 m, D = 50.8 mm, rugosidad 0.0015 mm, K = 0

4 Fórmula de pérdidas



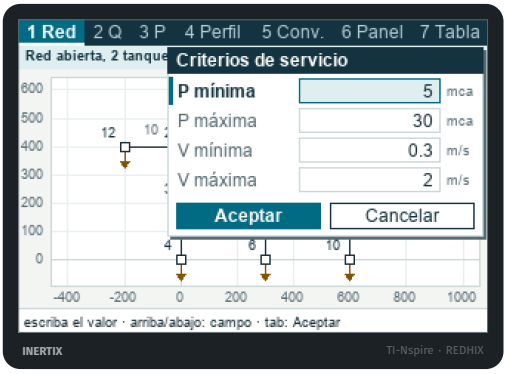
TECLAS

esc **menu** **Archivo** → `Fórmula`

menu **Archivo** → `Fórmula`: Darcy-Weisbach con f de Swamee-Jain, $\nu = 1.308 \times 10^{-6}$ m²/s (agua a 10 °C) y $m = 1.07$, que suma un 7 % de pérdidas locales a las de fricción.

✔ **Debe verse:** Darcy-Weisbach con Swamee-Jain, ν = 1.308 (×1E-6 m²/s), g = 9.81, m = 1.07

5 Criterios de servicio



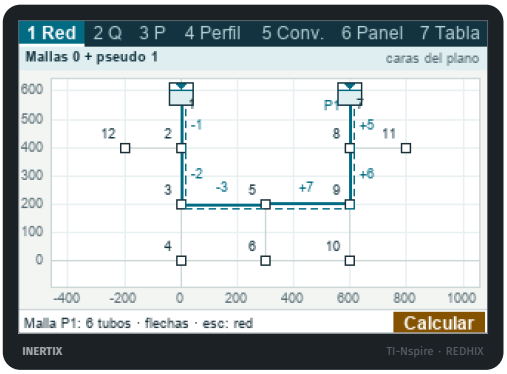
TECLAS

esc menu **Archivo** → `Criterios`

menu **Archivo** → `Criterios`: el ejercicio pide presiones entre 5 y 30 mca. Estos límites colorean las presiones.

✔ **Debe verse:** P mínima 5 y máxima 30 mca; V mínima 0.3 y máxima 2 m/s

6 Mallas de la red



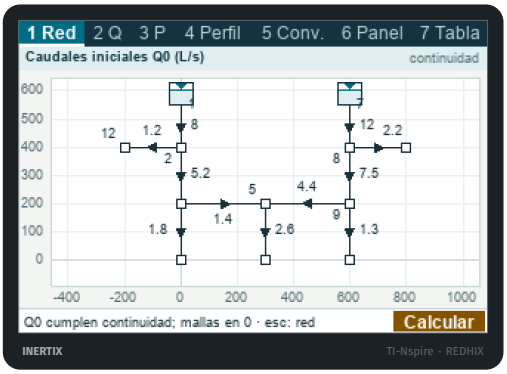
TECLAS

esc menu **Datos** → `Mallas`

menu **Datos** → `Mallas`. La red es abierta, pero tiene dos tanques: REDHIX forma una **pseudo-malla** P1 de T1 a T2 por los tubos 1, 2, 3, 7, 6 y 5, con $\Delta H = 1016 - 1000 = 16$ m. Los signos indican el sentido horario.

✔ **Debe verse:** Pseudo-malla P1 entre T1 y T2 con los signos de sus 6 tubos

7 Caudales iniciales



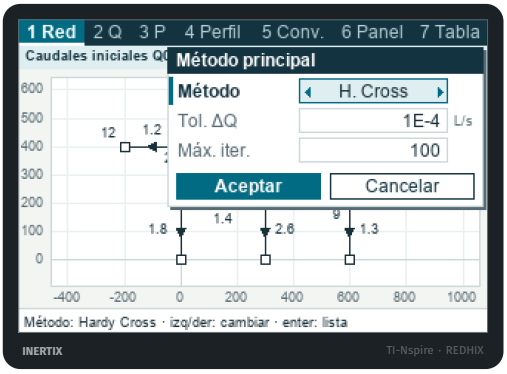
TECLAS

menu **Datos** → `Q inicial`

menu **Datos** → `Q inicial`: los caudales de partida ya cumplen la continuidad. T1 entrega el 40 % de la demanda (8 L/s) y T2 el 60 % (12 L/s), como en el ejercicio.

✔ **Debe verse:** Q0 de cada tubo (L/s), que ya cumplen la continuidad en todos los nudos

8 Método principal: Hardy Cross



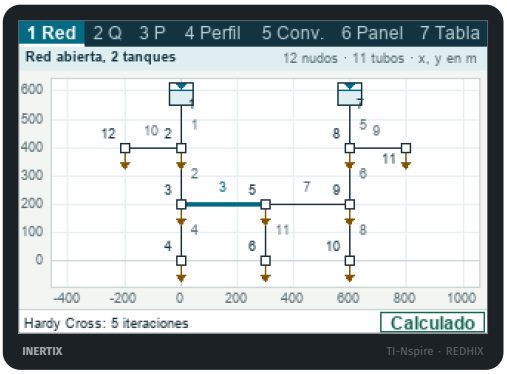
TECLAS

menu **Calcular** → `Método`

menu **Calcular** → `Método` elige qué método da los resultados y fija la tolerancia (1E-4 L/s) y el máximo de iteraciones. Los otros dos métodos se resuelven igual y sirven de comparación.

✔ **Debe verse:** Formulario «Método principal»: H. Cross, Tol. ΔQ = 1E-4 L/s, 100 iteraciones

9 Aceptar y resolver



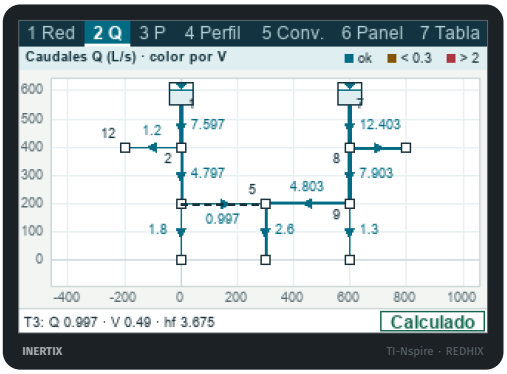
TECLAS

tab enter esc menu **Calcular** → `Resolver`

tab y enter aceptan; esc deja la vista de caudales iniciales y menu **Calcular** → `Resolver` calcula. Hardy Cross converge en **5 iteraciones**, igual que en el ejercicio.

✔ **Debe verse:** Insignia «Calculado» y «Hardy Cross: 5 iteraciones» en la barra inferior

10 Caudales



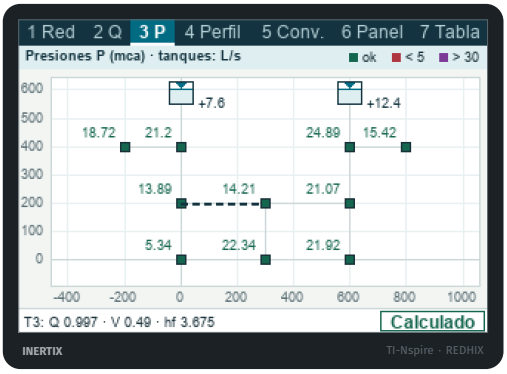
TECLAS

2

2: las flechas dan el sentido y el color indica la velocidad. T1 aporta **7.597 L/s** y T2 **12.403 L/s**; por el tubo 7, de G a D, pasan 4.803 L/s.

✔ **Debe verse:** Pestaña Q: flechas de sentido y color según V; T1 aporta 7.597 y T2 12.403 L/s

11 Presiones



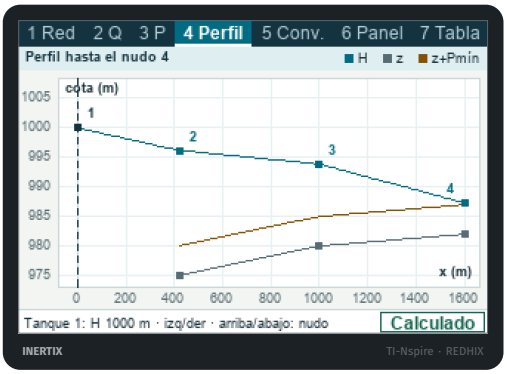
TECLAS

3

3: todos los nudos están en verde, entre 5 y 30 mca. En D la presión es **14.21 mca**; la más baja es la de C, 5.34 mca, apenas sobre el mínimo.

✔ **Debe verse:** Pestaña P: presión de cada nudo en verde (todas cumplen): D = 14.21, C = 5.34 mca

12 Perfil piezométrico



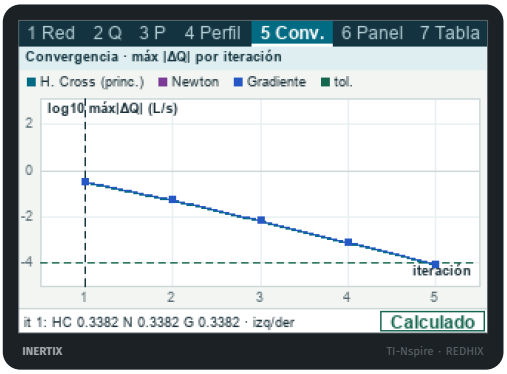
TECLAS

4

4 sigue el flujo desde T1 hasta el nudo final: la línea piezométrica baja de 1000 m, sobre el terreno y la línea $z + P_{\text{mín}}$. ▲ ▼ cambian de nudo final y ◄ ► mueven el cursor.

✔ **Debe verse:** Línea piezométrica H desde T1 (1000 m) hasta el nudo final, con el terreno y z + Pmín

13 Convergencia de los tres métodos



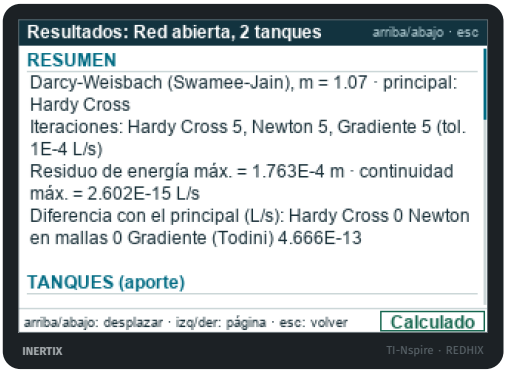
TECLAS

5

5: el máximo $|\Delta Q|$ de cada iteración en escala logarítmica. La primera corrección es **0.3382 L/s** en los tres métodos; con una sola malla los tres coinciden, por eso el principal va en trazo grueso y Newton discontinuo. Recorrer la gráfica no recalcula.

✔ **Debe verse:** Curvas de Hardy Cross, Newton y Gradiente en escala log; 1.ª corrección 0.3382 L/s

14 Tabla de resultados



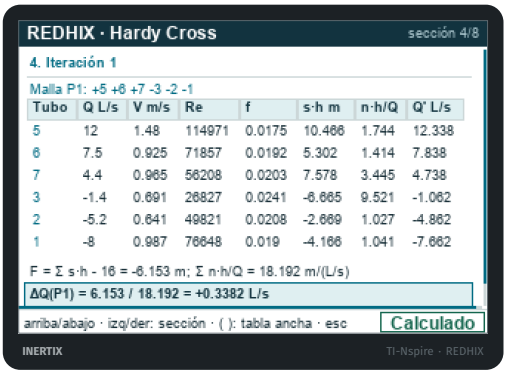
TECLAS

menu **Result.** → `Tablas`

menu **Result.** → `Tablas` abre el documento con el resumen (iteraciones, residuo de energía, diferencia entre métodos), los aportes y las tablas de nudos y tubos; se desplaza con las flechas.

✔ **Debe verse:** Documento de resultados: resumen, aportes, nudos y tubos

15 Procedimiento de Hardy Cross: iteración 1



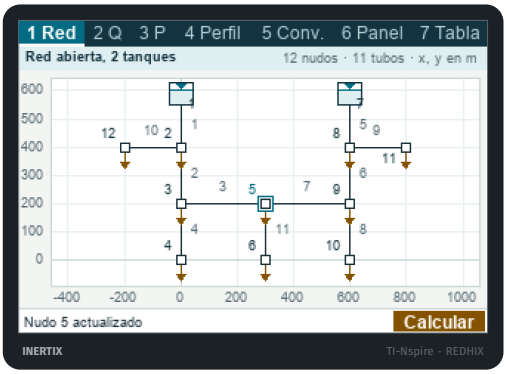
TECLAS

esc menu **Calcular** → `Procedim.` enter ▶ ×3

esc, menu **Calcular** → `Procedim.` y enter en `Hardy Cross: tabla por malla`. La sección 4 es la tabla del ejercicio: con $F = \sum s\,h - 16 = -6.153$ m y $\sum n\,h/Q = 18.192$, la corrección es $\Delta Q = +0.3382$ L/s y la columna Q' da los caudales de la iteración 2.

✔ **Debe verse:** «4. Iteración 1»: tabla Q, V, Re, f, s·h, n·h/Q de la malla P1; F = −6.153 m y Σ n·h/Q = 18.192

16 Variación: demanda de D = 6 L/s



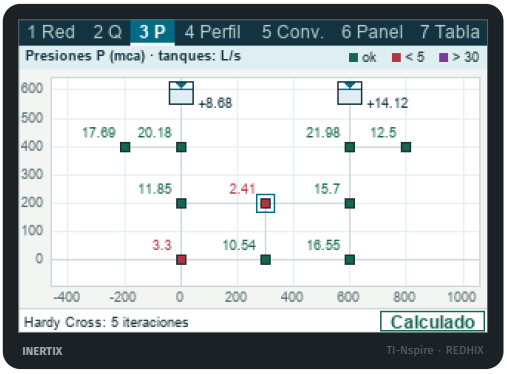
TECLAS

esc 1 ▶ ×5 enter ▼ ×2 6 enter tab enter

Cierre el procedimiento, vuelva a Red y llegue al nudo 5 con ▶ (desde el tubo 3, cinco veces). En el formulario baje a la demanda, escriba 6 y acepte: la insignia pasa a `Calcular`.

✔ **Debe verse:** Demanda de D = 6 L/s e insignia «Calcular»: los resultados quedan pendientes

17 Recalcular y ver las presiones



TECLAS

3 enter

3 pregunta si calcula; enter acepta. Los tanques aportan ahora 8.682 y 14.118 L/s, y **D (2.41 mca) y C (3.30 mca)** quedan en rojo, por debajo de 5 mca: esta demanda exige otros diámetros (caso OI-2).

✔ **Debe verse:** D = 2.41 y C = 3.30 mca en rojo (< 5 mca); tanques 8.682 y 14.118 L/s

5.4 Resultados

REDHIX coincide con la referencia

La primera corrección, el número de iteraciones, los aportes de los tanques y la presión en D coinciden con el ejercicio; la variación con $q_D = 6$ L/s coincide con EPANET 2.2. Las cifras son las mismas que en la guía HP (comparación sin diferencias).

Magnitud	Referencia	REDHIX	Estado
1.ª corrección de Hardy Cross ΔQ	+0.33819 L/s	+0.33821 L/s	Coincide
Iteraciones hasta $\lvert\Delta Q\rvert < 1E\text{-}4$ L/s	5	5	Coincide
Aporte de T1 (tubo 1)	7.597 L/s	7.597 L/s	Coincide
Aporte de T2 (tubo 5)	12.403 L/s	12.403 L/s	Coincide
Presión en D (nudo 5)	14.213 mca	14.214 mca	Coincide
Presión mínima: C (nudo 4)	≥ 5 mca	5.338 mca	Cumple
Variación con $q_D = 6$ L/s (demanda total 22.80 L/s)			
Aportes de T1 / T2	8.682 / 14.118 L/s	8.682 / 14.118 L/s	Coincide
Presiones en C / D	3.30 / 2.41 mca	3.303 / 2.413 mca	No cumple $P \geq 5$

Referencia del caso base: tablas del ejercicio; las presiones de los 10 nudos y las pérdidas de los 11 tubos difieren como máximo 0.0011 m. Referencia de la variación: EPANET 2.2. REDHIX marca en rojo los nudos que no cumplen el criterio.

Comprobación a mano

$$\sum s\,h = 10.466 + 5.302 + 7.578 - 6.665 - 2.669 - 4.166 = 9.846 \text{ m}$$

$$F = \sum s\,h - (H_{T2} - H_{T1}) = 9.846 - 16 = -6.153 \text{ m}$$

$$\Delta Q = -\frac{F}{\sum n\,h/Q} = \frac{6.153}{18.192} = +0.3382 \text{ L/s}$$

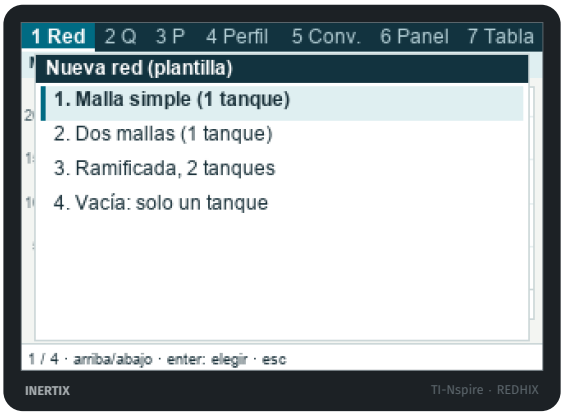
$$P_D = H_D - z_D = 990.214 - 976 = 14.214 \text{ mca}$$

6 Opciones importantes

Los casos siguientes son los mismos de la guía HP (OI-1 a OI-5) más uno propio de la TI-Nspire (OI-6). Cada paso indica sus teclas exactas desde el final del anterior. Los ejemplos de menu **Archivo** → `Ejemplos` y las plantillas de menu **Archivo** → `Nuevo` se eligen con la cifra y **reemplazan la red** en uso.



menu **Archivo** → `Ejemplos`.

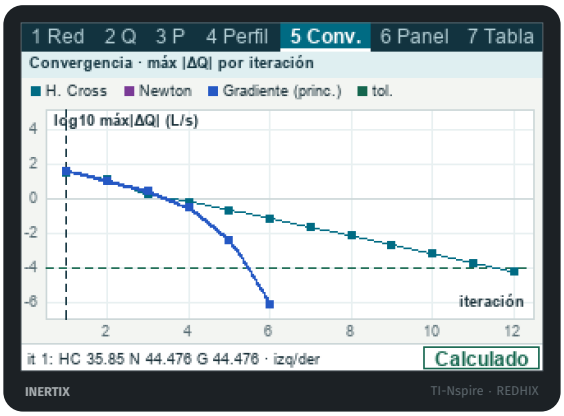


menu **Archivo** → `Nuevo`: plantillas.

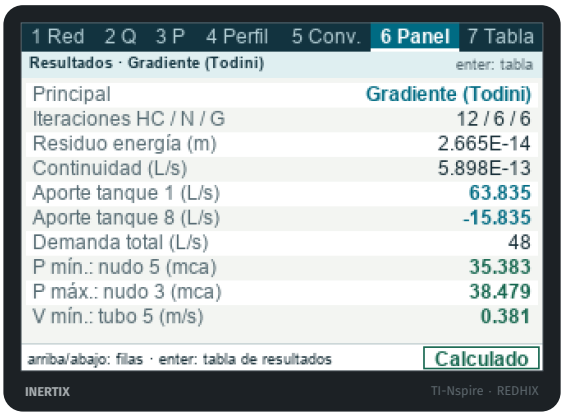
6.1 OI-1 · Red mallada con Hazen-Williams y comparación de los métodos

Objetivo. Resolver una red con mallas reales y ver en qué se diferencian los tres métodos. **Datos.** `Red mallada, 2 tanques (H-W)`: 8 nudos y 9 tubos, Hazen-Williams con $C = 140$, T1 con $H = 120$ m y T2 con $H = 112$ m, demanda total de 48 L/s y el **Gradiente** como método principal.

1. **Cargar la red mallada.** menu **Archivo** → `Ejemplos` y 3.
   menu **Archivo** → `Ejemplos` 3
2. **Ver las mallas.** menu **Datos** → `Mallas`: dos mallas reales (I y II) y la pseudo-malla P1 entre los tanques.
   menu **Datos** → `Mallas`
3. **Resolver (principal: Gradiente).** esc y menu **Calcular** → `Resolver`: el Gradiente converge en 6 iteraciones.
   esc menu **Calcular** → `Resolver`
4. **Presiones y aportes.** 3: todas las presiones sobre 10 mca; T2 **recibe** agua.
   3
5. **Convergencia de los tres métodos.** 5: las tres curvas de $|\Delta Q|$.
   5
6. **Panel de resultados.** 6: el Panel resume iteraciones, aportes y diferencias entre métodos.
   6



Convergencia: Hardy Cross tarda el doble.



Panel de resultados.

Resultado	REDHIX
Aportes de T1 / T2	+63.835 / -15.835 L/s (T2 se llena)
Presiones	de 35.38 mca (nudo 5) a 38.48 mca: todas cumplen
Iteraciones	Hardy Cross 12, Newton 6, Gradiente 6
Diferencia con el principal	Hardy Cross 2.5E-5 L/s; Newton 3.6E-13 L/s

Lectura. Con dos mallas acopladas, Hardy Cross corrige una malla sin tener en cuenta a la vecina y necesita el doble de iteraciones; Newton y el Gradiente corrigen todo a la vez. Los tres llegan a los mismos caudales dentro de la tolerancia. Un aporte negativo indica que el nivel de T2 está por debajo de la piezométrica que le llega.

6.2 OI-2 · Diseñar diámetros y aplicarlos

Objetivo. Corregir una red que no cumple la presión mínima con los diámetros comerciales de menu **Calcular** → `Diseño D`. **Datos.** `Red abierta, qD = 6 L/s`, velocidad de diseño $V = 1$ m/s y catálogo en pulgadas.

1. **Cargar y resolver qD = 6 L/s.** menu **Archivo** → `Ejemplos`, 2 y resolver: C y D quedan bajo 5 mca.

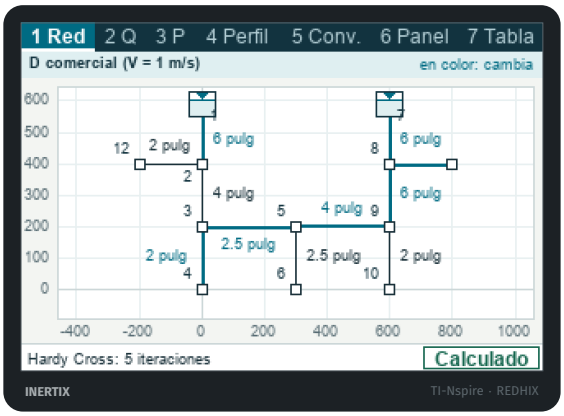
   menu **Archivo** → `Ejemplos` 2 menu **Calcular** → `Resolver`
2. **Diseño D: V = 1 m/s, pulgadas.** menu **Calcular** → `Diseño D`: V de diseño y catálogo.

   menu **Calcular** → `Diseño D`
3. **Aceptar: diámetros comerciales.** tab y enter: la vista Red muestra el diámetro comercial de cada tubo; en color, los que cambian.

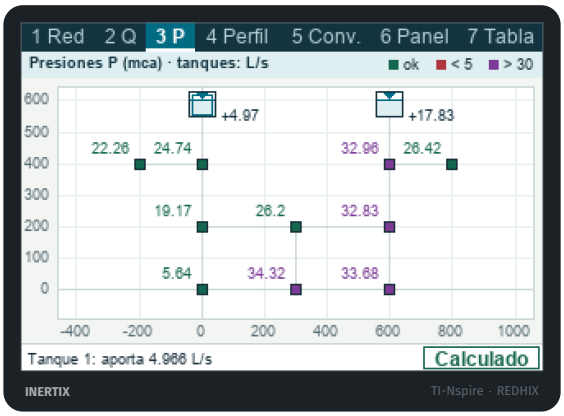
   tab enter
4. **Aplicar los diámetros.** enter y enter confirman: `Diámetros aplicados: Calcular > Resolver.`

   enter ×2
5. **Recalcular y revisar las presiones.** Resuelva y pulse 3.

   menu **Calcular** → `Resolver` 3



Diámetros comerciales para $V = 1$ m/s.



Presiones con los diámetros nuevos.

Tubo	Q (L/s)	D teórico (mm)	D antes	D comercial	V (m/s)
1	8.682	105.14	4 pulg	6 pulg (152.4)	0.476
3	2.082	51.49	2 pulg	2.5 pulg (63.5)	0.658
5	14.118	134.07	4 pulg	6 pulg (152.4)	0.774
7	6.518	91.10	3 pulg	4 pulg (101.6)	0.804

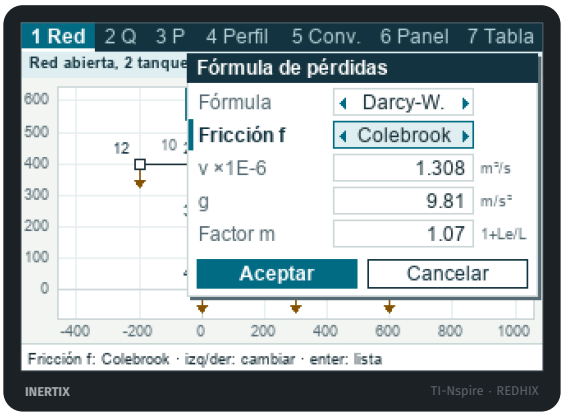
Comprobación del tubo 1: $D = \sqrt{4Q/(\pi V)} = \sqrt{4 \times 0.008682/\pi} = 0.10514$ m; el siguiente diámetro del catálogo es 6 pulg y $V = 4Q/(\pi D^2) = 0.476$ m/s. Cambian los tubos 1, 3, 5, 6, 7 y 9, que crecen, y el 4, que baja de 2.25 a 2 pulg; los otros cuatro ya tenían el diámetro de diseño.

Lectura. Con los diámetros nuevos, C sube a 5.64 mca y D a 26.20 mca: ya cumplen el mínimo. Pero las pérdidas bajan tanto que los nudos 6, 8, 9 y 10 pasan de 30 mca (hasta 34.32 en el 6) y los tubos 1 y 2 quedan bajo 0.3 m/s. El diseño por velocidad es un punto de partida: revise las presiones después de aplicarlo y ajuste a mano los tubos que sobran.

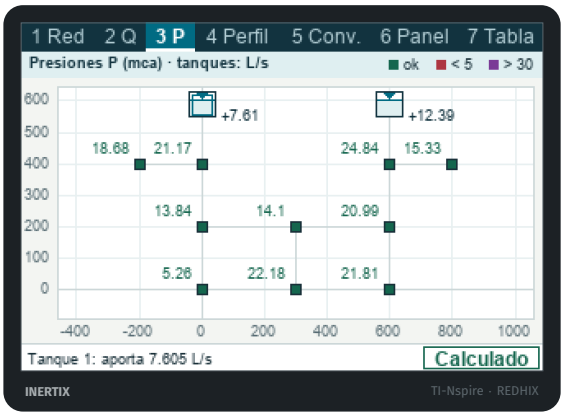
6.3 OI-3 · Colebrook frente a Swamee-Jain

Objetivo. Ver cuánto cambia el resultado al calcular f con Colebrook en lugar de la aproximación explícita de Swamee-Jain. **Datos.** El ejemplo guiado, con la fricción del enunciado (Swamee-Jain) y luego con Colebrook.

1. **Ejemplo 1 resuelto con Swamee-Jain.** menu **Archivo** → `Ejemplos`, 1 y resolver.
   menu **Archivo** → `Ejemplos` 1 menu **Calcular** → `Resolver`
2. **Fórmula: f por Colebrook.** menu **Archivo** → `Fórmula`, ▼ a `Fricción f` y ◀: `Colebrook`.
   menu **Archivo** → `Fórmula` ▼ ◀
3. **Aceptar: resultados pendientes.** tab y enter: la insignia vuelve a `Calcular`.
   tab enter
4. **Resolver y ver las presiones.** Resuelva y pulse 3.
   menu **Calcular** → `Resolver` 3



Fórmula con Colebrook.



Presiones con Colebrook.

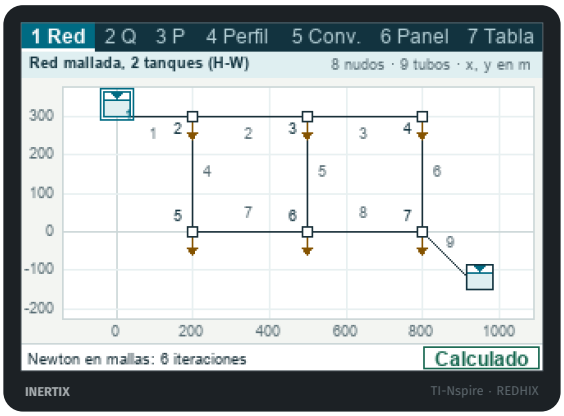
Magnitud	Swamee-Jain	Colebrook	Diferencia
Aportes de T1 / T2 (L/s)	7.597 / 12.403	7.605 / 12.395	0.008 L/s
Presión en C (mca)	5.338	5.258	-0.080
Presión en D (mca)	14.214	14.102	-0.112
h_f del tubo 5 (m)	11.107	11.165	+0.5 %

Lectura. En PVC liso, Swamee-Jain da un f algo menor que Colebrook; las diferencias son de décimas de mca. Use Colebrook para la referencia exacta y Swamee-Jain para reproducir un ejercicio resuelto con ella.

6.4 OI-4 · Newton como método principal y su procedimiento

Objetivo. Elegir otro método principal y leer cómo plantea la iteración. **Datos.** La red mallada de OI-1 con `Newton` como método principal.

1. **Red mallada: método Newton.** menu **Archivo** → `Ejemplos`, 3, menu **Calcular** → `Método` y ◀: `Newton`.
   menu **Archivo** → `Ejemplos` 3 menu **Calcular** → `Método` ◀
2. **Aceptar y resolver.** tab, enter y resolver: `Newton en mallas: 6 iteraciones.`
   tab enter menu **Calcular** → `Resolver`
3. **Procedimiento de Newton.** menu **Calcular** → `Procedim.`, ▼ y enter: `Newton en mallas.`
   menu **Calcular** → `Procedim.` ▼ enter
4. **Iteración 1: J y F.** ▶: sección `Iteración 1: J y F.`
   ▶



Newton como principal.



Matriz J, vector F y ΔQ de la iteración 1.

Lectura. J es simétrica de 3×3 (mallas I, II y P1): en la diagonal, $\sum n\,h/Q$ de cada malla; fuera de ella, los tubos que comparten dos mallas. Las correcciones máximas de Newton son 44.48, 11.36, 2.70, 0.311 y 0.0043 L/s: convergencia cuadrática. Hardy Cross usa solo la diagonal y necesita 12 iteraciones. Si la red es ramificada con un solo tanque, no hay mallas y Newton no aplica (la lista lo avisa).

6.5 OI-5 · Editar un tubo: dato no válido, recálculo y perfil

Objetivo. Cambiar un diámetro, ver cómo REDHIX rechaza un dato fuera de rango y comprobar el efecto. **Datos.** Plantilla `Malla simple (1 tanque)`: tanque de 60 m, 4 nudos con 40 L/s en total y 5 tubos de PVC (Colebrook, criterios de 10 a 50 mca). El tubo 3 (nudos 3-4, 200 m) pasa de 100 a 150 mm; primero se escribe, por error, 5 mm.

1. **Plantilla «Malla simple (1 tanque)».** menu **Archivo** → `Nuevo` y 1.
   menu **Archivo** → `Nuevo` 1
2. **Resolver.** Resuelva: presiones de 39.07 a 41.72 mca.
   menu **Calcular** → `Resolver`
3. **Propiedades del tubo 3.** ▼ tres veces elige el tubo 3; enter abre sus propiedades.
   ▼ ×3 enter
4. **Dato no válido: D = 5 mm.** ▼, escriba 5, enter, tab y enter: `Diámetro fuera de rango: use mm (10 a 3000)`. El formulario sigue abierto.
   ▼ 5 enter tab enter
5. **Corregir: D = 150 mm.** enter cierra el aviso con el foco en `Aceptar`; ▲ cuatro veces vuelve a D: escriba 150 y acepte.
   enter ▲ ×4 1 5 0 enter tab enter
6. **Recalcular y ver el perfil.** Resuelva y pulse 4: perfil piezométrico.
   menu **Calcular** → `Resolver` 4
7. **Tabla de tubos.** 7 y t: la tabla de tubos con el tubo 3 de 150 mm y sus resultados.
   7 t



Dato fuera de rango: el formulario sigue abierto.

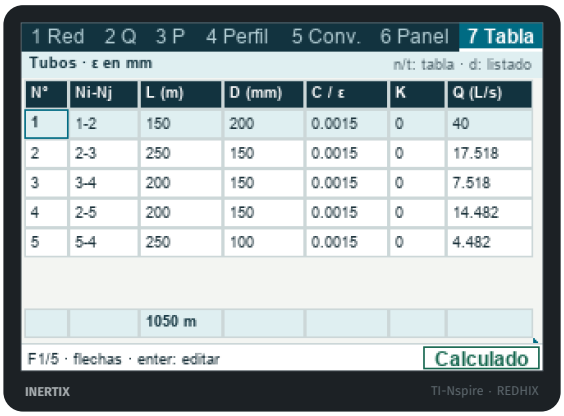


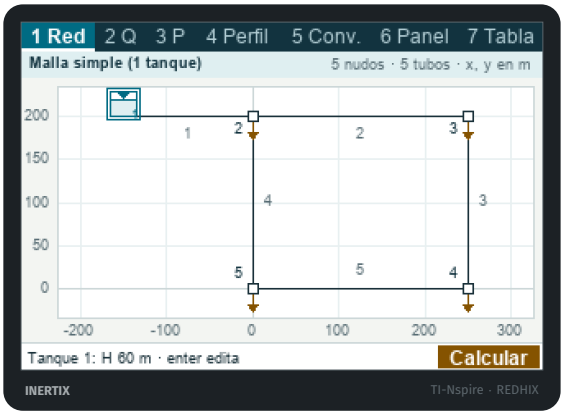
Tabla de tubos tras recalcular.

Lectura. El tubo más grueso lleva menos pérdida, así que el nudo 4 sube de 41.72 a 42.43 mca. El caudal se reparte de otra forma en la malla: la velocidad del tubo 3 baja de 0.77 a 0.43 m/s y la del tubo 5, de 0.76 a 0.57 m/s. En una red mallada, cambiar un tubo cambia todos los caudales de su malla: por eso hay que recalcular.

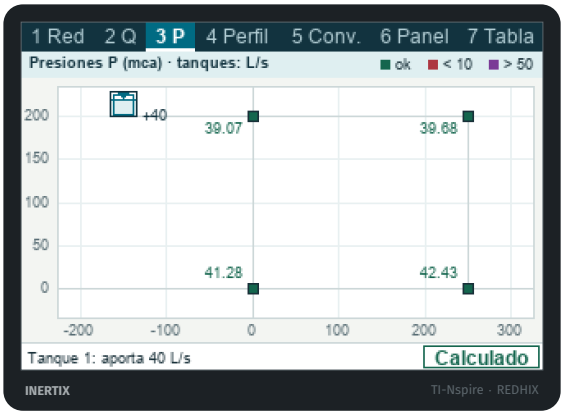
6.6 OI-6 · Guardar y abrir el documento

Objetivo. Comprobar qué conserva el documento. Solo TI-Nspire: en la HP Prime la red queda en la memoria del programa. **Datos.** El estado final de OI-5.

1. **Guardar.** ctrl + S guarda el documento: red, fórmula, criterios, método y diseño, no los resultados.
   (ctrl+S: guardar el documento)
2. **Abrir.** Al abrir el documento, la red es la misma (tubo 3 de 150 mm) y los resultados quedan pendientes.
   (abrir el .tns: on.restore)
3. **Recalcular.** menu **Calcular** → `Resolver` y 3: las mismas presiones que antes de guardar.
   menu **Calcular** → `Resolver` 3



Documento abierto: resultados pendientes.



Recalculado: mismas presiones.

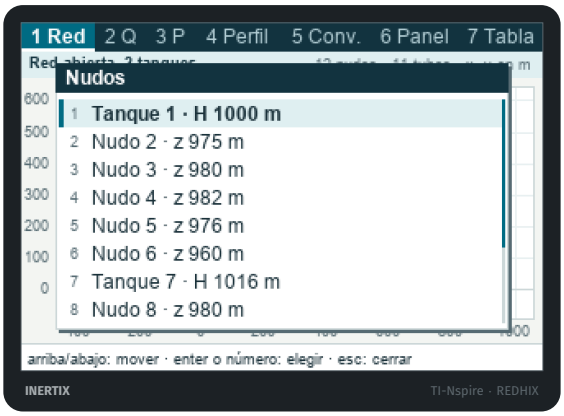
7 Referencia de menús y opciones

7.1 Archivo

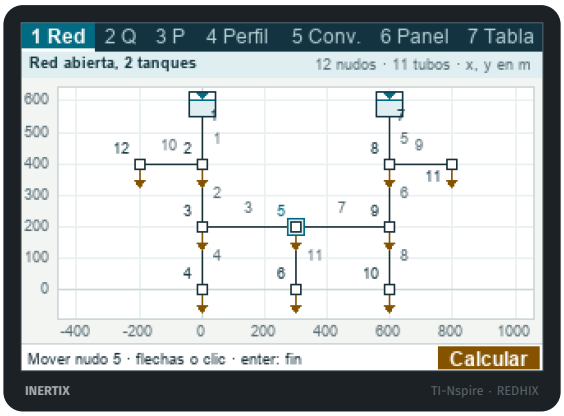
Orden	Qué hace
Nuevo	Plantillas (la cifra elige): «Malla simple (1 tanque)», «Dos mallas (1 tanque)», «Ramificada, 2 tanques» y «Vacía: solo un tanque». Usan Darcy-Weisbach con Colebrook, PVC y criterios de 10 a 50 mca. Reemplazan la red.
Ejemplos	«Red abierta, 2 tanques», «Red abierta, qD = 6 L/s» y «Red mallada, 2 tanques (H-W)».
Fórmula	Darcy-Weisbach (fricción por Colebrook o Swamee-Jain, ν, g) o Hazen-Williams (g), y el factor $m = 1 + L_e/L$ (1 a 2).
Criterios	$P_{\text{mín}}$, $P_{\text{máx}}$ (mca), $V_{\text{mín}}$, $V_{\text{máx}}$ (m/s).
Ayuda	Documento desplazable con teclas, comandos, convenios, límites, guardado y las secciones técnicas.
Licencia	Solo en las ediciones con licencia: estado, ID del equipo y control para soporte.

7.2 Red

Orden	Qué hace
Selec.	Lista de nudos y tanques o de tubos; la cifra o enter elige.
Nudo	Nudo nuevo por coordenadas; con un tubo elegido, también dividirlo en su punto medio.
Tanque	Tanque nuevo; con un nudo elegido, también convertirlo (pide confirmar).
Tubo	Tubo nuevo entre dos nudos; L = distancia del dibujo (editable).
Mover	Mueve el nudo elegido por la rejilla con las flechas o con un clic.
Borrar	Borra lo elegido, tras confirmar. Al borrar un nudo se renumeran los siguientes.



menu **Red** → `Selec.`: lista de nudos.



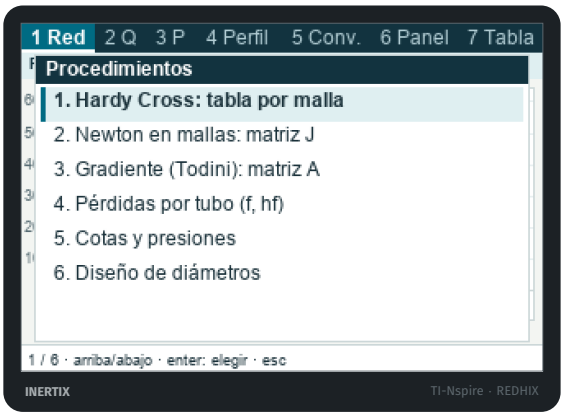
Mover el nudo 5.

7.3 Datos

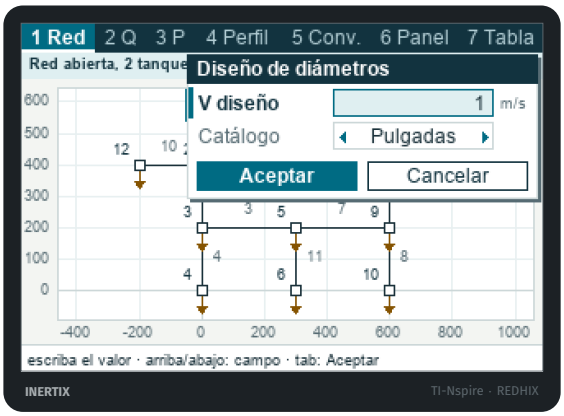
Orden	Qué hace
Propied.	Formulario del nudo, tanque o tubo elegido.
Mallas	Mallas y pseudo-mallas numeradas con sus signos; las flechas las recorren, esc vuelve.
Q inicial	Caudales de partida (árbol desde el tanque 1 más el aporte inicial de cada tanque).
Tabla	Pestaña Tabla: nudos y tubos editables; d abre el listado de datos.

7.4 Calcular

Orden	Qué hace
Resolver	Valida los datos y resuelve por los tres métodos. Los errores dicen el elemento y el dato.
Método	Método principal (Hardy Cross, Newton en mallas o Gradiente), tolerancia de ΔQ (L/s) y máximo de iteraciones.
Procedim.	Hardy Cross (tabla por malla), Newton (matriz J), Gradiente (matriz A), pérdidas por tubo, cotas y presiones, y diseño de diámetros. La lista avisa de los que no aplican.
Diseño D	Velocidad de diseño y catálogo (pulgadas o PVC mm); muestra los diámetros comerciales en la vista Red y enter los aplica, tras confirmar.



menu **Calcular** → `Procedim.`



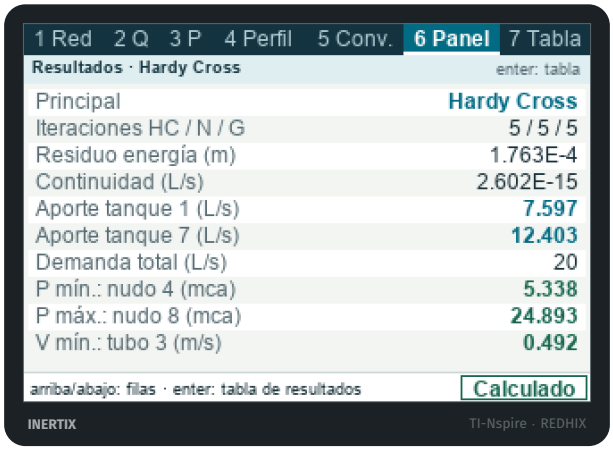
menu **Calcular** → `Diseño D.`

7.5 Result.

Orden	Qué hace
Caudales	Pestaña Q: flechas de sentido y color según V.
Presiones	Pestaña P: presión por nudo en color según el criterio y aporte de cada tanque.
Perfil	Pestaña Perfil: H, terreno y $z + P_{\text{mín}}$ hasta un nudo final, con cursor.
Converg.	Pestaña Conv.: máximo $\lvert\Delta Q\rvert$ por iteración de los tres métodos (escala log).
Tablas	Documento con resumen, aportes y tablas completas de tubos y nudos.

La pestaña `6 Panel`, propia de la TI-Nspire, reúne en una lista el método, las iteraciones, los residuos, los aportes, las presiones y velocidades extremas con su nudo o tubo y los nudos fuera de

criterio.



Panel del ejemplo 1.

8 Fundamento teórico breve

8.1 Ecuaciones de la red

$$\sum Q_{\text{entra}} - \sum Q_{\text{sale}} = q_k \quad \text{(cada nudo)}, \qquad \sum s\,h = \Delta H \quad \text{(cada malla)} \tag{1}$$

Donde: $s = \pm 1$ según el sentido del tubo en la malla; $\Delta H = 0$ en una malla y $\Delta H = H_k - H_1$ en la pseudo-malla que une el tanque k con el tanque 1. Con n nudos y m tubos hay $m - n + 1$ mallas y (tanques -1) pseudo-mallas.

8.2 Pérdidas de carga

$$h = m\, f\, \frac{L}{D}\,\frac{V^2}{2g} + K\,\frac{V^2}{2g}, \qquad V = \frac{4Q}{\pi D^2}, \qquad \text{Re} = \frac{V D}{\nu} \tag{2}$$

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

$$\text{Hazen-Williams: } h = m\,\frac{10.67\,L\,Q^{1.852}}{C^{1.852}\,D^{4.87}} + K\,\frac{V^2}{2g} \tag{4}$$

Donde: $m = 1 + L_e/L$ factor de pérdidas locales; laminar ($\text{Re} < 2000$): $f = 64/\text{Re}$; de 2000 a 4000 se interpola. El exponente es $n = 2$ en Darcy-Weisbach y $n = 1.852$ en Hazen-Williams.

8.3 Métodos de solución

$$\text{Hardy Cross: } \Delta Q = -\frac{\sum s\,h - \Delta H}{\sum n\,h/Q} \qquad \text{Newton: } \mathbf{J}\,\Delta\mathbf{Q} = -\mathbf{F} \tag{5}$$

Donde: Hardy Cross corrige las mallas una tras otra; Newton corrige todas a la vez con la matriz $J_{lk} = \sum_p s_{lp}\, s_{kp}\, (n\,h/Q)_p$, sumada sobre los tubos p. Hardy Cross es Newton sin los términos fuera de la diagonal (OI-4).

$$\text{Gradiente: } Q' = Q - y + g\,(H_a - H_b), \qquad g = \frac{1}{dh/dQ}, \qquad y = \frac{h}{dh/dQ} \tag{6}$$

Donde: Las incógnitas son las cotas H de los nudos (los tanques las fijan); la continuidad en cada nudo con los Q' linealizados da el sistema $\mathbf{A}\,\mathbf{H} = \mathbf{b}$ (Todini y Pilati, 1987; algoritmo de EPANET).

8.4 Cotas, presiones y diseño

$$H_{\text{hijo}} = H_{\text{padre}} - s\,h, \qquad P = H - z, \qquad D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_d}} \tag{7}$$

Donde: Las cotas se propagan desde el tanque 1; V_d velocidad de diseño; se elige el diámetro comercial inmediato superior y se verifica $V = 4Q/(\pi D^2)$.

9 Preguntas frecuentes

¿Por qué la insignia dice `Calcular` después de cambiar un dato?

Cualquier edición deja los resultados pendientes para no mostrar valores que ya no corresponden. Haga clic en la insignia o use menu **Calcular** → `Resolver`.

¿Cómo creo una red nueva?

menu **Archivo** → `Nuevo` y una plantilla. Con `Vacía: solo un tanque` se agregan nudos y tubos con menu **Red** → `Nudo` y menu **Red** → `Tubo`, o en la pestaña Tabla con +.

¿Qué significa un aporte negativo en un tanque?

Que el tanque recibe agua de la red: su nivel es más bajo que la piezométrica que le llega (OI-1).

¿Influye el «Aporte ini.» de los tanques en el resultado?

No: solo reparte los caudales iniciales. La solución es la misma; cambia el número de iteraciones.

Apliqué los diámetros de diseño y ahora hay presiones por encima del máximo.

El diseño elige el diámetro por velocidad, no por presión: al bajar las pérdidas, los nudos bajos suben de presión (OI-2).

¿Colebrook o Swamee-Jain?

Colebrook es la ecuación de referencia (iterativa); Swamee-Jain es su aproximación explícita. En redes de PVC la diferencia es de décimas de mca (OI-3).

¿Por qué Newton no aplica en mi red?

Si la red es ramificada y tiene un solo tanque, no hay mallas ni pseudo-mallas: los caudales salen del árbol. Con dos o más tanques sí aplica, por la pseudo-malla.

¿Se guardan los resultados en el documento?

No: se guardan la red, la fórmula, los criterios, el método y el diseño. Al abrir el documento, calcule de nuevo (OI-6).

¿Funciona en el software de computadora?

La licencia se activa solo en una calculadora TI-Nspire (CX y CX II): en el software de computadora el programa muestra la pantalla de licencia y no calcula (ver el capítulo de licencia).