INERTIX

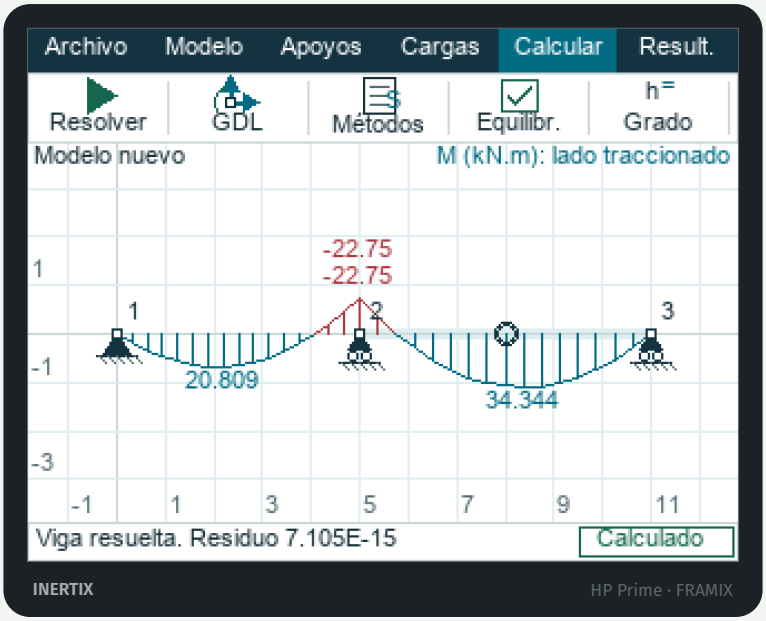
Programas de ingeniería civil para HP Prime

GUÍA DE USO

FRAMIX

Análisis estructural 2D: vigas, pórticos y armaduras

Versión 2026.10 **HP Prime G1 · G2** Estructuras · 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 . . . 5

3. Licencia de uso **6**

4. La interfaz **7**
4.1. Teclas . . . 7
4.2. Formularios y resultados pendientes . . . 8

5. Ejemplo guiado **9**
5.1. Enunciado . . . 9
5.2. Datos . . . 9
5.3. Paso a paso . . . 9
5.4. Resultados . . . 15
5.5. Opciones importantes . . . 17

6. Referencia de menús y opciones **22**
6.1. 1 · Archivo . . . 22
6.2. 2 · Modelo . . . 23
6.3. 3 · Apoyos . . . 24
6.4. 4 · Cargas . . . 24
6.5. 5 · Calcular . . . 25
6.6. 6 · Result. . . . 26

7. Fundamento teórico breve **27**
7.1. Rigidez directa . . . 27
7.2. Acciones indirectas . . . 27
7.3. Métodos clásicos . . . 27

8. Preguntas frecuentes **29**

1 Presentación y alcance

FRAMIX analiza estructuras planas de barras —vigas continuas, pórticos y armaduras— en la calculadora HP Prime. El modelo se dibuja sobre una rejilla, se le asignan apoyos y cargas, y el programa da la deformada, los diagramas de axil, cortante y momento, las reacciones y una tabla completa. Además desarrolla la solución paso a paso por trece métodos de la asignatura de análisis estructural, de modo que el estudiante puede comparar su procedimiento con el de la calculadora.

1.1 Qué calcula

- Desplazamientos, giros, reacciones y esfuerzos (N, V, M) por el método de rigidez directa.
- Apoyos fijos, móviles e inclinados, empotramientos, guiados, resortes lineales y de giro; rótulas en nudos y en extremos de barra.
- Barras rectas y **barras curvas**: arcos parabólicos y circulares, con inercia constante o $I_c/\cos\varphi$ y con o sin deformación axial (2 **Modelo** Arco y la plantilla `Arco`).
- Tres tipos de barra recta: **pórtico** (axil y flexión), **armadura** (solo axil, EA/L) y **barra-resorte** entre dos nudos (solo axil, con su rigidez k en lugar de EA/L).
- Cargas en nudos y en barras: puntuales (con ángulo, perpendiculares o axiales), momentos y distribuidas lineales (uniformes, triangulares o trapeciales, totales o parciales) de cinco tipos: perpendicular, vertical por metro de barra, vertical por metro de proyección horizontal, horizontal por metro de proyección vertical y axial.
- Acciones indirectas: variación de temperatura (uniforme y gradiente), error de fabricación, desajuste de montaje y movimientos de apoyo (asentamientos y giros).
- Grado de hiperestaticidad, numeración de grados de libertad y comprobación del equilibrio global.
- Procedimientos por método: matricial de rigidez, restricciones cinemáticas, nudos, secciones, cortes, trabajo virtual, Castigliano, flexibilidades, pendiente-deflexión, Cross, tres momentos, área-momento y doble integración.

1.2 Unidades y convenciones

Por defecto FRAMIX trabaja en kN y m. La tabla da esas unidades y los convenios de signo, que no cambian con el sistema de unidades.

Magnitud	Unidad (kN, m) y signo
Longitud, desplazamiento	m; X a la derecha, Y hacia arriba
Giro	rad; antihorario positivo
Fuerza, momento	kN, kN·m; momento en nudo antihorario positivo
Módulo E / área / inercia	kN/m^2 / m^2 / m^4
Temperatura	°C; coeficiente α en 1/°C
Axil N	Tracción positiva
Momento M	Positivo si tracciona la fibra inferior (lado $-y$ local); se dibuja del lado traccionado
Distribuidas	Tipo 1 hacia $-y$ local; 2 y 3 hacia abajo; 5 hacia $+x$; 4 (axial) hacia el nudo j

Otros sistemas de unidades

2 Modelo Unid. elige el sistema con el que se **rotulan** formularios, diagramas, tabla y procedimientos. Solo cambia las etiquetas: **no convierte ningún valor**. El cálculo es válido en cualquiera de ellos siempre que *todos* los datos estén en el mismo sistema.

Sistema	Fuerza, long.	Momento, carga	E / área / inercia, temperatura
kN, m (SI)	kN, m	kN·m, kN/m	kN/m^2 / m^2 / m^4, °C
N, mm (SI)	N, mm	N·mm, N/mm	MPa / mm^2 / mm^4, °C
tf, m (MKS)	tf, m	tf·m, tf/m	tf/m^2 / m^2 / m^4, °C
kgf, cm (MKS)	kgf, cm	kgf·cm, kgf/cm	kgf/cm^2 / cm^2 / cm^4, °C
kip, pie (EE. UU.)	kip, pie	kip·pie, kip/pie	ksf / pie^2 / pie^4, °F
kip, plg (EE. UU.)	kip, plg	kip·plg, kip/plg	ksi / plg^2 / plg^4, °F
lb, plg (EE. UU.)	lb, plg	lb·plg, lb/plg	psi / plg^2 / plg^4, °F

⚠ Solo etiquetas

Al cambiar de sistema los números no se tocan y los resultados no quedan pendientes. Por ejemplo, la sección de fábrica (E = 2 × 10^8) seguirá valiendo 2 × 10^8, ahora rotulado en ksi: escriba de nuevo E, A, I, coordenadas y cargas en el sistema elegido. Los diez ejemplos están en kN y m, y al cargar uno el sistema vuelve a kN, m. Cada ranura de 1 Archivo Guardar conserva su sistema.

1.3 Límites y fuera de alcance

⚠ Fuera de alcance

- Análisis **lineal elástico de primer orden** en el plano: no hay pandeo, efecto P-Δ, dinámica ni plasticidad.
- FRAMIX analiza; **no diseña** ni verifica secciones según una norma.
- Las distribuidas son lineales por tramo; no se admiten leyes de carga arbitrarias $q(x)$.
- **No convierte unidades**: el sistema elegido solo cambia las etiquetas. Hasta 40 nudos, 60 barras, 20 secciones y 8 ranuras de guardado.
- Los métodos manuales solo se ofrecen donde tienen sentido (por ejemplo, nudos y secciones solo para armaduras; tres momentos, área-momento y doble integración solo para vigas). Cross y pendiente-deflexión no se ofrecen con barras-resorte (suponen barras inextensibles).
- La barra-resorte no admite cargas de barra (puntuales, distribuidas, térmicas, fabricación ni montaje): cargue sus nudos.

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: `FRAMIX.hpappdir`;
- el archivo de licencia: `LIC_FRAMIX.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 `FRAMIX.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*. FRAMIX aparece allí con su icono.
5. Toque el icono de FRAMIX 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

FRAMIX 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 FRAMIX 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: `FRAMIX.hpappdir`;
   - el archivo de licencia: `LIC_FRAMIX.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 FRAMIX 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.

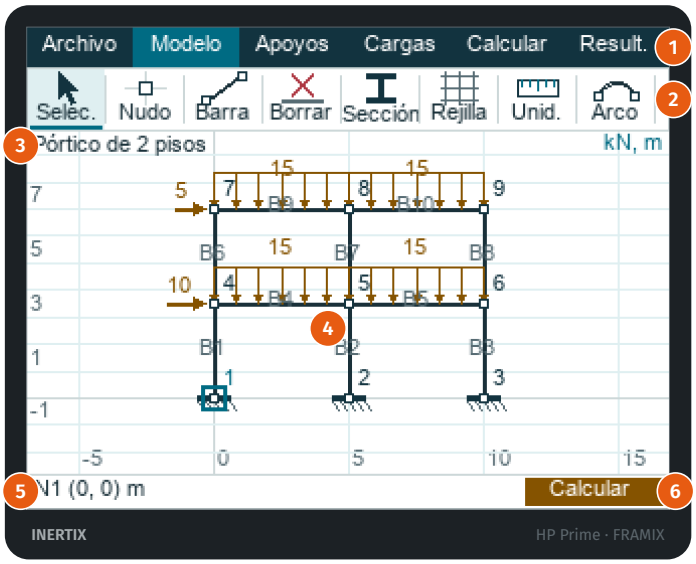
No modifique el contenido del archivo de licencia. Si el problema persiste, escriba al asistente técnico o directamente a Ing. Carlos Paredes Aguilar (+591 73842694) o a Ing. Samuel Huarachi Flores (+591 63562947).

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, FRAMIX muestra el ejemplo `Pórtico de 2 pisos` sin calcular. Si ya se usó antes, conserva el último modelo. La pantalla tiene siempre las mismas zonas.



1. **Barra de menú.** Seis categorías; se abren con 1 a 6 o tocándolas.
2. **Cinta.** Órdenes y herramientas de la categoría activa.
3. **Rótulo.** Nombre del modelo y, a la derecha, el sistema de unidades o la vista activa con sus unidades.
4. **Lienzo.** Rejilla con cotas, modelo, cargas y diagramas.
5. **Línea de estado.** Objeto elegido, valores en un punto y mensajes.
6. **Botón de cálculo.** `Calcular` (ámbar) si hay cambios; `Calculado` si todo está al día.

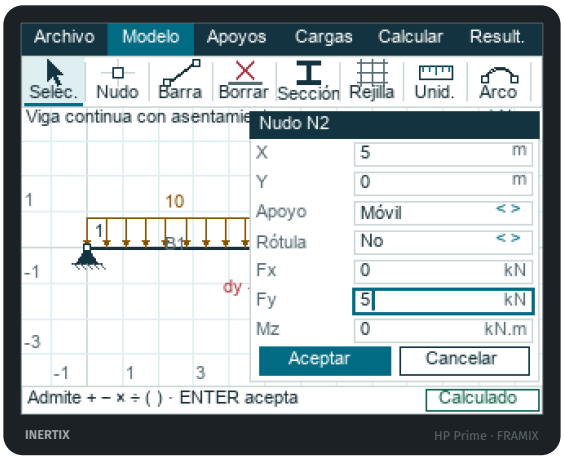
4.1 Teclas

Tecla	Dónde	Acción
1 … 6	Siempre	Abre la categoría y resalta su primera orden.
◄ ►	Cinta	Elige la orden (al final pasa a la categoría vecina).
Enter	Cinta	Activa la orden o la herramienta resaltada.
Flechas	Nudo, Barra	Mueven el cursor de dibujo un paso de rejilla.
Enter	Nudo, Barra	Pone un nudo o el extremo de una barra; las barras se encadenan.
◄ ►	Otras herramientas	Recorren los nudos o las barras.
▲ ▼	Otras herramientas	Cambian entre nudos y barras.
Enter	Otras herramientas	Aplica la herramienta (apoyo, carga, edición) al objeto elegido.
◄ ►	Diagramas	Recorren la barra elegida; abajo se leen *N*, *V* y *M*.
+ − 0	Lienzo	Acercan o alejan; 0 encuadra el modelo.
Del	Selec.	Borra el objeto elegido (un nudo pide confirmación).
◄ ►	Procedimiento	Sección anterior o siguiente; ▲ ▼ desplazan.
Esc	Siempre	Termina el trazo, vuelve a `Selec.`, cierra la vista o la ventana.

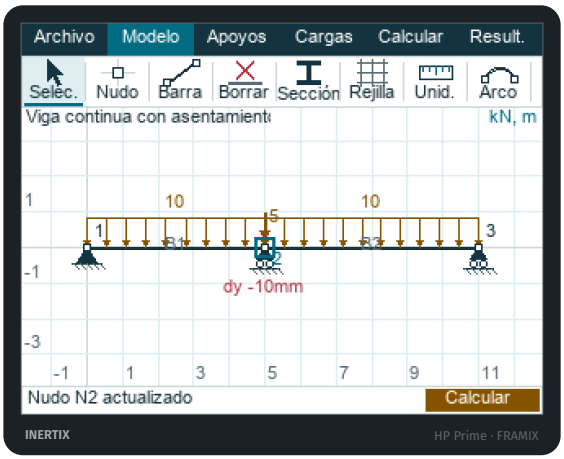
Pantalla táctil

Tocar una categoría o una orden la activa. Con `Nudo` o `Barra`, tocar la rejilla pone el punto; con las demás herramientas, tocar un nudo o una barra la aplica. En `Selec.`, un segundo toque abre el editor. Arrastrar desplaza el dibujo o el procedimiento, y tocar `Calcular` resuelve.

4.2 Formularios y resultados pendientes



Edición en la celda: Fy del nudo N2.



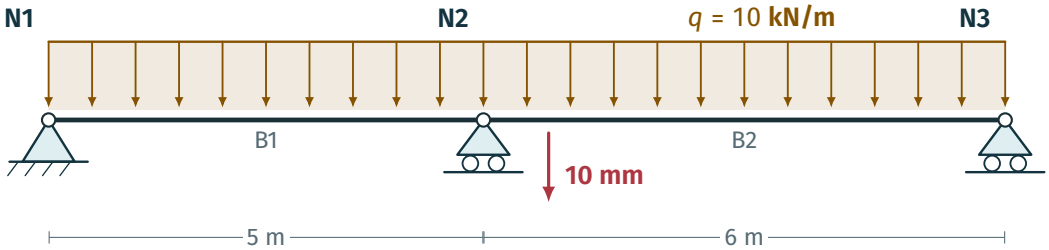
Tras editar, los resultados quedan pendientes.

- [▲] [▼] cambian de campo. Al teclear un número se **reemplaza** el valor; [Enter] lo acepta y pasa al campo siguiente. [-] cambia el signo y [EEX] escribe el exponente (2×10^8 se teclea [2] [EEX] [8]).
- 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, Sección, Apoyo, Sistema), [◀] [▶] cambian la opción.
- Bajo los campos están `Aceptar` y `Cancelar`; [Esc] cierra sin guardar. Si un dato no es válido aparece la ventana `Revisar` y el formulario sigue abierto.
- Cualquier cambio deja los resultados **pendientes**: el botón se pone ámbar hasta pulsar [5] **Calcular** Resolver. Si pide una vista de resultados sin calcular, FRAMIX ofrece calcular.

5 Ejemplo guiado

5.1 Enunciado

Calcular los **diagramas de cortante y momento**, las **reacciones** y la **deformada** de la viga continua de acero de la figura: dos tramos de 5 y 6 m, apoyo fijo en N1 y apoyos móviles en N2 y N3, carga uniforme de 10 kN/m en toda la longitud y un **asentamiento de 10 mm** del apoyo central N2. Comprobar el momento en N2 con la ecuación de los tres momentos.



5.2 Datos

Nudo	X (m)	Y (m)	Apoyo
N1	0	0	Fijo (R_x, R_y)
N2	5	0	Móvil (R_y); d_y = –0.01 m
N3	11	0	Móvil (R_y)

Barra	Nudos	L (m)	Carga
B1	N1–N2	5	10 kN/m vertical
B2	N2–N3	6	10 kN/m vertical

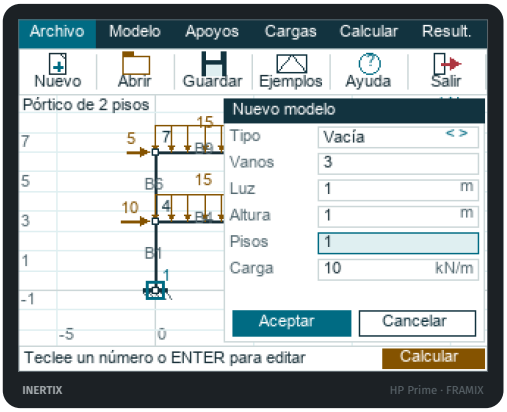
Sección y material	Valor	Observación
Módulo *E*	2×10^8 kN/m^2	Acero; sección S1 (la de fábrica)
Área *A*	0.02 m^2	
Inercia *I*	8×10^{-5} m^4	*EI* = 16 000 kN·m^2

Fuente: ejemplo *Viga continua con asentamiento* de FRAMIX (`Archivo > Ejemplos`). Caso de validación oficial de INERTIX para vigas continuas hiperestáticas sujetas a desplazamientos de apoyo. El análisis matricial de rigidez directa se verifica analíticamente mediante la ecuación de los Tres Momentos de Clapeyron y equilibrio estático.

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; ▶×5 significa pulsar la tecla cinco veces. Se parte de la pantalla que FRAMIX muestra al abrirse. El orden de dibujo fija la numeración: N1 en el origen, N2 a 5 m, N3 a 11 m; B1 = N1–N2 y B2 = N2–N3.

1 Crear un modelo vacío con rejilla de 1 m



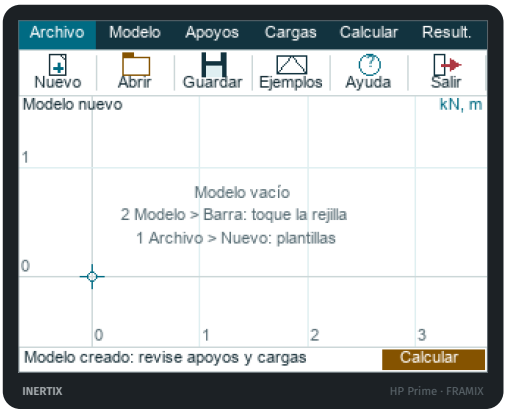
TECLAS

1 Enter ◄ ×2 ▼ ×2 1 Enter 1 Enter

1 Archivo Nuevo abre las plantillas. Con ◄ se elige el tipo `Vacía`; en un modelo vacío, `Luz` y `Altura` son el paso de la rejilla de dibujo. Con 1 m en ambos, los tramos de 5 y 6 m caen sobre la rejilla.

✔ **Debe verse:** Formulario «Nuevo modelo»: Tipo = Vacía, Luz = 1 m, Altura = 1 m

2 Aceptar: lienzo vacío con la herramienta Barra



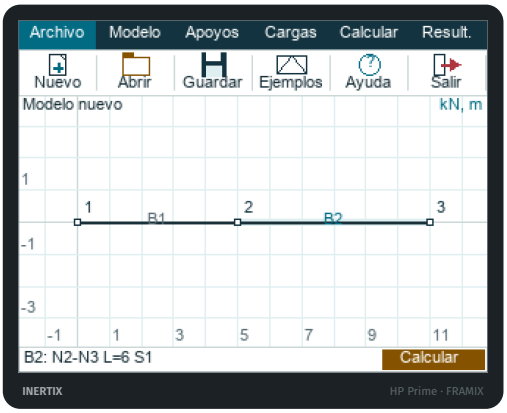
TECLAS

▼ ×2 Enter

Al aceptar, el modelo anterior se sustituye. FRAMIX deja activa la herramienta `Barra` con el cursor en el origen, listo para dibujar.

✔ **Debe verse:** Lienzo vacío, cursor en (0, 0) y «Modelo creado: revise apoyos y cargas»

3 Dibujar los dos tramos y encuadrar



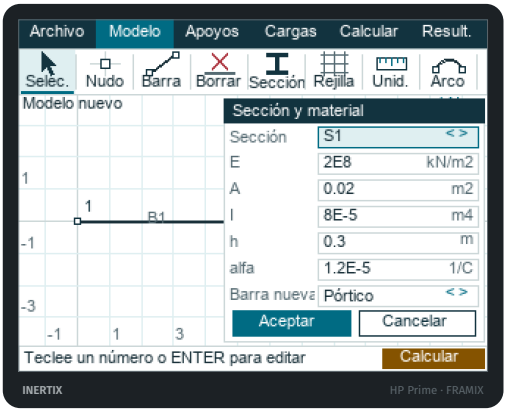
TECLAS

Enter ▶ ×5 Enter ▶ ×6 Enter Esc ×2 0

Enter fija el primer extremo en (0, 0); cinco pasos a la derecha y Enter crean B1, y seis más crean B2, que empieza donde terminó B1. El primer Esc termina el trazo, el segundo vuelve a `Selec.` y 0 encuadra la viga completa.

✔ **Debe verse:** Viga de 11 m: nudos 1, 2 y 3 en x = 0, 5 y 11 m; barras B1 y B2

4 Revisar la sección y el material



TECLAS

2 ▶ ×4 Enter

2 **Modelo** Sección muestra la sección S1 que reciben las barras nuevas. Sus valores de fábrica son los del acero del enunciado ($E = 2 \times 10^8$ kN/m^2, $I = 8 \times 10^{-5}$ m^4), así que no hay nada que cambiar.

✔ **Debe verse:** Formulario «Sección y material»: S1, E = 2E8 kN/m², A = 0.02 m², I = 8E-5 m⁴

5 Apoyo fijo en N1



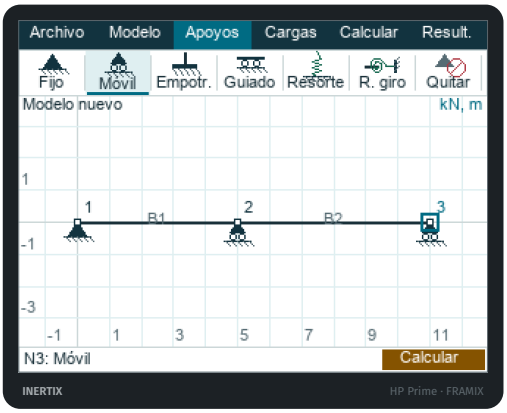
TECLAS

Esc 3 Enter ◀ Enter ▼ Enter

Esc cierra la sección sin cambios. 3 **Apoyos** Fijo arma la herramienta; ◀ elige N1 y Enter abre el formulario del apoyo, que se acepta tal cual.

✔ **Debe verse:** Apoyo fijo bajo N1; abajo «N1: Fijo»

6 Apoyos móviles en N2 y N3



TECLAS

3 ▶ Enter ▶ Enter ▼ ×2 Enter ▶ Enter ▼ ×2 Enter

Con `Móvil` se recorre hasta N2, se abre el formulario y se acepta con ángulo 0 (rodillo sobre una superficie horizontal: solo reacción vertical). Se repite en N3 sin cambiar de herramienta.

✔ **Debe verse:** Rodillos bajo N2 y N3; abajo «N3: Móvil»

7 Asentamiento de 10 mm en N2



TECLAS

4 ▶×4 Enter ▼×2 Enter ◀ Enter ▼ 0 . 0 1 − Enter

4 **Cargas** Desplaz. ofrece tres acciones indirectas; se elige `Movimiento de apoyo (nudo)`, luego el nudo N2. En el campo `dy` se teclea 0.01 y − lo vuelve negativo: el apoyo baja 10 mm.

✔ **Debe verse:** Formulario «Mov. apoyo N2»: dx = 0, dy = −0.01 m, giro = 0

8 Aceptar y abrir la carga distribuida de B1



TECLAS

▼ Enter 4 ▶ Enter ◀ Enter

Al aceptar aparece la marca «dy −10mm» en N2. 4 **Cargas** Distrib. con la barra B1 abre la carga distribuida: los valores que propone (tipo 2, vertical por metro de barra; *w* inicial y final de 10 kN/m, de x_1 = 0 a x_2 = 5 m) son justo los del enunciado. Las notas bajo los campos explican el tipo y desde dónde se miden las *x*.

✔ **Debe verse:** «dy −10mm» en N2; formulario «Carga distribuida en B1»: tipo 2 Vertical, w = 10 y 10 kN/m, x1 = 0, x2 = 5 m

9 Aceptar y repetir la carga en B2



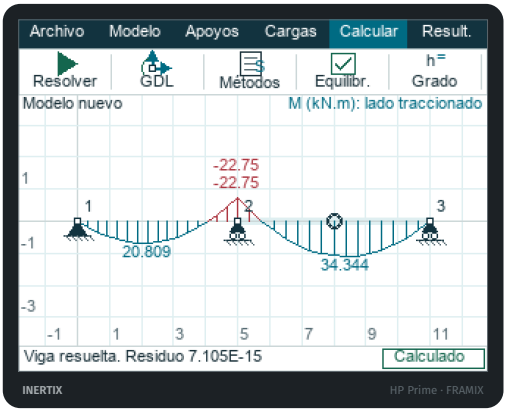
TECLAS

▼×5 Enter ▶ Enter ▼×5 Enter

Se baja hasta `Aceptar`; la herramienta sigue activa, así que ▶ pasa a B2 y se acepta la misma carga, ahora de 0 a 6 m.

✔ **Debe verse:** Carga de 10 kN/m sobre los dos tramos; abajo «Carga aplicada en B2»

10 Resolver



TECLAS

5 Enter

5 **Calcular** Resolver ensambla y resuelve el sistema y muestra el diagrama de momentos. El momento negativo en N2 (−22.75 kN·m) se dibuja arriba, del lado traccionado; el botón pasa a `Calculado`.

✔ **Debe verse:** Diagrama de momentos: −22.75 en N2, 20.809 en B1 y 34.344 en B2; chip «Calculado»

11 Ver la deformada



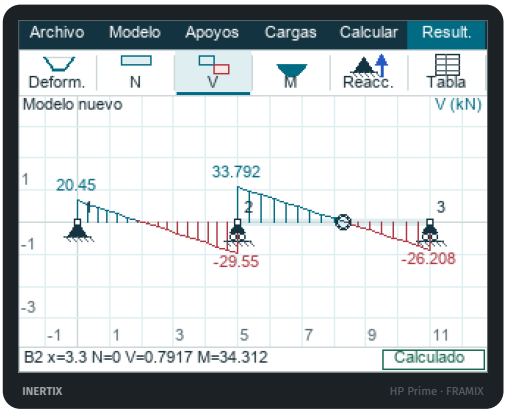
TECLAS

6 Enter

6 **Result.** Deform. dibuja la elástica amplificada (el factor aparece en el rótulo). Se ve el descenso impuesto en N2 y que la viga sigue apoyada en N1 y N3.

✔ **Debe verse:** Deformada amplificada: la viga baja en N2 (asentamiento) y entre apoyos

12 Ver los cortantes y recorrer B2



TECLAS

6 ▶ ×2 Enter ▶

6 **Result.** V dibuja el cortante. Con B2 elegida, cada ▶ avanza un 5 % de la barra y la línea de estado da *N*, *V* y *M* en ese punto: en *x* = 3.3 m el cortante casi se anula y el momento (34.312 kN·m) está junto al máximo de 34.344 kN·m.

✔ **Debe verse:** Diagrama de V (20.45; −29.55; 33.792; −26.208) y abajo «B2 x=3.3 … V=0.7917 M=34.312»

13 Ver las reacciones



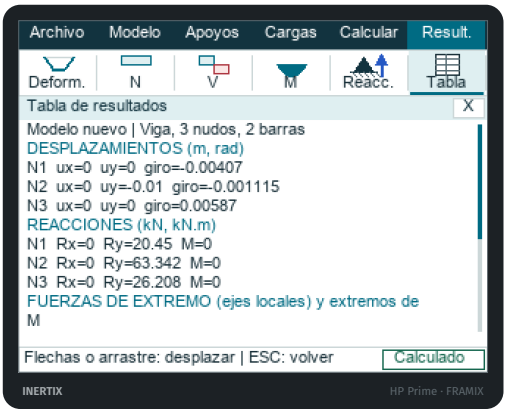
TECLAS

6 ▶ ×4 Enter

6 **Result.** Reacc. dibuja las reacciones con su valor. Suman 110 kN, la carga total 10 × 11.

✔ **Debe verse:** Flechas de reacción: Ry = 20.45, 63.342 y 26.208 kN

14 Abrir la tabla de resultados



TECLAS

6 ▶ ×5 Enter

6 **Result.** Tabla reúne desplazamientos y giros por nudo, reacciones y fuerzas de extremo de cada barra. Se desplaza con las flechas y se cierra con Esc.

✔ **Debe verse:** Tabla: desplazamientos (uy = −0.01 en N2), reacciones y fuerzas de extremo

15 Comprobar el equilibrio global



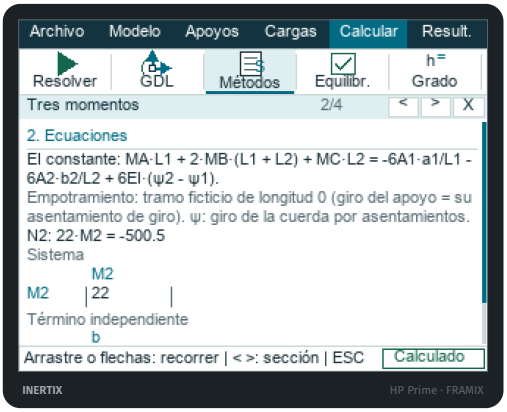
TECLAS

Esc 5 ▶ ×3 Enter

5 **Calcular** Equilibr. suma cargas y reacciones: ΣF_x, ΣF_y y ΣM deben ser cero. Cierre esta ventana con Esc.

✔ **Debe verse:** Ventana «Equilibrio global»: ΣFx = ΣFy = ΣM = 0 y «equilibrio global correcto»

16 Tres momentos: la ecuación del apoyo N2



TECLAS

Esc 5 ▶ ×2 Enter ▼ ×10 Enter ▶

5 **Calcular** Métodos lista los trece métodos; los que no aplican a una viga aparecen en gris con el motivo. `Tres momentos` es el undécimo. Su segunda sección plantea la ecuación en N2, con el término del asentamiento: $22\,M_2 = -500.5$.

✔ **Debe verse:** Procedimiento «Tres momentos», sección 2/4: «N2: 22·M2 = -500.5»

17 Tres momentos: momento en el apoyo



TECLAS

▶

La tercera sección resuelve $M_2 = -22.75$ kN·m y lo pone junto al valor del método matricial: coinciden. La cuarta obtiene las reacciones de cada tramo biapoyado.

✔ **Debe verse:** Sección 3/4: M2 = −22.75 kN·m (incógnita), igual a la columna «Matricial»

5.4 Resultados

FRAMIX coincide con la referencia

Reacciones, momento en el apoyo y momentos máximos coinciden con la comprobación a mano por tres momentos.

Magnitud	Referencia	FRAMIX	Estado
Reacción R_y en N1	20.450 kN	20.450 kN	Coincide
Reacción R_y en N2	63.342 kN	63.342 kN	Coincide
Reacción R_y en N3	26.208 kN	26.208 kN	Coincide
Suma de reacciones	110.000 kN	110.000 kN	= 10 × 11
Momento en el apoyo N2, M_2	−22.750 kN·m	−22.750 kN·m	Tres momentos
M máx. en B1 (x = 2.045 m)	20.911 kN·m	20.911 kN·m	V = 0
M máx. en B2 (x = 3.379 m)	34.344 kN·m	34.344 kN·m	V = 0
Cortante en B1, extremos i / j	20.450 / −29.550	20.450 / −29.550	kN
Cortante en B2, extremos i / j	33.792 / −26.208	33.792 / −26.208	kN

Signos: *M* positivo tracciona la fibra inferior; *+Y* hacia arriba; giros antihorarios positivos. Referencia: reacciones de *EJEMPLOS_ORIGEN* y comprobación a mano; los máximos, donde se anula el cortante.

Rótulo del máximo en el diagrama

El rótulo de un tramo marca el mayor valor de los puntos con que se dibuja el diagrama. En B1 indica 20.809, mientras que el máximo exacto, donde V = 0 (x = 2.045 m), es 20.911 kN·m. Para leer un valor exacto, recorra la barra con ◄ ► o use la tabla.

Comprobación a mano

$$M_1L_1 + 2M_2(L_1 + L_2) + M_3L_2 = -\frac{qL_1^3}{4} - \frac{qL_2^3}{4} + 6EI\left(\frac{\Delta}{L_1} + \frac{\Delta}{L_2}\right)$$

$$2M_2(5 + 6) = -\frac{10 \cdot 125}{4} - \frac{10 \cdot 216}{4} + 6 \cdot 16\,000\left(\frac{0.01}{5} + \frac{0.01}{6}\right)$$

$$22\,M_2 = -852.5 + 352 = -500.5 \;\Rightarrow\; M_2 = -22.75 \text{ kN·m}$$

$$R_1 = \frac{qL_1}{2} + \frac{M_2}{L_1} = 25 - 4.55 = 20.45 \text{ kN}$$

$$R_3 = \frac{qL_2}{2} + \frac{M_2}{L_2} = 30 - 3.792 = 26.208 \text{ kN}$$

$$R_2 = 10 \cdot 11 - R_1 - R_3 = 63.342 \text{ kN}$$

Donde: $M_1 = M_3 = 0$ (extremos articulados), Δ = 0.01 m (descenso de N2).

5.5 Opciones importantes

Siete casos cortos para lo que la viga no toca. Los tres primeros (los «ejemplos cortos» de la edición anterior) muestran pórticos con resorte, rótula y temperatura, y una armadura con apoyo inclinado; OI-4 añade las barras curvas, OI-5 plantillas, grado y ranuras, OI-6 los avisos y OI-7 la barra-resorte. Los ejemplos se cargan con 1 **Archivo** Ejemplos y se resuelven con 5 **Calcular** Resolver; son propios de FRAMIX y se validaron con el mismo motor (las cifras coinciden con la versión TI-Nspire).

OI-1 · Pórtico con resorte de giro

Pórtico de 4 m de altura y 6 m de luz. N1 tiene un apoyo fijo con un resorte de giro de 20 000 kN·m/rad; N4 es un apoyo guiado; actúan H = 8 kN en N2 y q = 12 kN/m en la viga (sección S2 de hormigón).

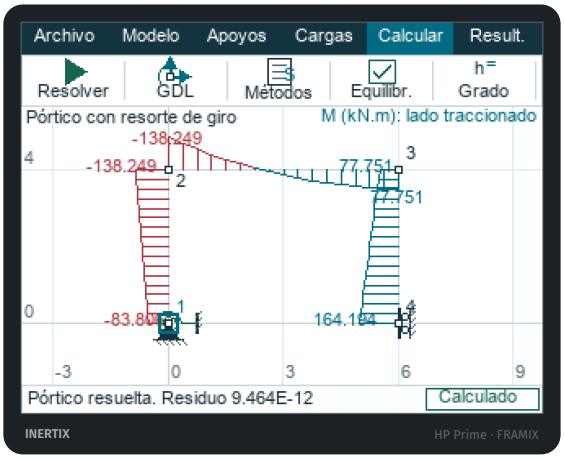
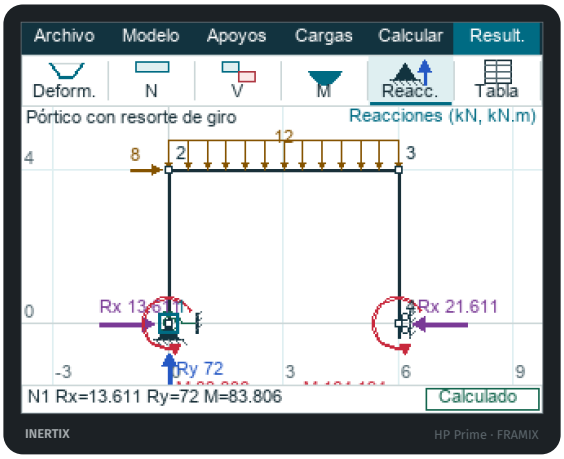


Diagrama de momentos.

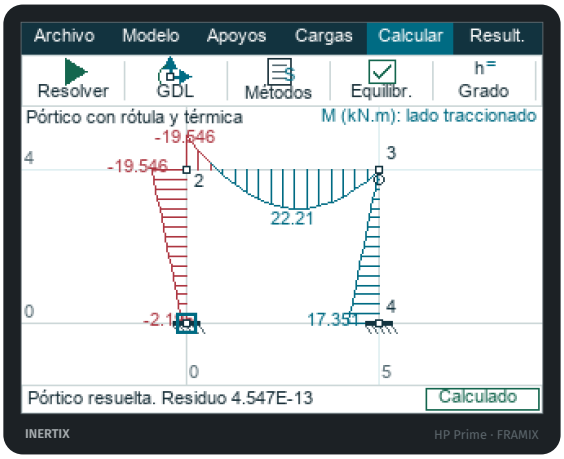


Reacciones: el resorte toma 83.806 kN·m.

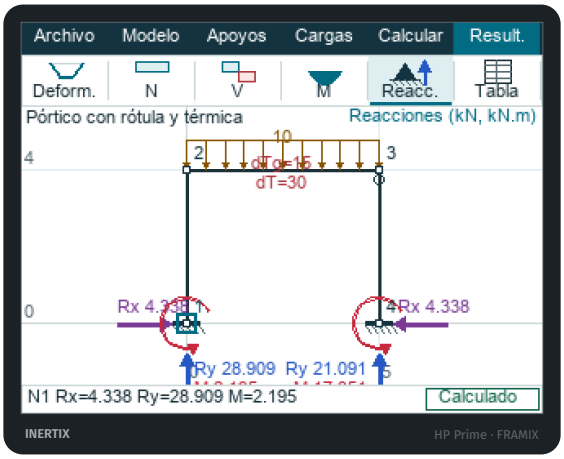
Apoyo	Reacciones FRAMIX
N1 (fijo + resorte)	R_x = 13.611 kN, R_y = 72.000 kN, M = 83.806 kN·m
N4 (guiado)	R_x = −21.611 kN, M = 164.194 kN·m

OI-2 · Pórtico con rótula y térmica

Pórtico biempotrado de 4 × 5 m con rótula en N3, q = 10 kN/m en la viga y, en la misma barra, una variación uniforme de 30 °C y un gradiente de 15 °C (4 **Cargas** Térmica).



Momento nulo en la rótula N3.

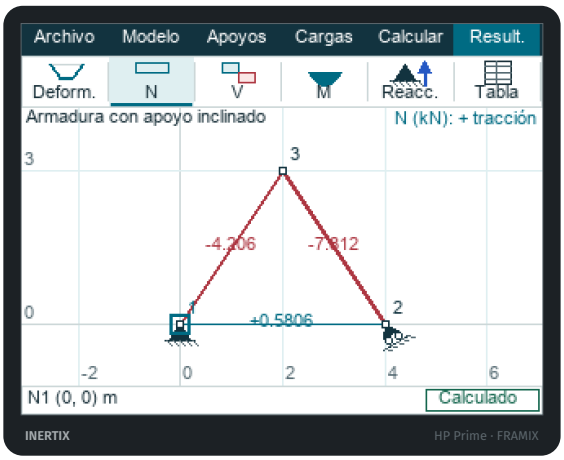


Reacciones en los empotramientos.

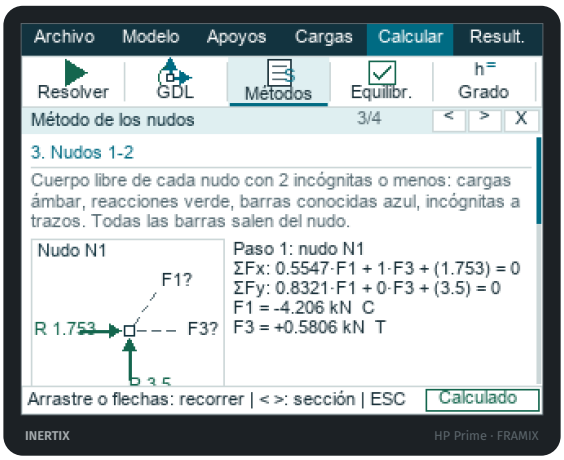
Apoyo	Reacciones FRAMIX
N1 (empotrado)	R_x = 4.338 kN, R_y = 28.909 kN, M = 2.195 kN·m
N4 (empotrado)	R_x = −4.338 kN, R_y = 21.091 kN, M = 17.351 kN·m

OI-3 · Armadura con apoyo inclinado

Armadura triangular de 4 m de luz y 3 m de altura, con apoyo fijo en N1, apoyo móvil sobre un plano inclinado 30° en N2 y una carga (2, −10) kN en N3. Además de los axiles, 5 **Calcular** Métodos ofrece el `Método de los nudos`.



Axiles: tracción y compresión.

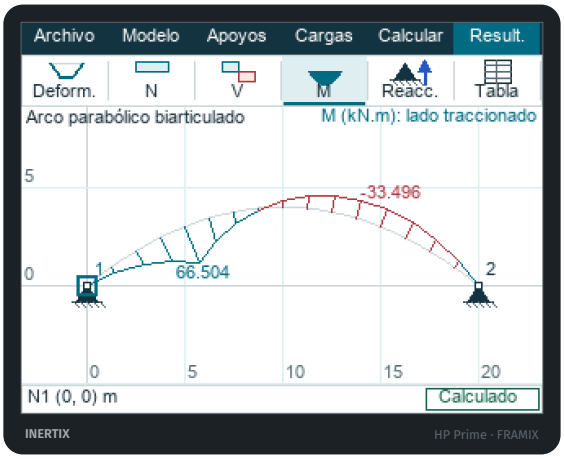


Método de los nudos: equilibrio de N1.

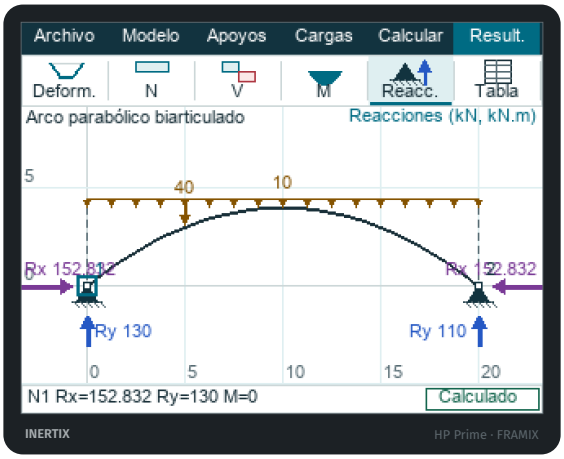
Resultado	FRAMIX
N1 (fijo)	R_x = 1.753 kN, R_y = 3.500 kN
N2 (móvil a 30°)	R_x = −3.753 kN, R_y = 6.500 kN (normal al plano)
Axiles	B1 = −4.206 kN, B2 = −7.812 kN, B3 = +0.581 kN

OI-4 · Arco parabólico biarticulado

Ejemplo 8: arco parabólico de 20 m de luz y 4 m de flecha, biarticulado, con q = 10 kN/m por metro de proyección horizontal y una carga vertical de 40 kN a 5 m del arranque izquierdo. Cárguelo con 1 **Archivo** Ejemplos (octavo de la lista), resuelva y abra 6 **Result.** M, `N` y `Reacc.`. Para ver o cambiar el eje de una barra, elíjala y use 2 **Modelo** Arco.



Momentos sobre el eje curvo.



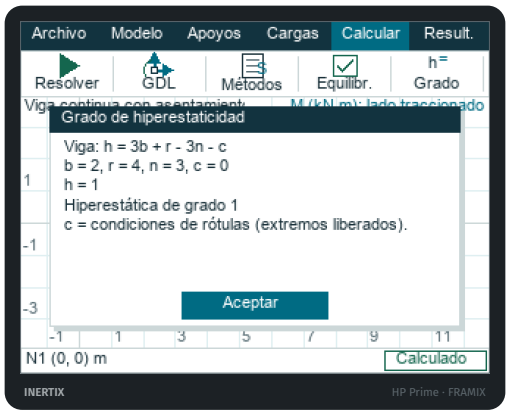
Reacciones: empuje horizontal.

Resultado	FRAMIX (HP = TI)
Arranque N1	R_x = 152.832 kN, R_y = 130.000 kN
Arranque N2	R_x = −152.832 kN, R_y = 110.000 kN
Rótulos	M: +66.504 y −33.496 kN·m; N: −200.552 y −152.322 kN (todo comprimido)

Lectura. ΣR_y = 240 kN = 10 · 20 + 40. Una viga biapoyada de 20 m con la misma carga tendría $M_{máx}$ = 605 kN·m (en x = 9 m); el empuje de 152.8 kN reduce el momento a la novena parte. En un arco, la x de las cargas se mide en proyección horizontal desde el nudo i. Cross, pendiente-deflexión y cortes no se aplican a arcos.

OI-5 · Plantilla de armadura, grado y ranuras

1 **Archivo** Nuevo con el tipo `Arm. Pratt` y los valores de la plantilla (3 paneles de 5 m, altura 3 m, cargas de 10 kN) crea una armadura de 8 nudos y 13 barras. 5 **Calcular** Grado da $h = b + r - 2n$ = 13 + 3 − 16 = 0 (isostática); tras resolver, el cordón superior queda comprimido (−16.667 kN) y las diagonales traccionadas (19.437 kN). 5 **Calcular** Métodos ofrece el `Método de las secciones`. 1 **Archivo** Guardar conserva el modelo en una de ocho ranuras y 1 **Archivo** Abrir lo recupera con los resultados pendientes.

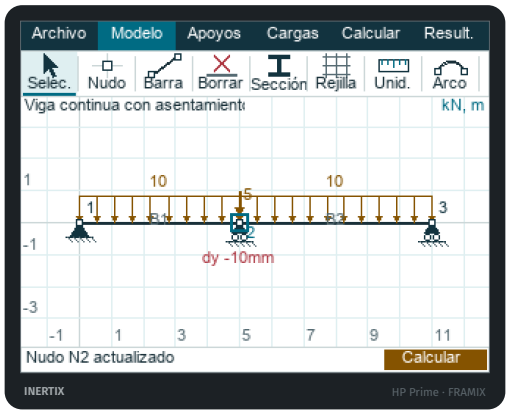


5 **Calcular** Grado: grado de hiperestaticidad (aquí, de la viga del ejemplo guiado: h = 1).

Cifras de la armadura Pratt comprobadas en la versión TI-Nspire (mismo motor); en la HP se documenta la ruta, sin capturas propias de este caso.

OI-6 · Errores y avisos

- **Dato no válido.** El formulario no se cierra: la ventana `Revisar` dice qué corregir (por ejemplo, «Nudos: enteros distintos de 1 a 3.») y el caso no cambia hasta aceptar un dato válido.
- **Resultados pendientes.** Cualquier edición deja el chip `Calcular` en ámbar; las vistas de resultados piden calcular antes de mostrar nada.
- **Corte con la tecla ON.** Si se interrumpe un cálculo, un procedimiento o la carga de un ejemplo con ON, al volver a entrar FRAMIX abre con el caso intacto (el de antes de esa acción), los resultados pendientes y el aviso «Cálculo interrumpido: vuelva a Calcular». Basta con 5 **Calcular** Resolver.



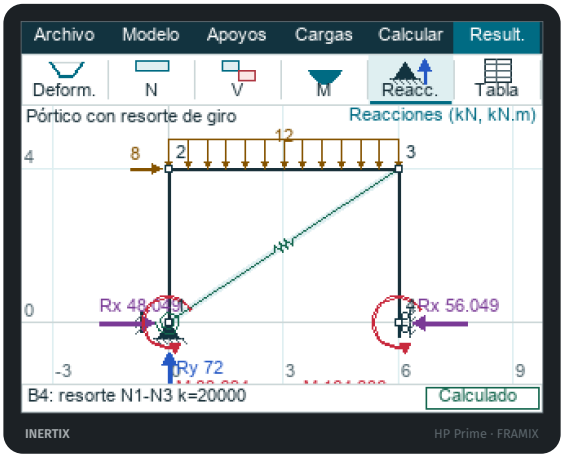
Tras editar: chip «Calcular» (la ventana Revisar está en la referencia de Modelo).

OI-7 · Barra-resorte: riostra elástica

El pórtico del OI-1 (cuarto ejemplo) con una riostra diagonal N1–N3 que solo aporta rigidez axial k = 20 000 kN/m. Cargue el ejemplo; con 2 Modelo Barra toque N1 y N3 (se crea B4) y Esc termina el trazo. Con `Selec.` toque B4: se abre su editor. Baje con ▼ hasta `Tipo` y pulse ▶ dos veces: `Resorte`. El editor ya no pide sección ni rótulas, pide k; suba con ▲, Enter, teclee 20000 y Enter; baje a `Aceptar`. B4 se dibuja en zigzag, como el resorte de un apoyo, y los resultados quedan pendientes. Resuelva y abra `Reacc.` y `N`.



Editor de B4 con Tipo Resorte: pide k.



Reacciones con la riostra elástica.

Resultado	Sin riostra (OI-1)	Con riostra (HP = TI)
N1 (fijo + resorte de giro)	R_x = 13.611, M = 83.806	R_x = 48.049, M = 83.694
N4 (guiado)	R_x = −21.611, M = 164.194	R_x = −56.049, M = 164.306
B4 (barra-resorte)	—	N = −82.674 kN; $\Delta = N/k$ = −4.134 mm

Lectura. R_y = 72 kN en N1 en los dos casos y ΣR_x = −8 kN equilibra H. El guiado de N4 deja libre el movimiento vertical: sin riostra, la viga trabaja en voladizo desde N2; con ella, parte de la carga baja por la diagonal comprimida. Con $k = EA/L$ la barra-resorte da lo mismo que una barra de armadura de esa sección. Pendiente-deflexión y Cross aparecen en gris (suponen barras inextensibles); trabajo virtual, Castigliano y flexibilidades incluyen el término $N\,n/k$.



B4 dibujada en zigzag entre N1 y N3.

6 Referencia de menús y opciones

6.1 1 · Archivo

Orden	Qué hace
Nuevo	Plantillas: Vacía, Viga continua, Pórtico, Arm. Pratt, Arm. Howe, Arm. Warren y Arco, con vanos, luz, altura, pisos y carga (Arco: eje, apoyos, luz, flecha y carga). En `Vacía`, luz y altura son el paso de la rejilla.
Abrir	Ocho ranuras de guardado; Del vacía la ranura resaltada.
Guardar	Guarda el modelo en una ranura (pide confirmar si está ocupada).
Ejemplos	Diez casos listos: voladizo, viga continua con asentamiento, viga con carga triangular, pórtico con resorte de giro, pórtico con rótula y térmica, armadura con apoyo inclinado, pórtico de 2 pisos, arco parabólico biarticulado, arco circular biempotrado y arco triarticulado.
Ayuda	Resumen de menús, convenios y teclado.
Salir	Sale de FRAMIX; el modelo queda en memoria para la próxima vez.



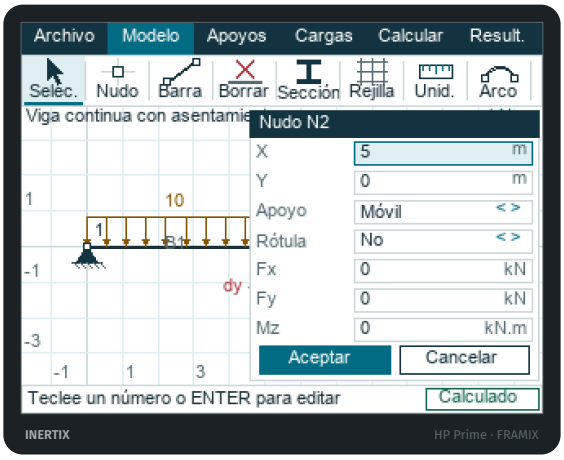
Nuevo: plantillas.



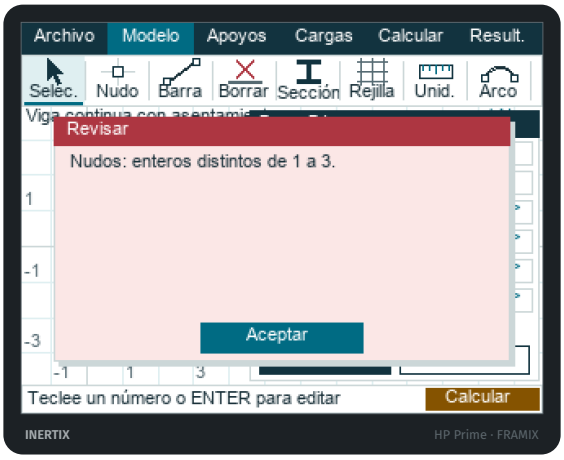
Ejemplos: sustituyen el modelo.

6.2 2 · Modelo

Orden	Qué hace
Selec.	Recorre nudos y barras; Enter abre su editor. Nudo: X, Y, apoyo, rótula y cargas F_x, F_y, M_z. Barra: nudos i y j, sección, tipo (pórtico, armadura o resorte) y rótulas en los extremos; con Tipo `Resorte` el editor pide solo k (kN/m).
Nudo	Pone nudos sueltos en la rejilla.
Barra	Dibuja barras encadenadas; crea los nudos que falten.
Borrar	Borra el nudo (con sus barras, apoyos y cargas) o la barra elegida.
Sección	Hasta 20 secciones: E, A, I, canto h y α; elige además la sección y el tipo de las barras nuevas. `Nueva` crea otra.
Rejilla	Paso de la rejilla en X y en Y.
Arco	Eje de la barra elegida: Recto, Parábola o Circular, flecha f (+ arriba), inercia constante o $I_c / \cos\varphi$ y axial con o sin EA. Mover un nudo rehace sus arcos con la misma flecha.
Unid.	Sistema de unidades de las etiquetas: kN, m · N, mm · tf, m · kgf, cm · kip, pie · kip, plg · lb, plg. La nota muestra las unidades del sistema elegido. No convierte valores ni deja resultados pendientes (ver la sección de unidades).



Editor del nudo N2.



Dato no válido: ventana Revisar.



2 **Modelo** Unid.: sistema kip, plg con sus etiquetas.

6.3 3 · Apoyos

Orden	Qué hace
Fijo	Impide los dos desplazamientos.
Móvil	Impide el desplazamiento normal a una superficie de ángulo dado (0° = rodillo horizontal).
Empotr.	Impide desplazamientos y giro.
Guiado	Impide el giro y el desplazamiento normal a una guía de ángulo dado.
Resorte	Resorte lineal de rigidez k (kN/m) en la dirección del ángulo.
R. giro	Resorte de giro de rigidez k_r (kN·m/rad).
Quitar	Quita los apoyos del nudo (si hay varios, permite elegir).

Un nudo admite un apoyo rígido más resortes: al aplicar un apoyo sobre un nudo que ya tiene uno, FRAMIX ofrece agregar, reemplazar o editar.

6.4 4 · Cargas

Orden	Qué hace
Puntual	En un nudo: P y ángulo (0° = +x, 90° arriba, 270° abajo); la nota da F_x y F_y. En una barra, en el punto elegido: con ángulo, perpendicular o axial.
Distrib.	Distribuida lineal w inicial – w final entre x_1 y x_2, medidas desde el nudo i. Tipos: 1 perpendicular, 2 vertical por metro de barra, 3 vertical por metro de proyección horizontal, 5 horizontal por metro de proyección vertical y 4 axial. En 3 y 5, x_1 y x_2 se miden sobre la proyección.
Momento	En un nudo (M_z) o en una barra (M en la posición x).
Térmica	ΔT uniforme y diferencia inferior – superior en la barra.
Desplaz.	Error de fabricación (barra más larga e), desajuste de montaje (extremos i, j) y movimiento de apoyo (d_x, d_y, giro); también los quita.
Quitar	Quita las cargas del nudo o elige cuál quitar de la barra.

Si la barra ya tiene cargas, `Puntual`, `Distrib.` y `Momento` ofrecen agregar una nueva o editar una existente.



4 **Cargas** Desplaz.: las tres acciones indirectas.

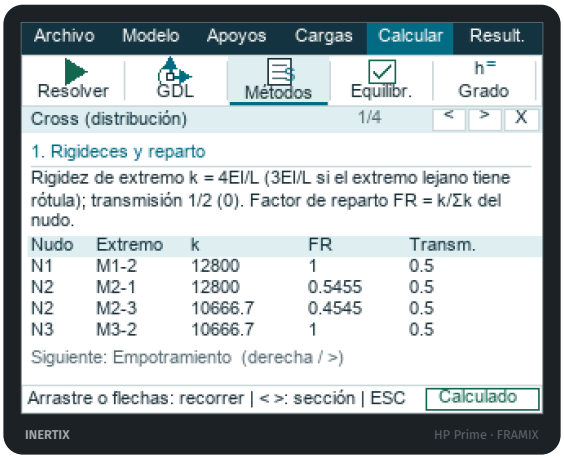
6.5 5 · Calcular

Orden	Qué hace
Resolver	Rigidez directa exacta; detecta mecanismos antes de dar resultados.
GDL	Numeración de los grados de libertad: libres, restringidos y con resorte.
Métodos	Procedimiento paso a paso por el método elegido (lista de la tabla siguiente).
Equilibr.	Suma de cargas y reacciones: ΣF_x, ΣF_y, ΣM y residuo del sistema.
Grado	Grado de hiperestaticidad: $h = b + r - 2n$ (armaduras) o $h = 3b + r - 3n - c$.

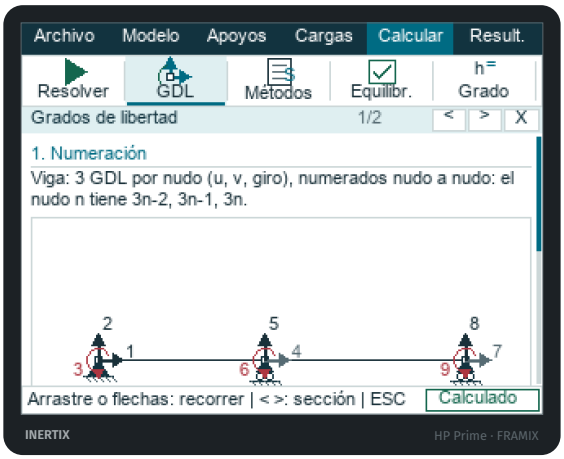
Método	Aplica a
Matricial de rigidez · Restricciones cinemáticas	Todos los modelos
Nudos · Secciones	Armaduras
Cortes (N, V, M)	Vigas y pórticos
Trabajo virtual · Castigliano · Flexibilidades	Todos; los dos primeros piden el nudo y la dirección del movimiento buscado
Pendiente-deflexión · Cross	Vigas y pórticos, sin barras-resorte
Tres momentos	Vigas
Área-momento · Doble integración	Vigas; piden el movimiento buscado



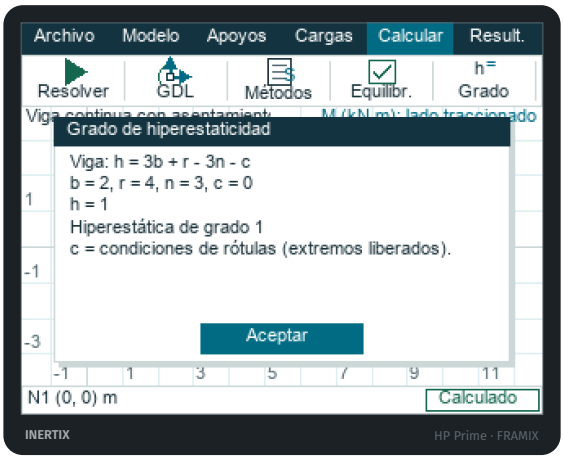
Lista de métodos; en gris, los que no aplican.



Cross: rigideces y factores de reparto.



GDL: numeración por nudo.



Grado de hiperestaticidad.

6.6 6 · Result.

Orden	Qué hace
Deform.	Elástica amplificada sobre el modelo original.
N · V · M	Diagramas de axil, cortante y momento con sus extremos. Con una barra elegida, ◀ ▶ la recorren y la línea de estado da *N*, *V*, *M* y los desplazamientos en ese punto.
Reacc.	Reacciones dibujadas con su valor.
Tabla	Desplazamientos, reacciones y fuerzas de extremo de todas las barras.

7 Fundamento teórico breve

7.1 Rigidez directa

Cada barra aporta su matriz de rigidez en ejes locales, girada a ejes globales; las cargas en las barras se sustituyen por fuerzas nodales equivalentes (empotramiento perfecto).

$$\mathbf{k}' = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}, \qquad \mathbf{k} = \mathbf{T}^T \mathbf{k}' \, \mathbf{T} \tag{1}$$

$$\mathbf{K}_{LL}\,\mathbf{u}_L = \mathbf{F}_L - \mathbf{K}_{LR}\,\mathbf{u}_R, \qquad \mathbf{R} = \mathbf{K}_{RL}\,\mathbf{u}_L + \mathbf{K}_{RR}\,\mathbf{u}_R - \mathbf{F}_R \tag{2}$$

Donde: **T** matriz de giro de la barra; subíndice L grados de libertad libres y R restringidos; $\mathbf{u}_R$ movimientos impuestos (asentamientos, giros de apoyo); **R** reacciones. En las armaduras solo intervienen los términos EA/L; las rótulas se tratan liberando el giro del extremo.

$$\mathbf{k}'_{\text{resorte}} = k \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, \qquad N = k\,\Delta, \qquad f = \frac{1}{k} \tag{3}$$

Donde: Barra-resorte: la rigidez local de una barra de armadura con k en lugar de EA/L, en la dirección de la barra; Δ alargamiento. En trabajo virtual, Castigliano y flexibilidades aporta $N\,n/k$.

7.2 Acciones indirectas

$$\varepsilon_0 = \alpha\,\Delta T + \frac{e}{L}, \qquad \kappa_0 = \alpha\,\frac{\Delta T_{inf} - \Delta T_{sup}}{h}, \qquad N^F = EA\,\varepsilon_0, \qquad M^F = EI\,\kappa_0$$

Donde: Deformación axial ε_0 y curvatura κ_0 impuestas por la temperatura y el error de fabricación e; sus fuerzas de empotramiento N^F, M^F se aplican como cargas nodales equivalentes. El desajuste de montaje y los movimientos de apoyo entran como desplazamientos impuestos.

7.3 Métodos clásicos

$$M_{ij} = \frac{2EI}{L}\left(2\theta_i + \theta_j - 3\psi\right) + M^F_{ij}, \qquad \psi = \frac{\Delta}{L} \tag{4}$$

Donde: Pendiente-deflexión: θ giros de los nudos, ψ giro de la cuerda, M^F momento de empotramiento perfecto.

$$k = \frac{4EI}{L}\ \left(\tfrac{3EI}{L}\ \text{si el extremo lejano es articulado}\right), \qquad FR_i = \frac{k_i}{\sum k}, \qquad t = \frac{1}{2} \tag{5}$$

Donde: Cross: rigidez de extremo k, factor de reparto FR y factor de transmisión t.

$$M_{i-1}L_i + 2M_i(L_i + L_{i+1}) + M_{i+1}L_{i+1} = -\frac{6A_i\,\bar{a}_i}{L_i} - \frac{6A_{i+1}\,\bar{b}_{i+1}}{L_{i+1}} + 6EI\,(\psi_{i+1} - \psi_i) \tag{6}$$

Donde: Tres momentos: A área del diagrama de momentos del tramo biapoyado, $\bar{a}$ y $\bar{b}$ distancias de su centroide a los apoyos izquierdo y derecho, ψ giro de la cuerda por asentamientos. Para carga uniforme, $6A\bar{a}/L = qL^3/4$.

$$1 \cdot \delta = \sum \int \frac{M\,m}{EI}\,dx + \sum \frac{N\,n\,L}{EA} \tag{7}$$

Donde: Trabajo virtual: M, N esfuerzos reales; m, n esfuerzos de la carga unitaria en el movimiento buscado. FRAMIX da los valores de cada barra; no hace falta integrar a mano.

Nota

Todos los métodos se resuelven sobre el mismo modelo y se comparan, sección a sección, con el resultado matricial; si el método no aplica al modelo, la lista lo indica.

8 Preguntas frecuentes

¿Por qué aparece «Calcular» en ámbar si ya resolví?

Cualquier edición (nudo, apoyo, carga o sección) deja los resultados pendientes. Pulse 5 **Calcular** Resolver o toque el botón.

¿Cómo introduzco un asentamiento?

4 **Cargas** Desplaz. › `Movimiento de apoyo (nudo)`, elija el nudo (debe tener apoyo) y escriba d_y negativo si baja.

El programa dice que la estructura es un mecanismo.

Faltan restricciones: revise los apoyos y las rótulas. 5 **Calcular** Grado indica cuántas restricciones faltan.

¿Cómo cambio la numeración de los nudos?

La numeración sigue el orden en que se crean. Para cambiarla, dibuje de nuevo en el orden deseado; el editor de barra permite cambiar sus nudos i y j.

¿Por qué un método aparece en gris?

No aplica a ese tipo de modelo (por ejemplo, nudos y secciones solo para armaduras). El motivo se lee junto al nombre.

El valor rotulado en el diagrama no coincide con mi máximo.

El rótulo es el mayor de los puntos dibujados. Recorra la barra con ◀ ▶ o abra la `Tabla` para el valor exacto.

¿Pulso Enter o Esc para cerrar las ventanas de información?

Use Esc para cerrar `Equilibrio global` y `Grado de hiperestaticidad`.

¿Puedo trabajar en kip y pulgadas, o en tf y m?

Sí. Elija el sistema en 2 **Modelo** Unid. y escriba todos los datos en ese sistema. FRAMIX solo cambia las etiquetas: no convierte los valores ya introducidos.

¿Pierdo el modelo al salir?

No: queda en memoria. Para conservar varios, use 1 **Archivo** Guardar (8 ranuras).

¿Cómo pongo un resorte entre dos nudos?

Dibuje una barra entre ellos y, en su editor, elija Tipo `Resorte` y escriba su k (caso OI-7). Para un resorte contra el terreno use 3 **Apoyos** Resorte.

No me deja cargar una barra-resorte.

La barra-resorte solo transmite fuerza axial entre sus nudos: aplique las fuerzas en los nudos.