INERTIX

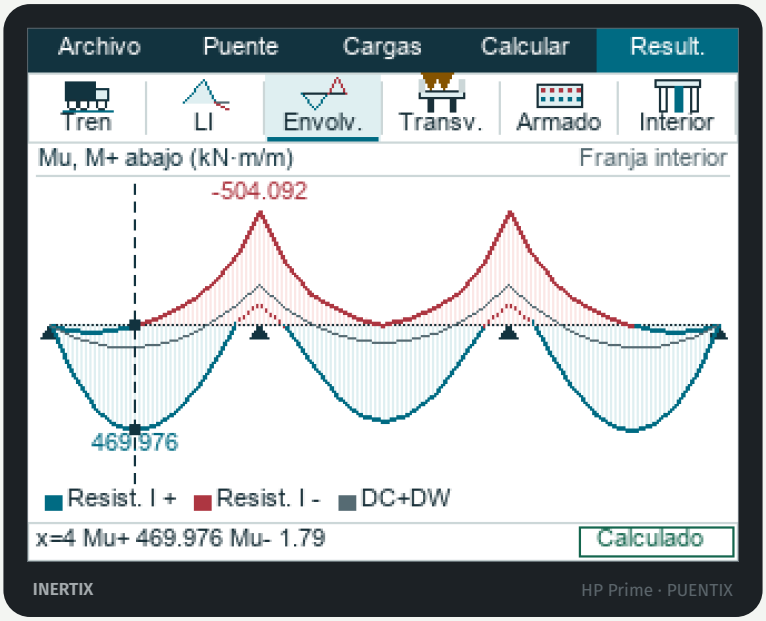
Programas de ingeniería civil para HP Prime

GUÍA DE USO

PUENTIX

Puentes AASHTO LRFD: HL-93, envolventes y diseño de losa

Versión 2026.10 **HP Prime G1 · G2** Estructuras · Puentes · 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 . . . 4

1.3. Límites y fuera de alcance . . . 4

2. Instalación **4**

2.1. Qué necesita . . . 4

2.2. Copiar el programa a la calculadora . . . 4

3. Licencia de uso **6**

4. La interfaz **6**

4.1. Teclas . . . 7

4.2. Editar un valor y resultados pendientes . . . 8

5. Ejemplo guiado **9**

5.1. Enunciado . . . 9

5.2. Datos . . . 9

5.3. Paso a paso . . . 10

5.4. Resultados . . . 16

5.5. Ejemplo corto: puente de vigas T . . . 16

5.6. Ejemplo corto: cargas en la sección (veredas, baranda y postes) . . . 17

5.7. Ejemplo corto: viga-losa con diafragmas y losa del tablero . . . 19

6. Referencia de menús y opciones **21**

7. Fundamento teórico breve **24**

7.1. Carga viva HL-93 . . . 24

7.2. Franjas equivalentes del puente losa . . . 24

7.3. Distribución en vigas T (4.6.2.2) . . . 24

7.4. Cargas permanentes de la sección . . . 25

7.5. Losa del tablero (vigas T y cajón) . . . 25

7.6. Factor de presencia múltiple y combinaciones . . . 25

7.7. Diseño a flexión de la losa . . . 26

8. Preguntas frecuentes **26**

1 Presentación y alcance

PUENTIX analiza la superestructura de puentes viales de **uno a veinte tramos continuos** según AASHTO LRFD (9.ª edición) en la calculadora HP Prime. Calcula las líneas de influencia exactas, mueve la carga HL-93 completa, reparte la carga entre franjas o vigas, combina los estados límite y, en puentes losa, diseña el armado. Cada resultado tiene su gráfica y un procedimiento paso a paso. Está pensado para estudiantes y proyectistas que quieren comprobar a mano lo que hace el programa.

1.1 Qué calcula

- **Líneas de influencia** exactas de momento, cortante y reacción (tres momentos) en 11 secciones por tramo.
- **HL-93**: camión con eje trasero variable (4.3 a 9.0 m), tándem, carga de carril, doble camión al 90 % para el momento negativo y las reacciones en pilas, y camión de fatiga. Tren US o SI.
- **Cargas permanentes detalladas**: además del peso propio, la barrera (con la posición de su centro) y el asfalto, una lista de hasta 20 cargas DC o DW **lineales**, **de área** y **puntuales**, en el lado izquierdo, el derecho o en ambos: veredas, barandas, sardineles, postes, tuberías... En vigas T también cartelas y **diafragmas**.
- **Reparto de las cargas permanentes**: franja interior y de borde en losas; en vigas, reparto uniforme, por ancho tributario o por la regla de la palanca. Las cargas puntuales y los diafragmas se analizan con la línea de influencia exacta.
- **Distribución transversal de la carga viva**: franjas equivalentes interior y de borde en puentes losa; fórmulas AASHTO 4.6.2.2, regla de la palanca y método rígido en vigas T y cajón; o factores manuales.
- **Combinaciones** Resistencia I, Servicio I y Fatiga I, con envolventes de M_u y V_u y reacciones por apoyo.
- **Puente losa**: diseño a flexión positiva y negativa (franja interior y de borde), acero de reparto y de temperatura, control de fisuración, separación mínima, peralte mínimo, cortante de referencia y flecha viva frente a $L/800$, con el plano de armado.
- **Puentes de vigas T y cajón**: demandas por viga interior y exterior y peralte mínimo (el diseño de la viga se hace aparte) y la **losa del tablero** en dirección transversal: momentos por carga muerta y por las ruedas HL-93, franjas 4.6.2.1.3, voladizo y diseño del acero superior, inferior, de reparto y de temperatura.
- Nueve **procedimientos**: metrado (carga por carga, como en una memoria), líneas de influencia, Barré, HL-93 en una sección, Cross, distribución, combinaciones, diseño de la losa o losa del tablero, y flecha.

1.2 Unidades y convenciones

Magnitud	Unidad y signo
Longitud	m (las fórmulas de franjas y de distribución usan internamente pies y pulgadas)
Fuerza y momento	kN y kN·m, o tonf y tonf·m con 1 Archivo kN/tonf; esfuerzos en MPa o kgf/cm^2
Puente losa	Resultados por metro de ancho de franja (kN·m/m, kN/m)
Momento	Positivo si tracciona la cara inferior; en la envolvente, M+ se dibuja hacia abajo
Posición x	Desde el apoyo izquierdo A0; apoyos numerados A0, A1, ...

1.3 Límites y fuera de alcance

Fuera de alcance

- Apoyos simples continuos, EI constante en toda la longitud, sin esviaje y con $\eta = 1$.
- Las fórmulas de distribución y de franjas son las US originales, en los dos trenes de cargas. Cerca de las pilas, el momento negativo usa la luz promedio de los tramos vecinos.
- Franja de borde: una línea de ruedas más la fracción del carril de 3.0 m que cae dentro de E_b, con $m = 1.2$.
- En puentes de vigas T y cajón, PUENTIX entrega las demandas por viga y el peralte mínimo; no diseña la viga (presforzado o acero).
- Losa del tablero: viga continua sobre los ejes de las almas, con ruedas a 0.3 m de la cara de la barrera; no incluye el choque vehicular sobre la barrera (Evento Extremo II) ni la carga peatonal. Las cargas puntuales de la lista (postes) las toman las vigas, no la franja transversal.
- Hasta 20 tramos. Los datos fuera de rango (por ejemplo, barrera o vereda mayor de 6 m) se rechazan con un mensaje que indica dónde corregirlos.

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

PUENTIX 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 PUENTIX 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: `PUENTIX.hpappdir`;
   - el archivo de licencia: `LIC_PUENTIX.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 PUENTIX desde la *Biblioteca de aplicaciones*: entra directamente, sin pedir nada.

Si aparece la pantalla de licencia

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

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

Restablecimiento de la calculadora

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

4 La interfaz

Al abrirlo por primera vez, PUENTIX muestra una losa continua de 10-12-10 m sin calcular, con la categoría `Puente` activa. La pantalla tiene siempre las mismas zonas.



1. **Barra de menú.** Cinco categorías; se abren con las teclas 1 a 5 o tocándolas.
2. **Cinta.** Órdenes de la categoría activa.
3. **Elevación.** Tramos con sus luces y apoyos; el tramo elegido se resalta.
4. **Sección transversal.** Barreras, carriles de diseño, ancho y las cargas de la lista; en la elevación se ven también los diafragmas y los postes.
5. **Línea de estado.** Mensajes y valores del cursor.
6. **Botón de cálculo.** `Calcular` si hay cambios sin resolver; `Calculado` si los resultados están al día.

4.1 Teclas

Tecla	Dónde	Acción
1 … 5	Siempre	Abre la categoría del menú y pone el foco en la cinta.
◀ ▶	Cinta	Elige la orden; en los extremos pasa a la categoría vecina.
Enter / Esc	Cinta	Activa la orden / devuelve el foco al lienzo.
◀ ▶	Elevación	Eligen el tramo; Enter edita su luz.
◀ ▶	Tren	Mueven el vehículo; ▲ ▼ cambian la sección; Enter alterna camión y tándem; + y − lo llevan a la posición crítica de M+ o M−.
◀ ▶	LI	Recorren las secciones (o los apoyos); Enter cambia entre M, V y R; + − eligen el signo.
◀ ▶	Envolv.	Mueven el cursor; Enter alterna momento y cortante; ▲ ▼ cambian de franja o viga.
▲ ▼	Lista	Eligen la carga; + agrega, Enter edita y Del borra (con confirmación).
Enter	Transv. / Demand.	En vigas y cajón, cambia a la losa del tablero (momentos o armado); ◀ ▶ recorren sus secciones y + − muestran las ruedas de M+ o M−.
◀ ▶	Procedim.	Página anterior y siguiente; ▲ ▼ desplazan.
Esc	Vista o documento	Vuelve al modelo; en el modelo, pide confirmar la salida.

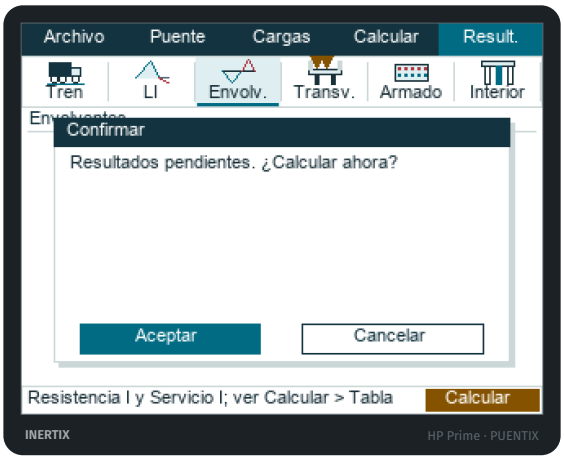
Pantalla táctil

Tocar un tramo lo elige y un segundo toque edita su luz; tocar un apoyo muestra sus reacciones; tocar la sección abre el tablero o las vigas. En la vista `Tren` se puede arrastrar el vehículo, y en `Envolv.` el cursor.

4.2 Editar un valor y resultados pendientes



Edición en la propia celda del formulario.



Tras un cambio, las vistas piden recalcular.

- En un formulario, ▲ ▼ cambian de campo. Teclear un número **reemplaza** el valor; ◄ ► mueven el cursor dentro del texto y Del borra.
- Enter confirma el campo; en `Aceptar`, guarda el formulario. Esc anula la edición o cierra sin guardar. En los campos con < >, ◄ ► cambian la opción.
- Un dato fuera de rango se rechaza con un mensaje y el formulario sigue abierto (captura de abajo).
- Cualquier cambio deja los resultados **pendientes**: PUENTIX no muestra valores de un cálculo anterior y ofrece calcular de nuevo.

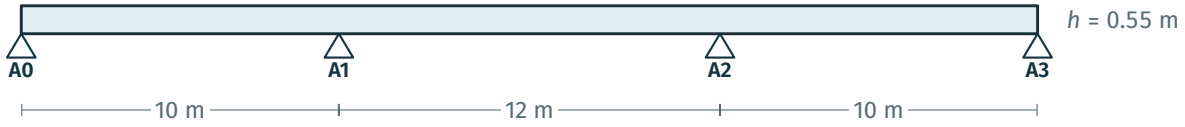


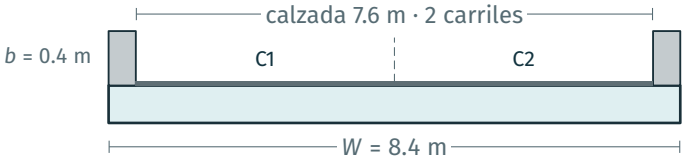
Luz de 1 m: fuera del rango 2 a 150 m.

5 Ejemplo guiado

5.1 Enunciado

Un puente losa de concreto armado, continuo, de tres tramos de 10, 12 y 10 m, soporta la carga viva **HL-93** de AASHTO LRFD. Se piden las **envolventes** de momento y cortante de la franja interior (Resistencia I y Servicio I), las **franjas equivalentes**, la **reacción máxima** en apoyos y el **diseño a flexión** de la losa con sus verificaciones.





5.2 Datos

Grupo	Dato	Dónde se introduce
Tramos	L_1 = 10, L_2 = 12, L_3 = 10 m (total 32 m)	2 **Puente** Tramo
Tablero	Losa; W = 8.4 m, barrera b = 0.4 m, h = 0.55 m	2 **Puente** Tablero
Armado	ϕ 1″ en M+ y M−; ϕ 5/8″ en reparto y temperatura; recubrimientos 0.025 (inf.) y 0.05 m (sup.)	2 **Puente** Armado
Materiales	f'_c = 28 MPa, f_y = 420 MPa, γ_c = 24 kN/m^3; concreto armado; exposición clase 1	2 **Puente** Material
Cargas DC / DW	asfalto 22 kN/m^3 × 0.05 m; barrera 6 kN/m con su centro a 0.2 m del borde; lista de cargas vacía	3 **Cargas** DC/DW
Carga viva	HL-93 AASHTO US, IM = 33 %, con carga de carril	3 **Cargas** HL-93

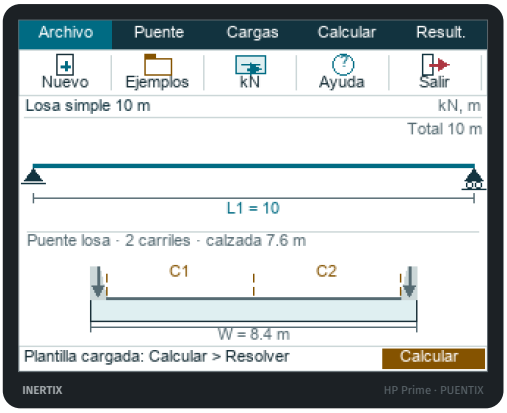
Fuente del ejemplo: ejemplo *Losa continua 3 tramos 10-12-10 m* de PUENTIX (`Archivo > Ejemplos`). Caso de validación para puentes losa continuos de hormigón armado según especificaciones AASHTO LRFD. Los momentos flectores por peso propio, carpeta asfáltica y tren de carga móvil vehicular se comprueban analíticamente junto con el diseño de armadura principal.

Desde cero

El ejemplo ya viene en 1 **Archivo** Ejemplos, pero aquí se construye desde una plantilla de un tramo para recorrer todos los formularios. Los tramos se numeran en el orden en que se agregan.

5.3 Paso a paso

1 Nuevo puente desde «Losa simple 10 m»



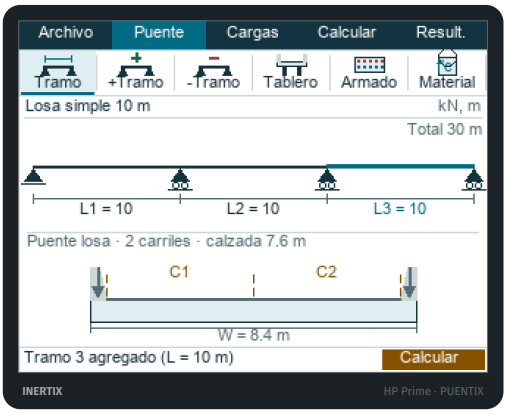
TECLAS

1 Enter ×2

1 **Archivo** Nuevo abre la lista de plantillas; la primera, `Losa simple 10 m`, ya está resaltada y Enter la carga. Trae un tramo de 10 m, el tablero de 8.4 m y los materiales usuales. El encabezado conserva el nombre de la plantilla aunque luego se agreguen tramos.

✔ **Debe verse:** Un solo tramo L1 = 10 m; abajo «Plantilla cargada: Calcular > Resolver»

2 Agregar dos tramos



TECLAS

2 ▶ Enter 2 ▶ Enter

2 **Puente** +Tramo inserta un tramo a la derecha del elegido, con su misma luz. Se pulsa dos veces: el puente queda con tres tramos de 10 m y el tramo 3 elegido.

✔ **Debe verse:** Tres tramos de 10 m (Total 30 m); abajo «Tramo 3 agregado (L = 10 m)»

3 Elegir el tramo 2 y teclear 12 m



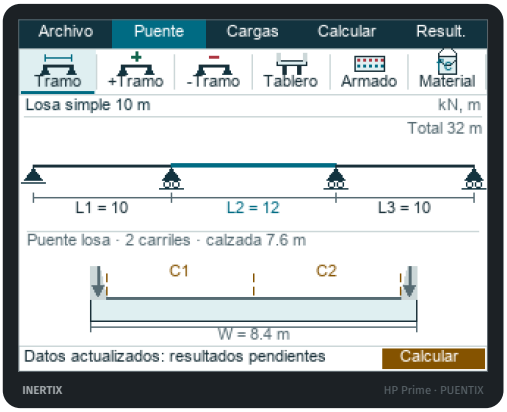
TECLAS

◀ Enter 1 2 Enter

Con el foco en la elevación, ◀ elige el tramo 2 y Enter abre su formulario. Al teclear 12 el número reemplaza la luz anterior; Enter confirma el campo. `Aplicar a` queda en `este tramo`.

✔ **Debe verse:** Formulario «Tramo 2 de 3» con Luz L = 12 m

4 Aceptar: puente de 10 + 12 + 10 m



TECLAS

▼ Enter

▼ lleva a `Aceptar`. La elevación muestra ya las tres luces y el total de 32 m; la línea de estado avisa que los resultados están pendientes.

✔ **Debe verse:** Elevación L1 = 10, L2 = 12, L3 = 10, Total 32 m; «resultados pendientes»

5 Revisar el tablero



TECLAS

2 ▶ ×3 Enter

2 **Puente** Tablero reúne el tipo de puente y el ancho. Para el ejemplo: losa, *W* = 8.4 m, barreras de 0.4 m y *h* = 0.55 m. Con estos datos la calzada mide 7.6 m y caben dos carriles de diseño.

✔ **Debe verse:** Formulario «Tablero»: Losa, W = 8.4 m, b = 0.4 m, h = 0.55 m

6 Aceptar y revisar el armado



TECLAS

▼ ×4 Enter 2 ▶ ×4 Enter

Se acepta el tablero y se abre 2 **Puente** Armado: barras ϕ 1″ para los momentos positivo y negativo, ϕ 5/8″ para reparto y temperatura, y los recubrimientos. PUENTIX calcula la separación; aquí solo se elige el diámetro.

✔ **Debe verse:** Formulario «Armado de losa»: φ 1 pulg, φ 1 pulg, φ 5/8 pulg, φ 5/8 pulg, recubrimientos 0.025 y 0.05 m

7 Aceptar y revisar los materiales



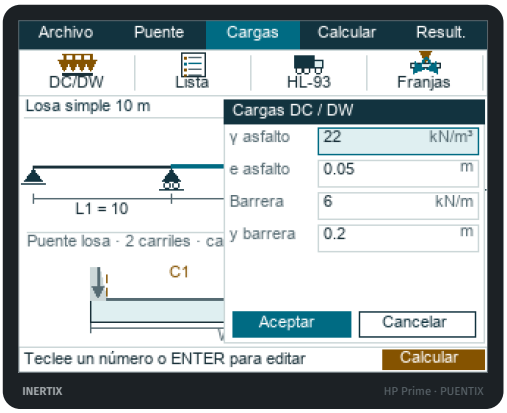
TECLAS

▼ ×6 Enter 2 ▶ ×5 Enter

2 **Puente** Material: f'_c = 28 MPa, f_y = 420 MPa y γ_c = 24 kN/m³. La clase (armado o presforzado) y la exposición intervienen en el control de fisuración.

✔ **Debe verse:** Formulario «Materiales»: f'c = 28 MPa, fy = 420 MPa, γc = 24 kN/m³, Armado, Clase 1

8 Aceptar y revisar las cargas DC / DW



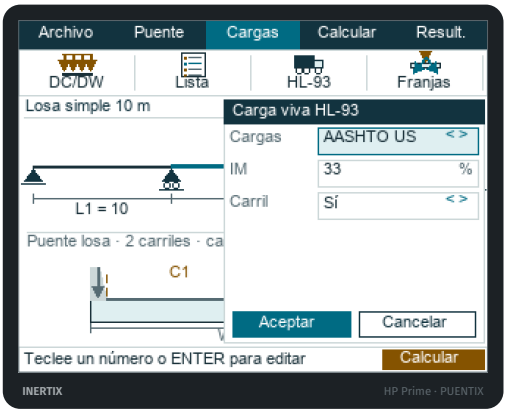
TECLAS

▼ ×5 Enter 3 Enter

3 **Cargas** DC/DW: el peso propio de la losa se calcula solo; aquí se dan el asfalto (DW) y la barrera (DC) con la posición de su centro, a 0.2 m de cada borde. Las veredas, barandas o postes se agregarían en 3 **Cargas** Lista; este ejemplo no las lleva.

✔ **Debe verse:** Formulario «Cargas DC / DW»: asfalto 22 kN/m³ × 0.05 m, barrera 6 kN/m con su centro a 0.2 m del borde

9 Aceptar y revisar la carga viva HL-93



TECLAS

▼ ×4 Enter 3 ▶ ×2 Enter

3 **Cargas** HL-93, el tercer botón de la cinta: tren AASHTO en unidades US, incremento dinámico de 33 % (solo sobre camión y tándem) y carga de carril activada.

✔ **Debe verse:** Formulario «Carga viva HL-93»: AASHTO US, IM = 33 %, Carril Sí

10 Aceptar y resolver



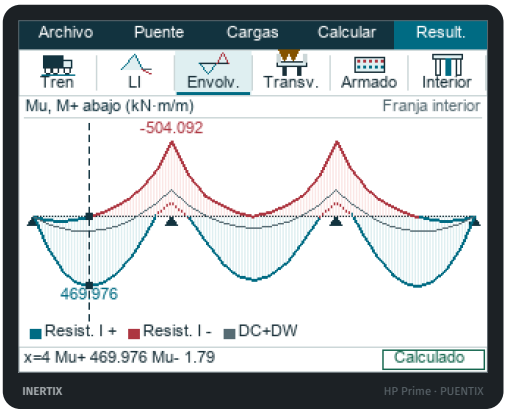
TECLAS

▼ ×3 Enter 4 Enter

4 **Calcular** Resolver recorre las 33 secciones con todos los vehículos y combina los estados límite. El botón de la línea de estado pasa a `Calculado`.

✔ **Debe verse:** Etiqueta «Calculado» en la línea de estado

11 Envolventes de la franja interior



TECLAS

5 ▶ ×2 Enter

5 **Result.** Envolv. dibuja M_u de Resistencia I: el positivo hacia abajo en los vanos y el negativo sobre las pilas, junto con la curva de carga permanente. Los máximos son 469.976 y −504.092 kN·m/m.

✔ **Debe verse:** Mu+ = 469.976 y Mu− = −504.092 kN·m/m (Resistencia I) y la curva DC+DW

12 Vehículo en la posición crítica



TECLAS

5 Enter +

5 **Result.** Tren muestra el vehículo y su diagrama de momentos. La tecla + lo lleva a la posición que da el máximo momento positivo en la sección elegida: aquí gobierna el tándem en x = 4 m.

✔ **Debe verse:** Tándem en la posición de M+ máximo en x = 4 m: M(x=4) = 401.38 por carril, sin IM

13 Línea de influencia en x = 4 m



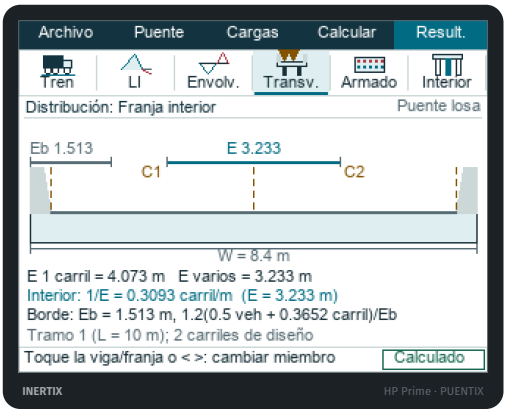
TECLAS

5 ▶ Enter

5 **Result.** LI dibuja la línea de influencia del momento en la sección con los ejes del vehículo gobernante. Sumando $P \cdot$ LI de los ejes y el área del carril se obtiene M^{+} = 629.301 kN·m por carril.

✔ **Debe verse:** «LI de M en x = 4 m (tramo 1, 0.4L)» con los ejes; M+ = 629.301 por carril

14 Distribución transversal: franjas



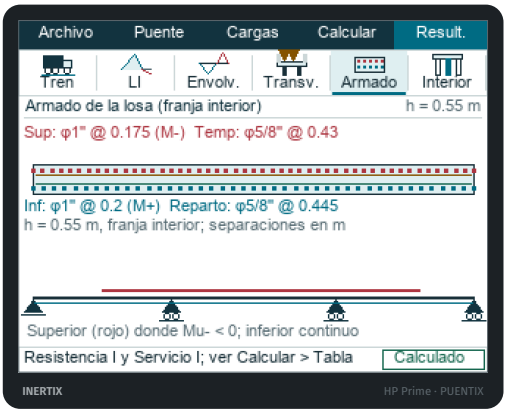
TECLAS

5 ▶ ×3 Enter

5 **Result.** Transv. muestra las franjas equivalentes: la interior, E = 3.233 m, y la de borde, E_b = 1.513 m. Cada metro de losa interior toma $1/E$ = 0.3093 carriles.

✔ **Debe verse:** Franja interior E = 3.233 m y de borde Eb = 1.513 m; 1/E = 0.3093 carril/m

15 Armado de la losa



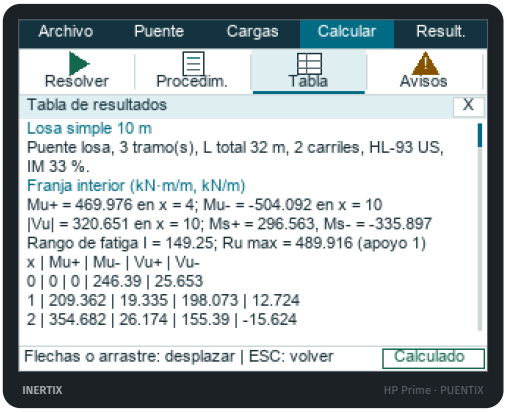
TECLAS

5 ▶ ×4 Enter

5 **Result.** Armado dibuja el plano de barras de la franja interior: ϕ 1″ @ 0.20 m abajo, ϕ 1″ @ 0.175 m arriba en las zonas de momento negativo, el reparto ϕ 5/8″ @ 0.445 m y la temperatura ϕ 5/8″ @ 0.43 m (A_s = 4.61 cm²/m por cara).

✔ **Debe verse:** Inferior φ 1 pulg @ 0.20 m, superior φ 1 pulg @ 0.175 m sobre las pilas; reparto φ 5/8 pulg @ 0.445 y temperatura φ 5/8 pulg @ 0.43 m

16 Tabla de resultados



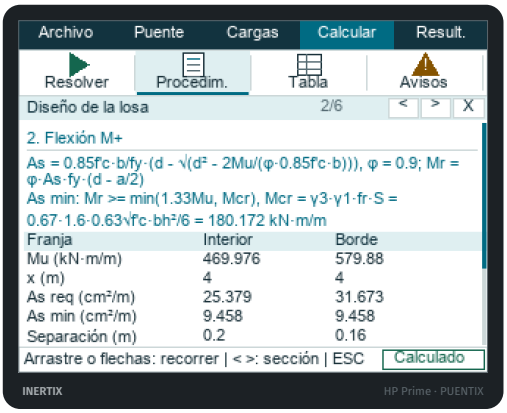
TECLAS

4 ▶ ×2 Enter

4 **Calcular** Tabla reúne los máximos de cada franja y una tabla de M_u y V_u sección por sección. Se desplaza con las flechas y se cierra con Esc.

✔ **Debe verse:** Resumen: Mu+, Mu−, |Vu| = 320.651, Ms+, Ms−, fatiga y Ru máx = 489.916; tabla por x

17 Procedimiento: diseño de la losa, flexión M+



TECLAS

Esc 4 ▶ Enter ▼ ×7 Enter ▶

4 **Calcular** Procedim. abre la lista de métodos; el 8 es `Diseño de la losa`. Su página 2 muestra la fórmula de A_s, el acero mínimo y la tabla para las franjas interior y de borde: A_s = 25.379 cm²/m, que con ϕ 1″ @ 0.20 m da 25.5 cm²/m.

✔ **Debe verse:** «2. Flexión M+»: Mu = 469.976, As req = 25.379 cm²/m, φ 1 pulg @ 0.20, As col. = 25.5 cm²/m

18 Verificaciones del diseño



TECLAS

▶ ×4

Tres páginas más (reparto y temperatura, fisuración) llegan al resumen: peralte, resistencia a M+ y M−, fisuración, separación mínima y flecha cumplen. El cortante no requiere verificación en losas diseñadas por franjas.

✔ **Debe verse:** «6. Verificaciones»: todas «cumple»; flecha L/800 al 20.8 %

5.4 Resultados

PUENTIX coincide con la referencia

Las envolventes, la reacción máxima y el acero de la franja interior coinciden con los valores de referencia. El momento negativo sobre la primera pila gobierna el acero superior; el positivo del primer vano, el inferior.

Magnitud (franja interior)	Referencia	PUENTIX	Estado
M_u^+ (Resistencia I), x = 4 m	469.976 kN·m/m	469.976 kN·m/m	Coincide
M_u^- (Resistencia I), x = 10 m	−504.092 kN·m/m	−504.092 kN·m/m	Coincide
$\lvert V_u \rvert$ máx, x = 10 m	320.651 kN/m	320.651 kN/m	Coincide
M_s^+ / M_s^- (Servicio I)	296.563 / −335.897	296.563 / −335.897	Coincide
R_u máx (apoyo A1, primera pila)	489.916 kN/m	489.916 kN/m	Coincide
A_s^+ requerido	25.3787 cm²/m	25.379 cm²/m	Coincide
ϕM_n^+ con ϕ 1″ @ 0.20 m	472.1 ≥ 470.0	472.12 kN·m/m	Cumple

Otros resultados del ejemplo	PUENTIX
Franjas	E_1 = 4.073 m (un carril), E = 3.233 m (varios, gobierna), E_b = 1.513 m (borde)
Acero negativo	A_s^- = 28.877 cm²/m: ϕ 1″ @ 0.175 m
Reparto y temperatura	ϕ 5/8″ @ 0.445 m; temperatura 4.61 cm²/m por cara: ϕ 5/8″ @ 0.43 m
Rango de fatiga I	149.25 kN·m/m
Peralte	h = 0.55 m ≥ $h_{mín}$ = 0.502 m

Valores por metro de ancho de la franja interior. Signos: $M > 0$ tracciona la cara inferior. Apoyos numerados A0 a A3 de izquierda a derecha (A1 y A2 son las pilas). Referencia: motor verificado (ver «Fuente del ejemplo»).

Comprobación rápida

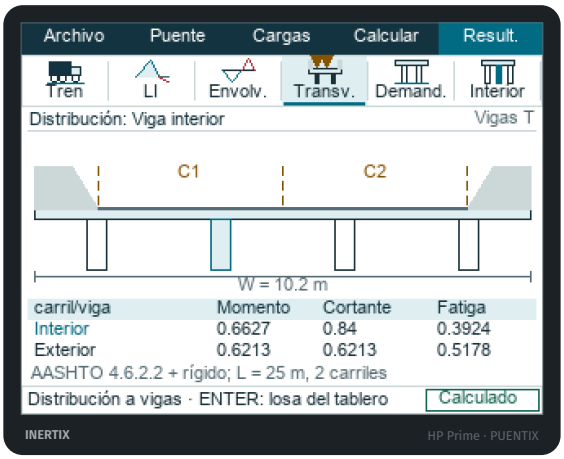
$$E = \text{mín}\left(84 + 1.44\sqrt{L_1 W_1},\ \frac{12\,W}{N_L}\right) = 3.233 \text{ m} \qquad (L_1 = 10 \text{ m},\ N_L = 2)$$

$$A_s^+ = \frac{0.85 f'_c\, b}{f_y}\left(d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi\, 0.85 f'_c\, b}}\right) = 25.38 \text{ cm}^2/\text{m} \qquad (d = 0.5123 \text{ m},\ M_u = 469.976)$$

$$s = \frac{A_{\phi 1''}}{A_s} = \frac{5.10}{25.38} \Rightarrow 0.20 \text{ m} \quad (A_s = 25.5 \text{ cm}^2/\text{m})$$

5.5 Ejemplo corto: puente de vigas T

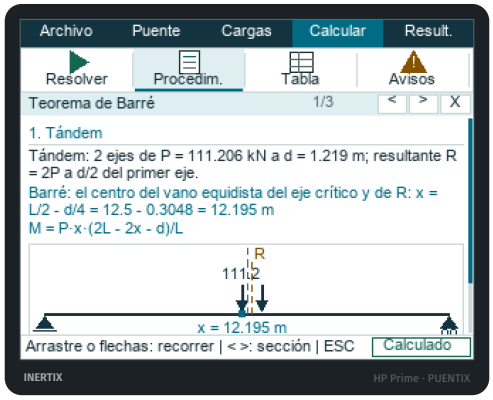
1 Archivo Ejemplos > `Vigas T presforzadas, 1 tramo 25 m` carga un tramo simple de 25 m con W = 10.2 m, veredas de 1.3 m y 4 vigas T a S = 2.55 m (b_w = 0.40 m, h = 1.25 m, losa de 0.20 m). Después, 4 Calcular Resolver.



5 **Result.** Transv.: factores por viga.



5 **Result.** Demand.: demandas por viga.



Procedimiento 3, `Teorema de Barré`.

Magnitud	PUENTIX	Referencia
Sección crítica de Barré (tándem)	12.195 m	12.1952 m
Momento del tándem	1323.105 kN·m	1323.104859 kN·m
Cortante del tándem en el apoyo	216.988 kN	216.9875 kN
Resultante del camión HL-93	320.272 kN	320.271957 kN
Factor de distribución, viga interior (M / V)	0.6627 / 0.84	—
Viga interior: M_u^+ en x = 11.942 m	6068.3 kN·m	—
Viga interior: $\lvert V_u \rvert$, M_s^+, fatiga	1161.4 kN, 4054.9, 1034.4 kN·m	—

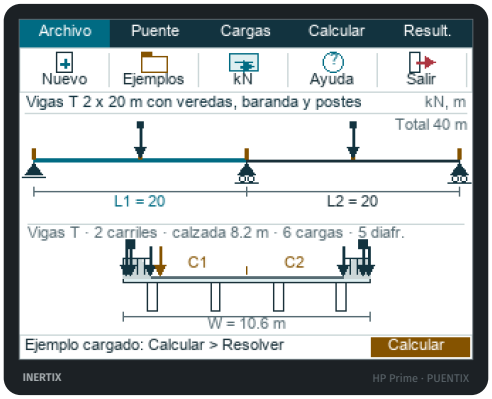
La referencia de Barré es la solución cerrada $x = L/2 - d/4$, $M = P\,x\,(2L - 2x - d)/L$ con P = 111.2 kN y d = 1.2192 m. Las demandas por viga son del motor verificado.

5.6 Ejemplo corto: cargas en la sección (veredas, baranda y postes)

1 **Archivo** Ejemplos > `Vigas T 2 x 20 m con veredas, baranda y postes` carga dos tramos de 20 m con W = 10.6 m, 4 vigas T a S = 2.7 m, veredas de 1.2 m y estas cargas en 3 **Cargas** Lista (sin barrera automática, reparto por la regla de la palanca, diafragmas en apoyos y en el centro de cada tramo):

#	Caso	Tipo	Valor	Posición	Qué es
1	DC	Área	3.6 kN/m²	*y* de 0 a 1.2 m, ambos	Vereda de 0.15 m
2	DC	Lineal	1.5 kN/m	*y* = 0.1 m, ambos	Baranda
3	DC	Lineal	4.5 kN/m	*y* = 1.15 m, ambos	Sardinel
4, 5	DC	Puntual	5 kN	*y* = 0.3 m; *x* = 10 y 30 m, ambos	Postes de alumbrado
6	DW	Lineal	0.8 kN/m	*y* = 1.6 m, izquierdo	Tubería de servicios

La posición *y* se mide desde el borde del lado elegido; con `Ambos`, la carga se repite en simetría.



Postes y diafragmas en la elevación; cargas sobre la sección.



3 **Cargas** Lista: dibujo, tabla y botones.



Enter: formulario de la carga elegida.



Procedimiento 1 `Metrado de cargas`: aporte de cada carga a cada viga.

Magnitud (kN/m)	Viga interior	Viga exterior
w_{DC} (peso propio + lista)	22.994	36.526
w_{DW} (asfalto + servicios)	3.073	2.237

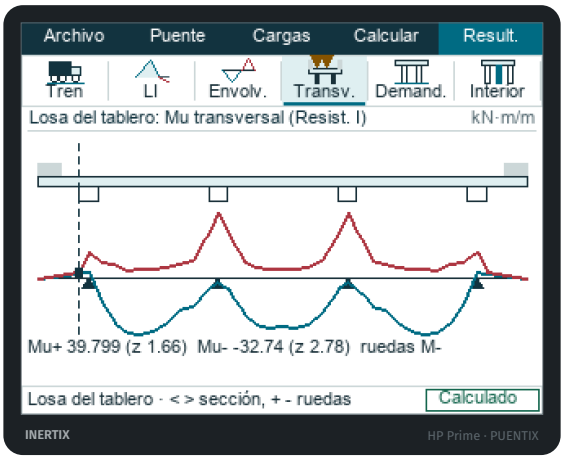
Con la regla de la palanca, las cargas sobre el voladizo cargan la viga exterior y descargan la primera interior; por eso la vereda aporta −1.04 kN/m a la viga 2. Valores del motor verificado contra un modelo de elementos finitos.

5.7 Ejemplo corto: viga-losa con diafragmas y losa del tablero

1 **Archivo** Ejemplos > `Viga-losa 12 m, 4 vigas, diafragmas y cartelas`: un tramo simple de 12 m, W = 7.95 m, 4 vigas de 0.30 × 0.85 m a 2.10 m, losa de 0.20 m, cartelas de 0.23 × 0.15 m, barrera de 4.775 kN/m con su centro a 0.13 m del borde, asfalto de 2”, diafragmas de 0.25 m en apoyos y en el centro (hueco 0.15 m), reparto por ancho tributario, f'_c = 280 y f_y = 4200 kgf/cm^2, barras de 1/2″ en el tablero y exposición clase 2. Después, 4 **Calcular** Resolver.



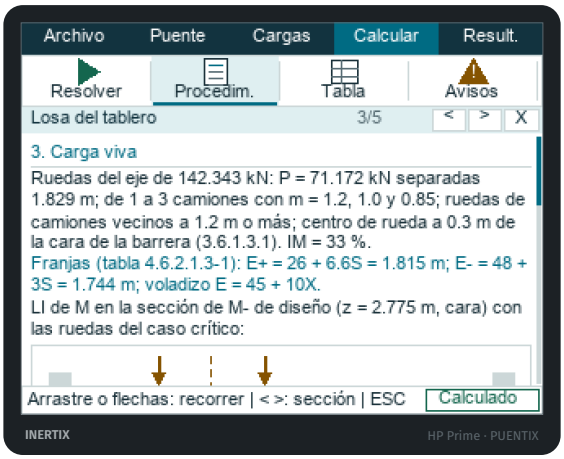
3 **Cargas** Diafrag.



5 **Result.** Transv. y **Enter**: losa del tablero.



5 **Result.** Demand. y **Enter**: armado del tablero.



Procedimiento 8, `Losa del tablero`: carga viva.

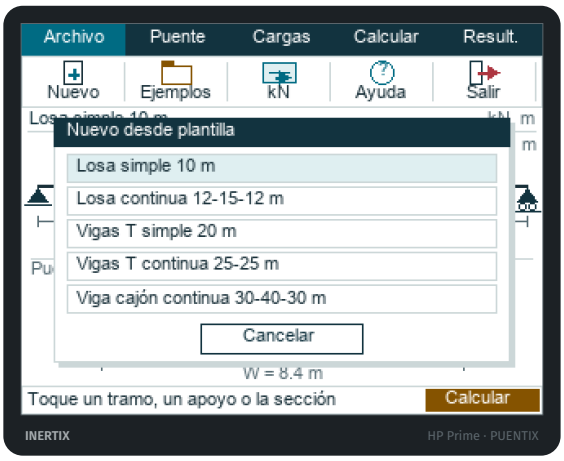
Magnitud	Referencia	PUENTIX	Estado
w_{DC} viga interior / exterior (T/m)	1.559 / 1.938	1.559 / 1.938	Coincide
Peso de un diafragma, int. / ext. (T)	0.540 / 0.270	0.540 / 0.270	Coincide
M_{DC} viga interior / exterior (T·m)	29.68 / 35.73	29.68 / 35.69	Coincide
M_{DW} viga interior / exterior (T·m)	4.23 / 3.02	4.23 / 3.02	Coincide
Tablero: M^{-}_{LL+IM} en el eje B (T·m/m)	−2.53	−2.54	Coincide
Tablero: M^{+}_{u} (T·m/m)	4.08	4.06	Coincide
Tablero: A^{+}_{s} (cm^2/m)	6.63	6.59	Coincide
Tablero: acero de temperatura (cm^2/m)	2.33	2.33	Coincide

Referencia: problema 3.2 de Rodríguez Serquén [3]. La pantalla muestra kN; 1 T = 9.807 kN. El M^{-}_{u} de diseño del tablero (−3.34 T·m/m, cara de la viga) sale de la envolvente y difiere del libro (−3.28), que fija la posición de las ruedas del eje; con exposición clase 2 el acero superior queda en 1/2″ @ 0.155 m por fisuración.

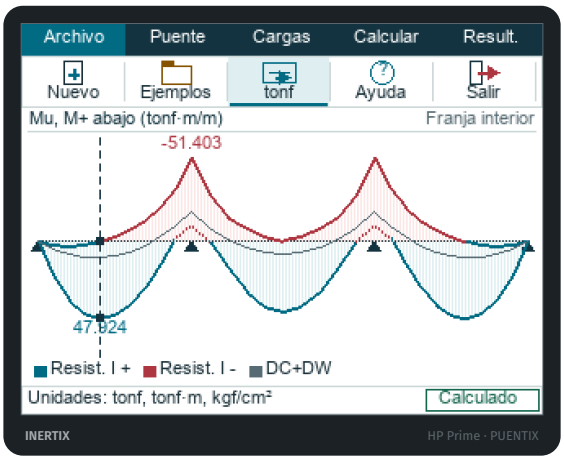
6 Referencia de menús y opciones

6.1 1 · Archivo

Orden	Qué hace
Nuevo	Reemplaza los datos por una plantilla: losa simple 10 m, losa continua 12-15-12 m, vigas T simple 20 m, vigas T continua 25-25 m o viga cajón continua 30-40-30 m (las de vigas y cajón ya traen diafragmas).
Ejemplos	Carga uno de los seis ejemplos: vigas T presforzadas de 25 m, losa simple de 7.62 m con veredas anchas, la losa continua del ejemplo guiado, losa simple de 8 m (franjas interior y de borde), viga-losa de 12 m con diafragmas y cartelas, y vigas T de 2 x 20 m con veredas, baranda y postes.
kN / tonf	Cambia las unidades de presentación (el cálculo no cambia).
Ayuda	Documento desplazable con el resumen de menús y teclas.
Salir	Pide confirmación y cierra PUENTIX; los datos quedan en memoria.



1 **Archivo** Nuevo: plantillas.



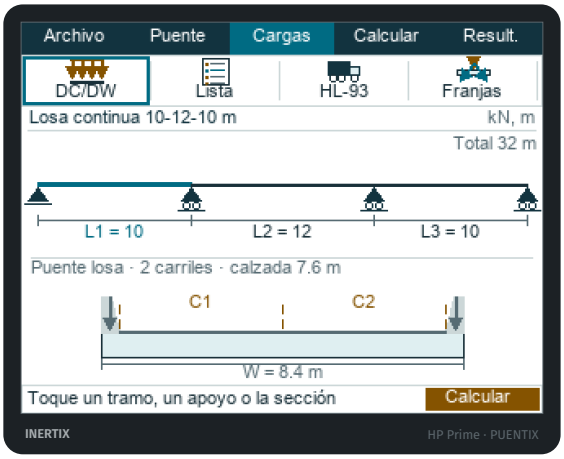
La envolvente en tonf·m/m.

6.2 2 · Puente

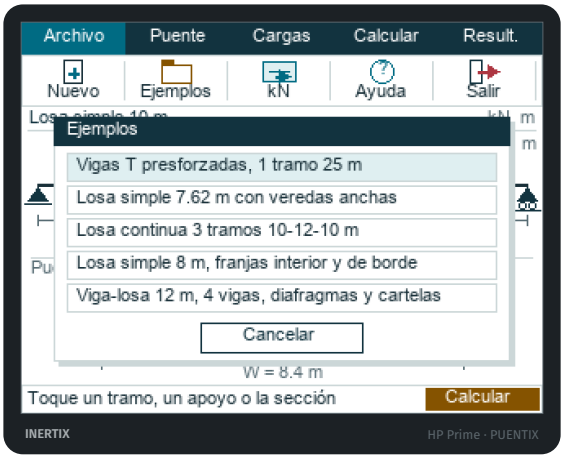
Orden	Qué hace
Tramo	Edita la luz del tramo elegido, o de todos con `Aplicar a: todos` (2 a 150 m).
+Tramo / -Tramo	Inserta un tramo a la derecha del elegido (misma luz) o quita el elegido, con confirmación.
Tablero	Tipo (losa, vigas T, cajón), ancho total *W*, barrera o vereda *b* y espesor de la losa.
Armado / Vigas / Cajón	Según el tipo: barras y recubrimientos de la losa; número, separación, alma, altura y cartelas de las vigas; celdas, separación, almas, altura y losa inferior del cajón.
Losa	Solo en vigas y cajón: barras y recubrimientos de la losa del tablero.
Material	f'_c, f_y, peso del concreto, clase (armado o presforzado) y exposición.

6.3 3 · Cargas

Orden	Qué hace
DC/DW	Asfalto (peso y espesor), peso de la barrera y posición de su centro desde cada borde; en vigas, el reparto de las cargas sobreimpuestas: uniforme, tributario o palanca.
Lista	Cargas DC o DW lineales (kN/m en *y*), de área (kN/m^2 de *y* inicial a *y* final) o puntuales (kN en *y* y en *x* del puente), en el lado izquierdo, derecho o ambos. Hasta 20; botones `Agregar`, `Editar` y `Borrar`.
Diafrag.	Solo vigas y cajón: diafragmas sí/no (activa también el método rígido), espesor, hueco bajo el diafragma, intermedios por tramo y en apoyos.
HL-93	Tren AASHTO US o SI, incremento dinámico *IM* en % y carga de carril sí/no.
Franjas / Distrib.	En losa, muestra las franjas automáticas. En vigas, elige AASHTO o factores manuales g_M y g_V para la viga interior y la exterior.



Cinta de `Cargas` en un puente losa.



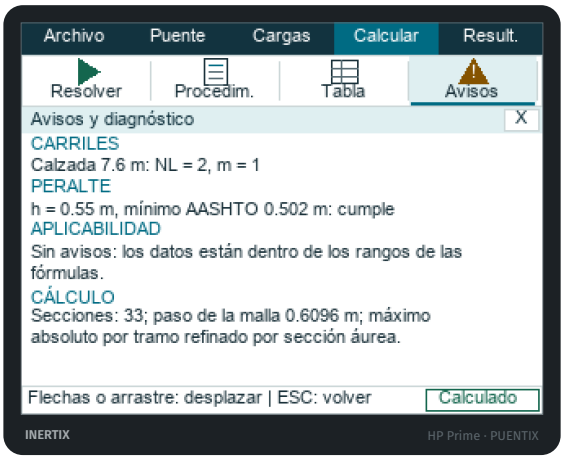
1 **Archivo** Ejemplos

6.4 4 · Calcular

Orden	Qué hace
Resolver	Valida los datos, calcula y marca `Calculado`.
Procedim.	Lista de nueve procedimientos; los que no aplican al puente activo se indican en la lista (Barré solo con 1 tramo, Cross con 2 o más). El 8 es el diseño de la losa en puentes losa y la losa del tablero en vigas y cajón.
Tabla	Máximos por franja o viga y tabla de M_u, V_u por sección.
Avisos	Carriles y factor de presencia múltiple, peralte mínimo, aplicabilidad de las fórmulas y datos del cálculo.



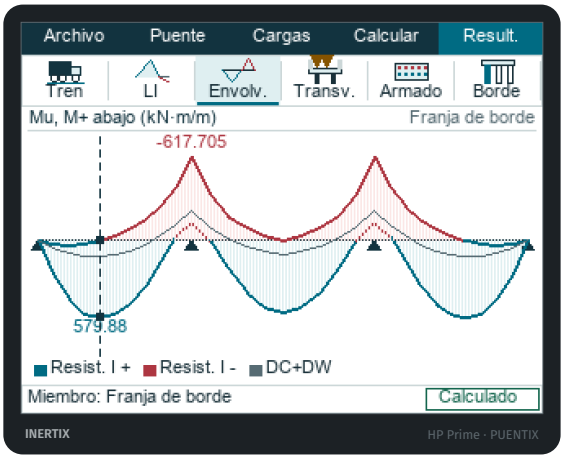
4 **Calcular** Procedim.



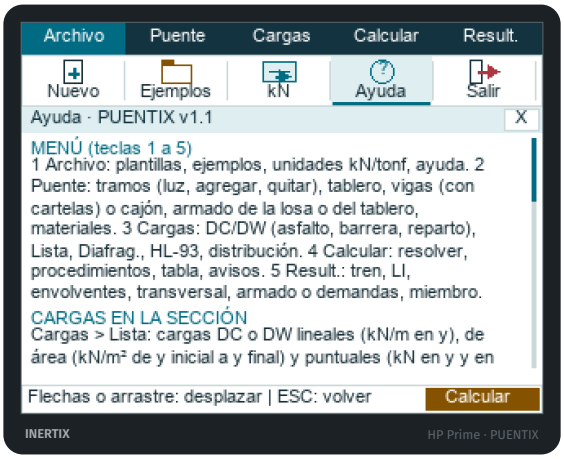
4 **Calcular** Avisos

6.5 5 · Result.

Orden	Qué hace
Tren	Vehículo móvil (camión o tándem) con su diagrama de momentos exacto; + − lo llevan a la posición crítica.
LI	Línea de influencia de M, V o R con los ejes del vehículo gobernante y sus ordenadas.
Envolv.	Envolventes de M_u o V_u (Resistencia I) y la carga permanente, con cursor.
Transv.	Franjas E y E_b, o factores de distribución con la figura de la palanca. En vigas, Enter (o pulsar otra vez el botón) pasa a la losa del tablero: M_u^+ y M_u^- a lo ancho, con cursor y las ruedas del caso crítico.
Armado / Demand.	Plano de barras de la losa, o tabla de demandas por viga interior y exterior; en vigas, Enter pasa al armado de la losa del tablero con sus verificaciones.
Interior / Borde (Exterior)	Cambia el miembro que muestran las vistas: franja interior o de borde, viga interior o exterior.



Envolvente de la franja de borde.



1 **Archivo** Ayuda

7 Fundamento teórico breve

7.1 Carga viva HL-93

Componente	Valores (US; entre paréntesis, SI)
Camión	Ejes de 35.6, 142.3 y 142.3 kN (35, 145, 145 kN); 4.27 m (4.3 m) entre los dos primeros y de 4.27 a 9.14 m (4.3 a 9.0 m) entre los traseros
Tándem	Dos ejes de 111.2 kN (110 kN) a 1.22 m (1.2 m)
Carril	9.34 kN/m (9.3 kN/m), sin incremento dinámico
M– y pilas	90 % de dos camiones (ejes traseros a 4.27 m (4.3 m), separados 15.24 m (15 m) o más) más 90 % del carril
Fatiga	Un camión con eje trasero a 9.14 m (9.0 m) e IM = 15 %

El efecto en una sección es la suma de cada carga por la ordenada de la línea de influencia:

$$M = (1 + IM)\sum_i P_i\,\eta_i + w_L\,A^+ \qquad (1)$$

Donde: P_i cargas por eje, η_i ordenadas de la línea de influencia bajo cada eje, w_L carga de carril y A^+ área de la parte de la línea de influencia del mismo signo.

7.2 Franjas equivalentes del puente losa

$$E_1 = 10 + 5.0\sqrt{L_1 W_1}\ \text{in} \qquad \text{(un carril)}$$

$$E_m = 84 + 1.44\sqrt{L_1 W_1} \le \frac{12\,W}{N_L}\ \text{in} \qquad \text{(varios carriles)}$$

$$E_b = b + 0.3048 + E/4 \le E/2 \text{ y} \le 1.83\ \text{m} \qquad \text{(borde)}$$

Donde: L_1 luz del tramo y W_1 ancho, en ft, limitados a 60 ft (30 ft para un carril); N_L número de carriles de diseño (calzada / 3.6 m, entero). Las fórmulas ya incluyen el factor de presencia múltiple; en fatiga se usa $1/(1.2\,E_1)$.

7.3 Distribución en vigas T (4.6.2.2)

$$g_M^1 = 0.06 + \left(\frac{S}{14}\right)^{0.4}\left(\frac{S}{L}\right)^{0.3}\left(\frac{K_g}{12\,L\,t_s^3}\right)^{0.1} \qquad g_M^{2+} = 0.075 + \left(\frac{S}{9.5}\right)^{0.6}\left(\frac{S}{L}\right)^{0.2}\left(\frac{K_g}{12\,L\,t_s^3}\right)^{0.1}$$

$$g_V^1 = 0.36 + \frac{S}{25} \qquad g_V^{2+} = 0.2 + \frac{S}{12} - \left(\frac{S}{35}\right)^2$$

Donde: S separación de vigas y L luz en ft, t_s espesor de losa en in, $K_g = n(I_g + A\,e_g^2)$. La viga exterior se obtiene por la regla de la palanca y el método rígido.

7.4 Cargas permanentes de la sección

Cada carga de la sección se reparte a los miembros de diseño y, a lo largo del puente, se analiza como carga uniforme (tres momentos) o puntual (línea de influencia exacta):

$$w_{\text{borde}} = \frac{\sum w_i + \sum q_j\, b_j}{E_b} \qquad w_{\text{int}} = q \text{ (áreas en la franja)} + \frac{\sum w_i}{E} \text{ (lineales interiores)}$$

$$w_k = \sum_i w_i\, f_k(y_i) + \sum_j q_j \int_{y_{1j}}^{y_{2j}} f_k(y)\, dy \qquad \text{(vigas)}$$

$$M(x) = w_{DC}\, M_1(x) + \sum_i P_i\, \eta_M(x;\, a_i), \qquad P_{\text{diaf}} = \gamma_c\,(h - t_s - e)\,(S - b_w)\,b$$

Donde: w_i cargas lineales (kN/m), q_j cargas de área (kN/m^2), b_j ancho de cada área dentro de la franja de borde E_b, E franja interior. En vigas, $f_k(y)$ es la fracción que toma la viga k de una carga en y: $1/N$ (uniforme), 1 dentro de su ancho tributario o la reacción de tramos simples entre vigas con el voladizo sobre la exterior (palanca). M_1 momento por $w = 1$, η_M línea de influencia y a_i posición de la carga puntual; una puntual sobre un apoyo pasa directa a la reacción. El diafragma exterior pesa la mitad.

7.5 Losa del tablero (vigas T y cajón)

Franja transversal de 1 m continua sobre los ejes de las almas, con voladizos. Ruedas del eje de 142.3 kN (145 kN) separadas 1.83 m (1.80 m), de 1 a 3 camiones con su factor m, ruedas de camiones vecinos a 1.2 m o más y a 0.3 m de la cara de la barrera:

$$M_{LL+IM} = \frac{m\,(1 + IM)}{E} \sum_i \frac{P}{2}\,\eta_i$$

$$E^{+} = 660 + 0.55\,S, \qquad E^{-} = 1220 + 0.25\,S, \qquad E_{\text{vol}} = 1140 + 0.833\,X \quad \text{(mm)}$$

$$\%_{\text{reparto}} = 3840/\sqrt{S_e} \le 67\,\%, \qquad S_e = S - b_w \text{ (mm)}$$

Donde: η_i ordenada de la línea de influencia del momento de la franja bajo cada rueda, S separación de almas, X distancia de la rueda al eje de la viga exterior. El momento negativo de diseño se toma en la cara del alma y en la raíz del voladizo (4.6.2.1.6). Con el tren US se usan las formas en pulgadas.

7.6 Factor de presencia múltiple y combinaciones

Estado	DC	DW	LL+IM	Uso
Resistencia I	1.25 / 0.90	1.50 / 0.65	1.75	Diseño a flexión y cortante
Servicio I	1.00	1.00	1.00	Fisuración
Fatiga I	—	—	1.75	Rango de momento

Donde: m = 1.20, 1.00, 0.85 y 0.65 para 1, 2, 3 y 4 o más carriles cargados.

7.7 Diseño a flexión de la losa

$$A_s = \frac{0.85\, f'_c\, b}{f_y}\left(d - \sqrt{d^2 - \frac{2\,M_u}{\phi\, 0.85\, f'_c\, b}}\right), \qquad M_r = \phi\, A_s f_y \left(d - \tfrac{a}{2}\right) \geq M_u$$

$$M_r \geq \text{mín}(1.33\, M_u,\ M_{cr}), \qquad M_{cr} = 0.67 \cdot 1.6 \cdot 0.63\sqrt{f'_c}\; b\, h^2/6$$

$$\%_{\text{reparto}} = 1750/\sqrt{L} \leq 50\,\% \quad (L \text{ en mm}), \qquad A_{s,\text{temp}} = \frac{0.75\, b\, h}{2(b+h)\, f_y}\ \text{mm}^2/\text{mm}$$

$$s \leq \frac{123\,000\,\gamma_e}{\beta_s\, f_{ss}} - 2\, d_c, \qquad \beta_s = 1 + \frac{d_c}{0.7\,(h - d_c)}$$

$$h_{\text{mín}} = \frac{S + 10}{30} \geq 0.54\ \text{ft}, \qquad \Delta_{LL} \leq L/800$$

Donde: $\phi = 0.9$ (se ajusta con la deformación del acero), d peralte efectivo, f_{ss} esfuerzo del acero en servicio con la sección fisurada, d_c recubrimiento al centro de la barra, S luz mayor en ft. El acero de temperatura (b y h en mm, f_y en MPa) queda entre 0.233 y 1.27 mm²/mm. En la losa del tablero, si la separación por resistencia no cumple la de fisuración, se reduce hasta cumplirla.

> **Nota**
> Las líneas de influencia salen de la ecuación de los tres momentos; el procedimiento 2 las compara con el método de rigidez y el 5 compara la carga permanente con el método de Cross.

Referencias

[1] AASHTO (2020). *LRFD Bridge Design Specifications*, 9.ª ed. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

[2] Palomino Torres, R. J. «Diseño de puente tipo losa con HP Prime». Vídeo en YouTube. Origen de la geometría del ejemplo guiado.

[3] Rodríguez Serquén, A. *Puentes con AASHTO-LRFD*, capítulo III, problemas 3.1 (puente losa de 8 m) y 3.2 (puente viga-losa de 12 m). Origen de los ejemplos «Losa simple 8 m» y «Viga-losa 12 m».

8 Preguntas frecuentes

¿Por qué aparece «Resultados pendientes»?

Porque algún dato cambió después del último cálculo. PUENTIX no muestra valores viejos: acepte la pregunta o use 4 **Calcular** Resolver.

¿Qué diferencia hay entre la franja interior y la de borde?

La de borde soporta la barrera y una línea de ruedas en un ancho menor, por eso pide más acero. Se cambia con 5 **Result.** Interior/Borde.

¿Por qué el procedimiento de Barré aparece «solo 1 tramo»?

El teorema de Barré vale para un tramo simplemente apoyado. En puentes continuos, PUENTIX ubica el vehículo crítico con las líneas de influencia; use `Tren` y la tecla +.

El programa rechaza mis datos.

El mensaje dice qué dato falla y dónde se corrige, por ejemplo «(Puente > Tablero)». Los límites son: luz de 2 a 150 m, barrera o vereda hasta 6 m, calzada de al menos 3.0 m e *IM* entre 0 y 100 %.

¿Diseña las vigas presforzadas o de acero?

No. En puentes de vigas entrega las demandas por viga interior y exterior (Resistencia I, Servicio I, fatiga y reacciones), que se usan para diseñar la viga con otro programa. Sí diseña la losa del tablero que va sobre las vigas.

¿Cómo agrego una vereda, una baranda o un poste?

En 3 **Cargas** Lista, tecla +: la vereda es una carga DC de área (su peso por m^2 entre dos posiciones), la baranda una lineal y el poste una puntual con su posición *x* a lo largo del puente. `Lado: Ambos` la repite en el otro borde. La barrera y el asfalto ya están en 3 **Cargas** DC/DW.

¿Desde dónde se mide la posición *y*?

Desde el borde del tablero del lado elegido. Con `Derecho`, y = 0.3 m está a 0.3 m del borde derecho. Una posición fuera de $0 \le y \le W$ se rechaza.

¿Qué reparto conviene en vigas: uniforme, tributario o palanca?

AASHTO 4.6.2.2.1 permite repartir por igual las cargas del tablero (uniforme). Tributario y palanca cargan más la viga exterior cuando hay veredas o barreras pesadas; la palanca puede dar aportes negativos a la primera viga interior.

¿Por qué la franja de borde da más que algunos libros?

PUENTIX aplica el factor de presencia múltiple m = 1.2 a la línea de ruedas de la franja de borde (AASHTO 3.6.1.1.2); hay textos que no lo aplican.

¿Cuánto tarda el cálculo?

Depende del número de tramos y del tren: el tren SI usa una malla de 0.1 m y es más lento que el US. Con pocos tramos, el cálculo es corto.

¿Puedo trabajar en toneladas?

Sí: 1 **Archivo** kN/tonf cambia todas las pantallas a tonf, tonf·m y kgf/cm^2. Los datos de entrada se muestran en la misma unidad.

¿Pierdo el puente al salir?

No. Los datos quedan en memoria y reaparecen la próxima vez que abra PUENTIX.