INERTIX

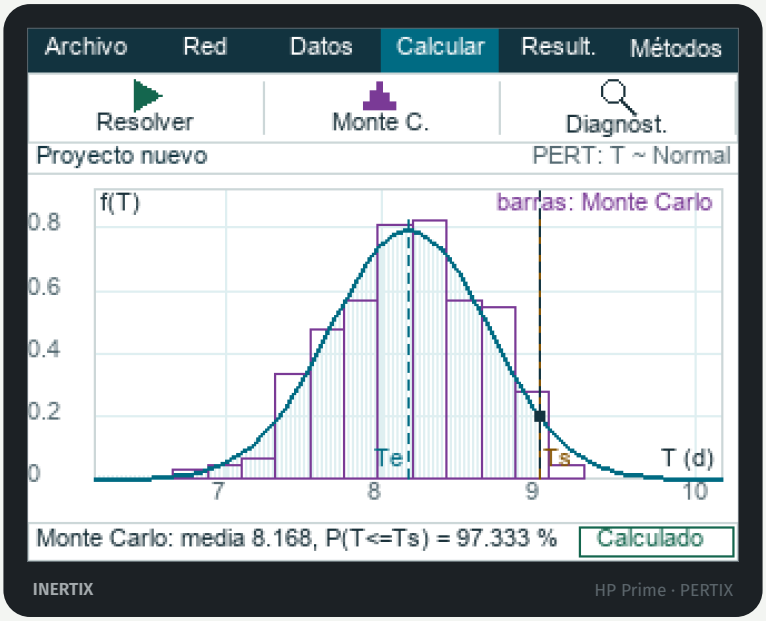
Programas de ingeniería civil para HP Prime

GUÍA DE USO

PERTIX

Planificación de proyectos con redes CPM y PERT

Versión 2026.10 **HP Prime G1 · G2** Gestión y costos · 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 **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. Qué necesita . . . 5

2.2. Copiar el programa a la calculadora . . . 5

3. Licencia de uso **6**

4. La interfaz **7**

4.1. Teclas . . . 7

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

4.3. Errores y avisos . . . 9

5. Ejemplo guiado **10**

5.1. Enunciado . . . 10

5.2. Datos . . . 10

5.3. Paso a paso . . . 10

5.4. Resultados . . . 16

5.5. Opciones importantes . . . 17

6. Referencia de menús y opciones **23**

6.1. 1 · Archivo . . . 23

6.2. 2 · Red . . . 23

6.3. 3 · Datos . . . 23

6.4. 4 · Calcular . . . 24

6.5. 5 · Result. . . . 24

6.6. 6 · Métodos . . . 24

7. Fundamento teórico breve **25**

7.1. Pases y holguras (CPM) . . . 25

7.2. PERT y Monte Carlo . . . 25

7.3. Compresión, desembolsos y rendimiento . . . 25

8. Preguntas frecuentes 26

1 Presentación y alcance

PERTIX planifica proyectos con **redes de actividades en el nodo** (AON) en la calculadora HP Prime. La red se dibuja y se edita sobre el lienzo, se resuelve por el método del camino crítico (CPM) o por PERT, y los resultados se ven sobre la propia red, en un diagrama de Gantt y en gráficas con cursor. Además, el programa desarrolla cada método **paso a paso** para comparar con el cálculo hecho a mano.

1.1 Qué calcula

- Pases hacia adelante y hacia atrás: ES, EF, LS y LF de cada actividad.
- Holguras total, libre e independiente; rutas críticas y todos los caminos, con los subcríticos (al menos el 90 % de la duración).
- PERT: tiempo esperado t_e, varianza, ruta de mayor varianza, z, probabilidad $P(T \leq T_s)$ y plazo para una probabilidad dada.
- Simulación Monte Carlo con distribución Beta-PERT: media, desviación, probabilidad e índice de criticidad de cada actividad.
- Compresión tiempo-costo exacta (Phillips–Dessouky, con descompresión) y plazo óptimo con costo indirecto.
- Desembolsos por periodo y curva S con inicio temprano y tardío.
- Duración por rendimiento: t = cantidad · rendimiento / (J · cuadrillas).

1.2 Unidades y convenciones

Magnitud	Unidad y convenio
Tiempo	Días, semanas o meses (3 **Datos** Proyecto > `Unidad`).
Relaciones	Solo Fin-Comienzo con desfase g: positivo es espera, negativo es solape.
Costos	En la moneda que se use; se reparten de forma uniforme en la duración de la actividad.
Jornada J	Horas por día; solo interviene en la duración por rendimiento.

1.3 Límites y fuera de alcance

Límite	Valor
Actividades	40
Enlaces	90
Ranuras de guardado	5

> **⚠ Fuera de alcance**
> PERTIX solo admite relaciones **Fin-Comienzo** (con desfase); no hay relaciones Comienzo-Comienzo, Fin-Fin ni Comienzo-Fin. No asigna recursos ni nivela. La probabilidad PERT usa la aproximación normal sobre la ruta crítica de mayor varianza. La compresión solo está disponible en modo CPM y supone costos lineales.

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

PERTIX 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 PERTIX 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: `PERTIX.hpappdir`;
   - el archivo de licencia: `LIC_PERTIX.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 PERTIX 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, PERTIX carga el ejemplo «CPM: red de 18 actividades» sin calcular.

La pantalla tiene siempre las mismas zonas.



1. **Barra de menú.** Seis categorías; se abren con las teclas 1 a 6 o tocándolas.
2. **Cinta.** Órdenes de la categoría activa.
3. **Lienzo.** La red AON: cada caja es una actividad y cada flecha una relación Fin-Comienzo; sobre él se ven también las vistas de resultados.
4. **Línea de estado.** Datos de la actividad seleccionada y mensajes.
5. **Botón de cálculo.** `Calcular` si hay cambios sin resolver; `Calculado` si los resultados están al día.

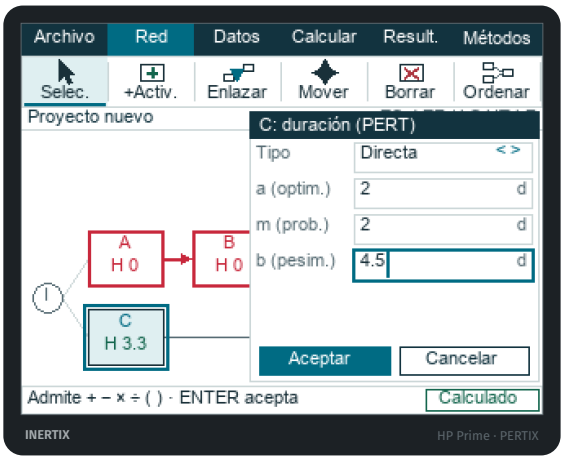
4.1 Teclas

Tecla	Dónde	Acción
1 … 6	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	Cinta	Activa la orden resaltada.
Esc	Cinta	Devuelve el foco al lienzo.
◀ ▶	Red	Recorre las actividades.
Enter	Red	Abre las propiedades de la actividad seleccionada; sin selección, calcula.
Del	Red	Elimina la actividad seleccionada y sus enlaces (pide confirmación).
+ − 0	Red	Acercar, alejar y encuadrar la red.
Flechas y Enter	Gráficas	Mueven el cursor; Enter lo lleva al valor notable (T_s, óptimo).
Esc	Lienzo	Anula la acción, vuelve a la red o pide confirmar la salida.

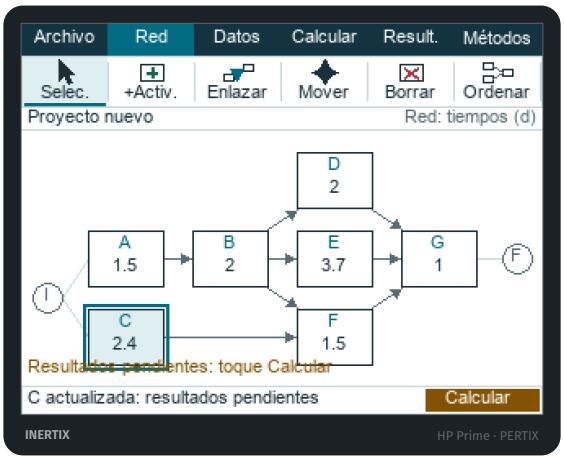
Pantalla táctil

Tocar una categoría o una orden la activa; tocar una actividad la selecciona y tocarla de nuevo abre sus propiedades; arrastrar desplaza la vista. Para **crear** una actividad hay que tocar un espacio libre del lienzo con la herramienta `+Activ.`: es la única acción que no tiene tecla.

4.2 Editar un valor y resultados pendientes



Edición en la propia celda del formulario.



Tras un cambio, los resultados quedan pendientes.

- En un formulario, ▲ ▼ cambian de campo. Teclear un número **reemplaza** el valor; ◀ ▶ mueven el cursor dentro del número y Del borra el carácter anterior al cursor. Un campo que se deja vacío conserva el valor anterior.
- Enter acepta y pasa al campo siguiente; Esc anula la edición. En los campos con < >, ◀ ▶ cambian la opción.
- Cualquier cambio deja los resultados **pendientes**: PERTIX no muestra valores de una solución anterior. Vuelva a 4 **Calcular** Resolver.

4.3 Errores y avisos

Mensaje	Causa y qué hacer
`A: el tiempo optimista a no puede ser negativo.`	Dato fuera de rango. El formulario sigue abierto y el proyecto no cambia: corrija el valor o anule con Esc. Igual con $d < 0$, $C_n < 0$, $d_c > d$ o $C_c < C_n$.
`Ciclo: A ya precede (directa o indirectamente) a G.`	El enlace pedido cerraría un ciclo; no se crea.
`Máximo 40 actividades.` · `Máximo 90 enlaces.`	Límites del programa.
`Método no disponible`	El método no aplica al proyecto y el texto dice qué falta, por ejemplo `Requiere modo CPM (duraciones deterministas): Datos > Proyecto.`
`Corridas Monte Carlo entre 20 y 5000.`	*N* fuera de rango en el formulario de Monte Carlo.
`Cálculo interrumpido: vuelva a Calcular`	Se cortó un cálculo con la tecla On (ver el recuadro).

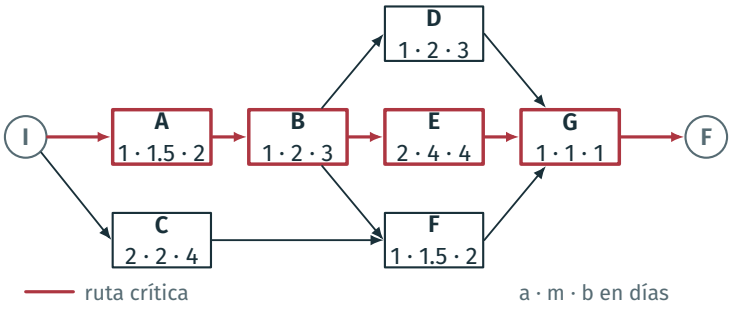
⚠ Corte con la tecla On

Si corta con On un cálculo, la simulación Monte Carlo (recuadro `Simulando N corridas`) o una acción que reescribe el proyecto (Nuevo, Ejemplos, Abrir, eliminar una actividad, Ordenar, Diagnóst.), al volver a entrar PERTIX abre con el **proyecto intacto**, los resultados **pendientes** y el aviso `Cálculo interrumpido: vuelva a Calcular`. Nunca muestra como válidos los resultados de un cálculo a medias. Pulse 4 Calcular Resolver y, si lo necesita, repita Monte Carlo.

5 Ejemplo guiado

5.1 Enunciado

La instalación eléctrica de una obra se divide en 7 actividades con tiempos optimista (a), más probable (m) y pesimista (b) en días, unidas por relaciones Fin-Comienzo sin desfase. Calcular el **tiempo esperado** del proyecto, la **ruta crítica** y las **holguras**, la **probabilidad de terminar en 9 días** o menos y contrastarla con una **simulación Monte Carlo** de 300 corridas.



5.2 Datos

Act.	Descripción	a (d)	m (d)	b (d)	Predecesoras
A	Conductos	1	1.5	2	—
B	Cables	1	2	3	A
C	Centro de carga	2	2	4	—
D	Lámparas	1	2	3	B
E	Contactos	2	4	4	B
F	Conexión centro	1	1.5	2	B, C
G	Alimentación	1	1	1	F, D, E

Proyecto	Valor	Observación
Modo	PERT (a, m, b)	Unidad: días
Plazo T_s	9 d	Para $P(T \le T_s)$
Monte Carlo	N = 300, semilla 12345	Valores por defecto

Fuente: Caso de validación oficial de INERTIX para redes de programación y control de proyectos CPM/PERT (`Archivo > Ejemplos`). La red de 7 actividades permite verificar analíticamente los tiempos esperados (t_e), varianzas, identificación de la ruta crítica y cálculo de la probabilidad de cumplimiento temporal.

5.3 Paso a paso

El ejemplo se construye **desde cero** en 17 pasos. En cada paso, la fila *Teclas* es la secuencia exacta desde el final del paso anterior; ▶ ×2 significa pulsar la tecla dos veces. Crear una actividad exige **tocar** un espacio libre del lienzo (pasos 5 a 7); todo lo demás se hace con el teclado. Se parte de la pantalla inicial de PERTIX.

1 Nuevo: proyecto en blanco



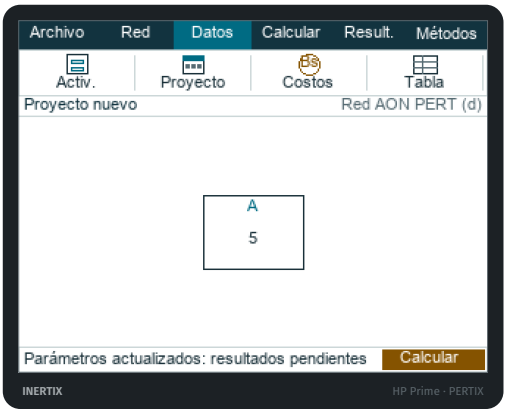
TECLAS

1 Enter ×2

1 **Archivo** Nuevo abre la lista de plantillas; la primera, `Proyecto en blanco`, ya está resaltada. Deja una sola actividad A y los valores habituales: CPM, días, sin plazo.

✔ **Debe verse:** Lienzo con la actividad A y «Plantilla cargada: Proyecto nuevo»

2 Proyecto: modo PERT y plazo Ts = 9 d



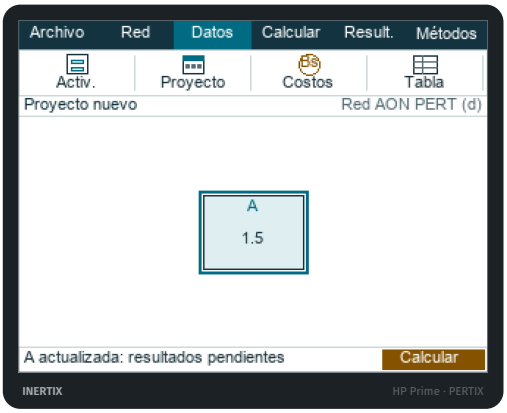
TECLAS

3 ▶ Enter ▶ ▼ ×2 9 Enter ▼ ×3 Enter

3 **Datos** Proyecto abre el formulario. Con ▶ el campo `Modo` pasa a PERT y aparecen `Plazo Ts` y `P objetivo`. Teclee 9 en el plazo, baje a `Aceptar` y pulse Enter.

✔ **Debe verse:** «Parámetros actualizados: resultados pendientes»; rótulo «Red AON PERT (d)»

3 Tiempos de A: 1 / 1.5 / 2 d



TECLAS

▶ Enter ×2 1 Enter 1 . 5 Enter 2 Enter ×2

▶ selecciona A y Enter abre sus propiedades; la primera línea, `Duración`, abre el formulario con el foco en *a*. Cada Enter acepta un valor y pasa al siguiente; el último Enter pulsa `Aceptar`.

✔ **Debe verse:** «A actualizada: resultados pendientes»; el nodo A muestra te = 1.5

4 Alejar la vista y elegir la herramienta +Activ.



TECLAS

Esc − ×3 2 ▶ Enter

Esc quita la selección y tres pulsaciones de − alejan la vista para dejar sitio a las demás actividades. Luego 2 Red +Activ. prepara la herramienta de creación.

✔ **Debe verse:** A pequeña en el centro; abajo: «Toque un espacio libre para crear la actividad»

5 Crear B (1/2/3) y C (2/2/4)



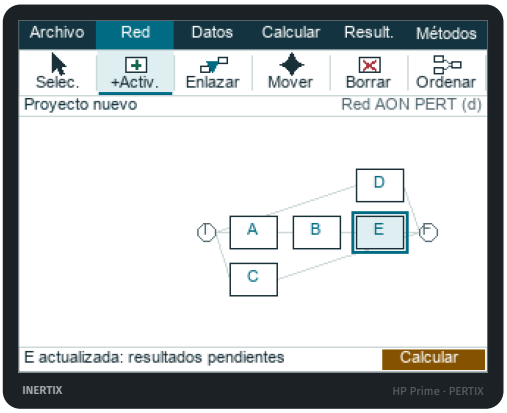
TECLAS

el espacio a la derecha de A 1 Enter 2 Enter 3 Enter ×2 el espacio debajo de A 2 Enter 2 Enter 4 Enter ×2

Toque el espacio a la derecha de A: PERTIX crea B y abre su formulario con el foco en *a*. Teclee 1, 2 y 3 con Enter. Repita debajo de A para C. Los códigos se asignan por orden de creación, por eso hay que crearlas en el orden de la tabla.

✔ **Debe verse:** B a la derecha de A y C debajo de A, todavía sin flechas

6 Crear D (1/2/3) y E (2/4/4)



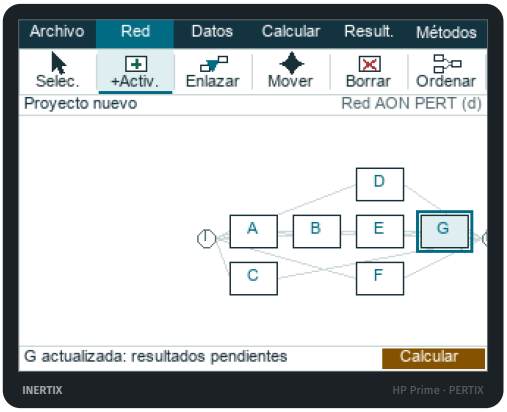
TECLAS

el espacio arriba a la derecha de B 1 Enter 2 Enter 3 Enter ×2 el espacio a la derecha de B 2 Enter 4 Enter 4 Enter ×2

D va arriba a la derecha de B y E a su derecha: en la tercera columna, la de las actividades que siguen a B. La posición solo ordena el dibujo; las relaciones se definen en los pasos siguientes.

✔ **Debe verse:** D y E en la tercera columna

7 Crear F (1/1.5/2) y G (1/1/1)



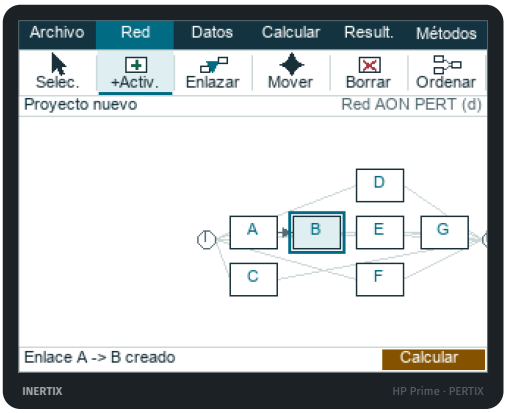
TECLAS

el espacio debajo de E | 1 | Enter | 1 | . | 5 | Enter | 2 | Enter ×2 | el espacio a la derecha de E | 1 | Enter | 1 | Enter | 1 | Enter ×2

F debajo de E y G a la derecha de E. Con esto están las siete actividades y sus tiempos, todavía sin ninguna flecha.

✔ **Debe verse:** Siete actividades sin enlaces; G seleccionada

8 Predecesora de B: A



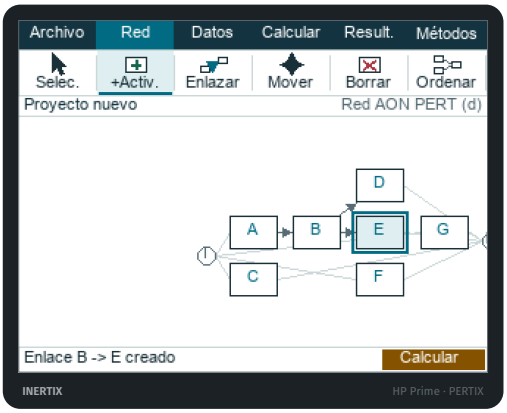
TECLAS

Esc | ▶ ×2 | Enter | ▼ ×3 | Enter ×2

Esc quita la selección y ▶ ×2 selecciona B. En sus propiedades, la cuarta línea es `Agregar predecesora`: muestra las actividades que pueden precederla sin formar un ciclo. A es la primera; Enter crea la flecha A → B.

✔ **Debe verse:** Flecha A → B; abajo: «Enlace A -> B creado»

9 Predecesora de D y de E: B



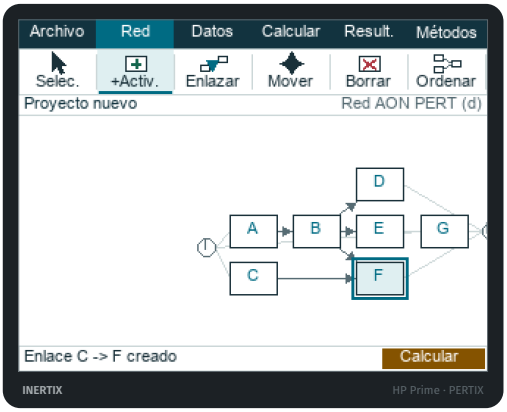
TECLAS

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

Con el mismo procedimiento, D y E reciben a B como predecesora. En la lista de candidatas B aparece en segundo lugar, por eso se baja una vez con ▼.

✔ **Debe verse:** Flechas B → D y B → E

10 Predecesoras de F: B y C



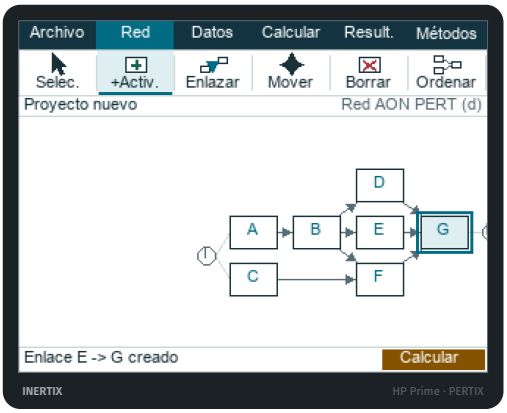
TECLAS

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

F tiene dos predecesoras: primero B y, sin mover la selección, otra vez `Agregar predecesora` para C. Una actividad puede tener tantas predecesoras como haga falta.

✔ **Debe verse:** Flechas B → F y C → F

11 Predecesoras de G: F, D y E



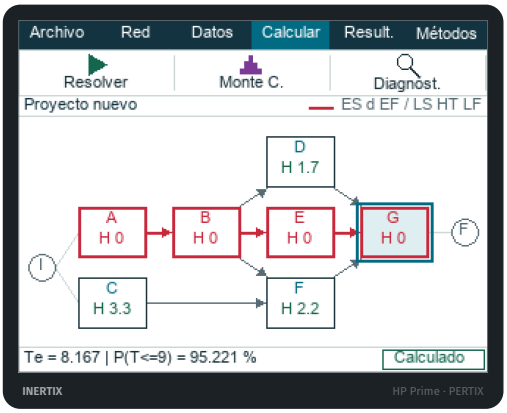
TECLAS

▶ Enter ▼×3 Enter ▼×5 Enter×2 ▼×3 Enter ▼×3 Enter×2 ▼×3 Enter ▼×3 Enter

G cierra la red con tres predecesoras. Si se intenta un enlace que forma un ciclo, PERTIX lo rechaza con un mensaje; aquí la lista solo ofrece candidatas válidas.

✔ **Debe verse:** Red completa con 8 enlaces; abajo: «Enlace E -> G creado»

12 Encuadrar y resolver



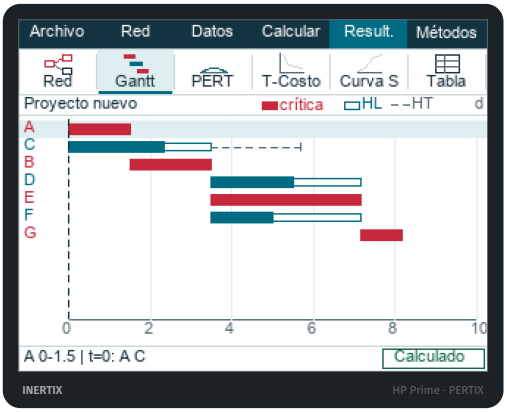
TECLAS

0 4 Enter

0 encuadra la red y 4 Calcular Resolver la calcula. La ruta crítica A-B-E-G queda en rojo y cada caja muestra su holgura total. La línea de estado da T_e = 8.167 d y $P(T \le 9)$ = 95.221 %.

✔ **Debe verse:** Ruta A-B-E-G en rojo, holguras en los nodos; abajo: «Te = 8.167» y «P(T<=9) = 95.221 %»; chip «Calculado»

13 Diagrama de Gantt



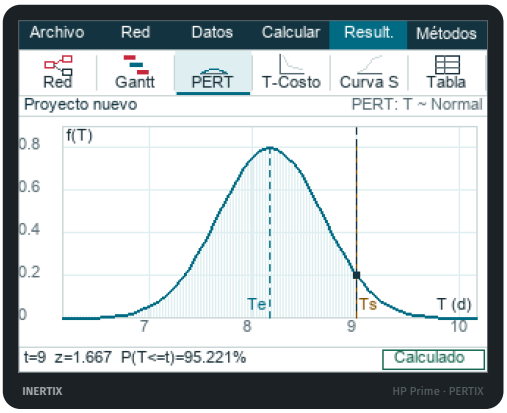
TECLAS

5 ▶ Enter

5 **Result.** Gantt dibuja las barras en el programa temprano. Las críticas van en rojo; en las demás, la caja es la holgura libre y los trazos la total. Las flechas recorren el cursor de tiempo.

✔ **Debe verse:** Barras críticas en rojo, holgura libre (caja) y total (trazos) en C, D y F

14 Campana PERT con el cursor en Ts



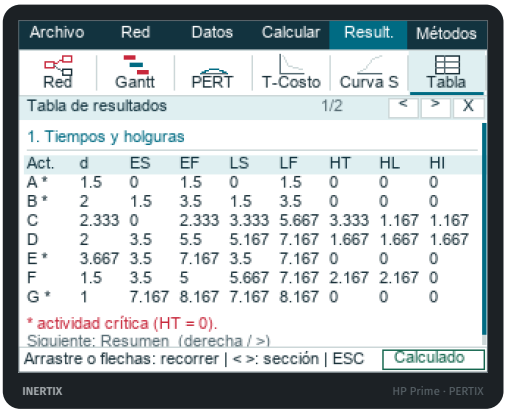
TECLAS

5 ▶ ×2 Enter ×2

5 **Result.** PERT dibuja la distribución normal del plazo con T_e y T_s. Enter lleva el cursor a T_s = 9 d y la línea de estado da z = 1.667 y $P(T \le 9)$ = 95.221 %.

✔ **Debe verse:** Campana normal con Te y Ts; abajo: «t=9 z=1.667 P(T<=t)=95.221 %»

15 Tabla de resultados



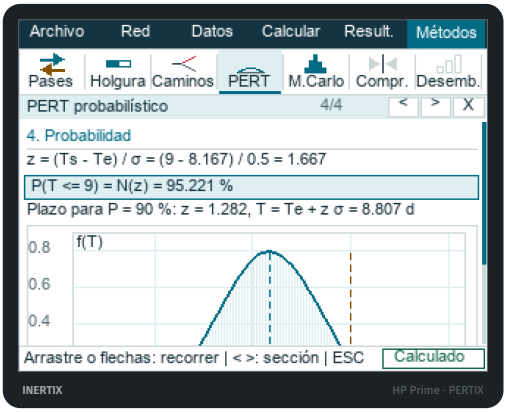
TECLAS

5 ▶ ×5 Enter

5 **Result.** Tabla reúne $d = t_e$, ES, EF, LS, LF y las holguras HT, HL y HI de las siete actividades; las críticas llevan asterisco. La sección 2 resume la ruta y la probabilidad.

✔ **Debe verse:** ES, EF, LS, LF, HT, HL y HI de las 7 actividades; C con HT = 3.333

16 Procedimiento PERT: probabilidad



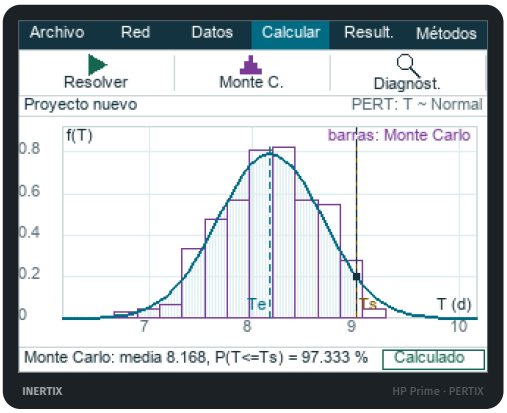
TECLAS

Esc 6 ▶ ×3 Enter ▶ ×3

6 **Métodos** PERT desarrolla el método en cuatro secciones: tiempos esperados, CPM con t_e, ruta y varianza, y probabilidad. ▶ avanza de sección hasta la 4, que calcula z y P y el plazo para la probabilidad objetivo (90 %: 8.807 d).

✔ **Debe verse:** Sección 4/4: z = (9 − 8.167)/0.5 = 1.667 y P(T ≤ 9) = N(z) = 95.221 %

17 Monte Carlo con 300 corridas



TECLAS

Esc 4 ▶ Enter ▼ ×2 Enter

4 **Calcular** Monte C. abre el formulario con N = 300 y la semilla 12345; baje a `Aceptar`. Mientras simula aparece el recuadro `Simulando 300 corridas`. El histograma simulado se superpone a la campana: media 8.168 d y $P(T \le 9)$ = 97.333 %, algo mayor que la aproximación normal.

✔ **Debe verse:** Histograma sobre la campana; abajo: «Monte Carlo: media 8.168, P(T<=Ts) = 97.333 %»

5.4 Resultados

PERTIX coincide con la referencia

El tiempo esperado, la ruta crítica, la holgura de C, la desviación y la probabilidad coinciden con la referencia. La simulación Monte Carlo sirve de contraste: la aproximación normal sobre una sola ruta es una estimación del método PERT clásico.

Magnitud	Referencia	PERTIX	Estado
Tiempo esperado T_e	8.17 d	8.1667 d	Coincide
Ruta crítica	A-B-E-G	A-B-E-G	Coincide
Holgura total de C	3.33 d	3.333 d	Coincide
Holgura total de D y de F	—	1.667 d · 2.167 d	—
Holgura libre de C	—	1.167 d	—
Desviación de la ruta, σ	0.5 d	0.5 d	Coincide
$z = (T_s - T_e)/\sigma$	1.667	1.667	Coincide
$P(T \le 9$ d)	95.22 %	95.221 %	Coincide
Plazo para $P = 90$ %	—	8.807 d	—
Monte Carlo: media · $P(T \le 9)$	—	8.168 d · 97.333 %	Contraste

Te = 1.5 + 2 + 3.6667 + 1 (A-B-E-G). Las actividades críticas tienen holgura total nula. Monte Carlo usa la distribución Beta-PERT y la semilla 12345: con otra semilla cambia la tercera cifra.

Comprobación a mano

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}: \quad t_{e,A} = 1.5,\ t_{e,B} = 2,\ t_{e,E} = \frac{2 + 16 + 4}{6} = 3.667,\ t_{e,G} = 1$$

$$T_e = 1.5 + 2 + 3.667 + 1 = 8.167 \text{ d} \qquad \sigma^2 = \sum \left(\frac{b-a}{6}\right)^2 = \frac{1+4+4+0}{36} = 0.25$$

$$z = \frac{9 - 8.167}{0.5} = 1.667 \ \Rightarrow \ P(T \le 9) = \Phi(1.667) = 0.9522$$

5.5 Opciones importantes

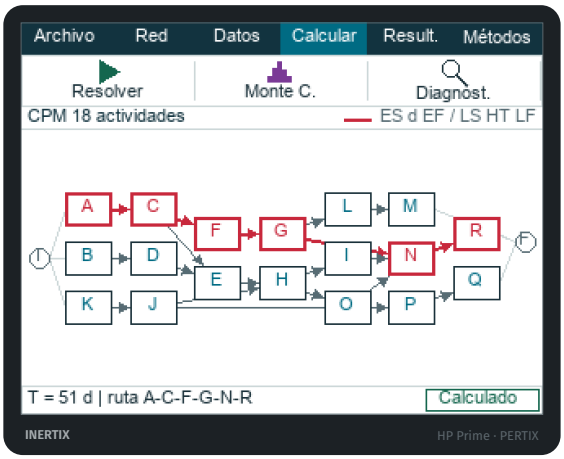
Seis casos cortos cubren lo que el ejemplo guiado no usa: CPM determinista y caminos, compresión, desembolsos, duración por rendimiento, probabilidad con otra unidad y criticidad, y guardado y avisos. Los cinco primeros se cargan con 1 **Archivo** Ejemplos, que **sustituye el proyecto**; guarde antes el suyo en una ranura.

OI-1 · CPM: red de 18 actividades (caminos y holgura libre)

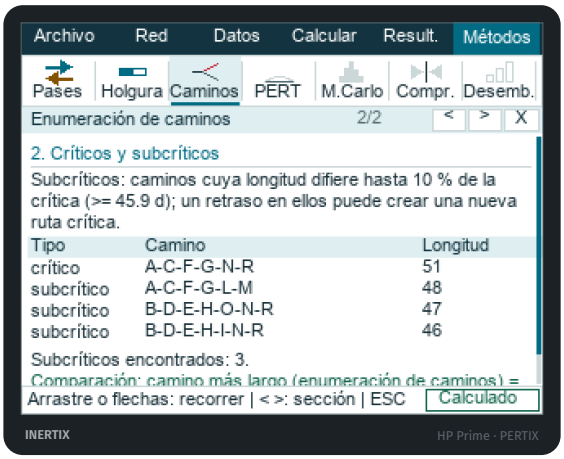
Red determinista de 18 actividades (A a R, en días, Fin-Comienzo sin desfase).

Fuente: Caso de validación oficial de INERTIX para redes deterministas CPM de 18 actividades.

1. 1 **Archivo** Ejemplos > `CPM: red de 18 actividades`.
2. 4 **Calcular** Resolver: la ruta A-C-F-G-N-R queda en rojo y la línea de estado da $T = 51$ d.
3. Con ▶ recorra las actividades: cada caja muestra ES, d, EF y LS, HT, LF.
4. 6 **Métodos** Caminos y ▶: sección «Críticos y subcríticos».
5. 5 **Result.** Tabla: HT y HL de las 18 actividades.



Red resuelta: T = 51 d, ruta A-C-F-G-N-R.



Caminos crítico y subcríticos.

Resultado	Valor
Duración y ruta crítica	T = 51 d · A-C-F-G-N-R
Holgura total	B, D, E, H y O: 4 d; I: 5 d; J y K: 13 d; L y M: 3 d; P y Q: 6 d
Holgura libre	J: 9 d; Q: 6 d; I: 5 d; M: 3 d; resto 0
Caminos	12; el segundo más largo es A-C-F-G-L-M = 48 d

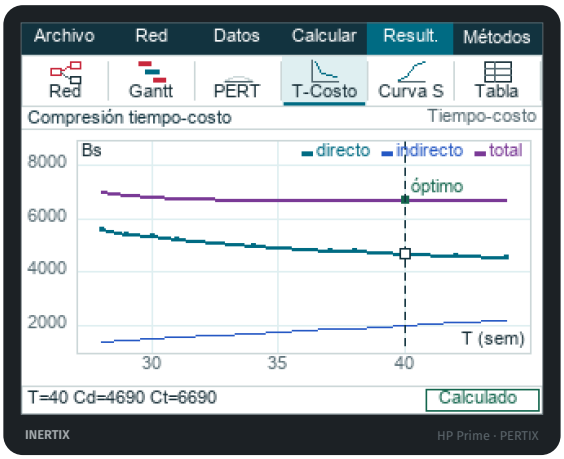
Cómo leerlo. J puede retrasarse 9 d sin mover a ninguna sucesora (holgura libre) y 13 d sin retrasar el proyecto (holgura total). El camino de 48 d es subcrítico: si una de sus actividades se retrasa más de 3 d, pasa a ser la ruta crítica.

OI-2 · Compresión tiempo-costo (CPM)

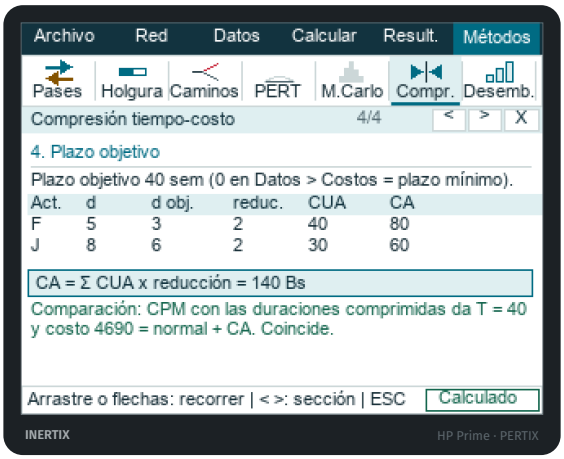
Red de construcción de un edificio (14 actividades, semanas) en modo CPM con $d = t_e$, duración tope d_c, costo normal C_n y costo tope C_c por actividad (en miles), costo indirecto de 50 por semana y plazo objetivo de 40 semanas.

Fuente: red del ejemplo Reliable Construction Co. de Hillier y Lieberman, *Introducción a la investigación de operaciones*, con costos de compresión ilustrativos. La curva se contrastó con programación lineal.

1. 1 **Archivo** Ejemplos > `Compresión tiempo-costo (CPM)`.
2. 3 **Datos** Costos: costo indirecto 50/sem, plazo objetivo 40 sem y periodo de corte; Esc sin cambiar.
3. 4 **Calcular** Resolver: T = 44 sem con duraciones normales.
4. 5 **Result.** T-Costo: curvas de costo directo, indirecto y total; Enter lleva el cursor al óptimo.
5. ◄ ► recorren los quiebres; la línea de estado da T, costo directo y total.
6. 6 **Métodos** Compr. y ►×3: sección «Plazo objetivo».



Curva costo-plazo: directo, indirecto y total.



Procedimiento: plazo objetivo y costo de aceleración.

Resultado	Valor
Plazo y costo normales	44 sem · costo directo 4550
Comprimir a 40 sem	+140 (acorta J y F) · costo directo 4690
Óptimo con costo indirecto	T = 40 sem · costo total 6690
Plazo mínimo	28 sem · costo directo 5640

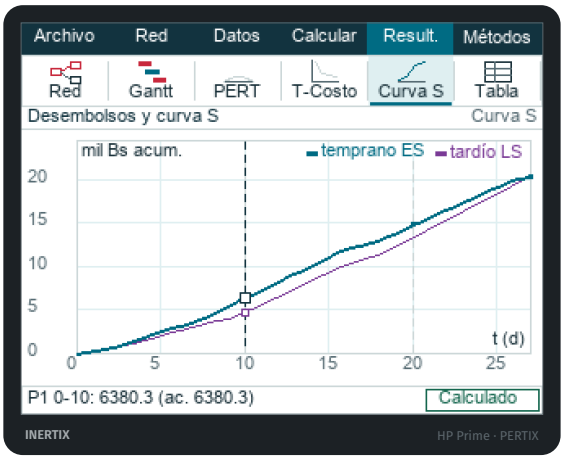
Cómo leerlo. Cada quiebre es un plazo en el que cambia el corte de costo mínimo. Acortar de 44 a 40 sem cuesta 140 y ahorra 4 × 50 = 200 de indirectos, por eso el óptimo está en 40 sem. Comprimir más allá encarece el total aunque el plazo mínimo llegue a 28 sem.

OI-3 · Desembolsos y curva S

Seis actividades (A a F) con duraciones de 8, 5, 14, 10, 9 y 18 días, inicios fijados con desfases Fin-Comienzo (A → C con −6 d, B → D con +1 d, C → E con +2 d, A → F sin desfase) y costos de 1700, 600, 4500, 1300, 3400 y 8900 Bs. Cortes cada 10 días.

Fuente: Caso de validación oficial de INERTIX para curvas de avance financiero y desembolsos.

1. 1 **Archivo** Ejemplos > `Desembolsos y curva S`.
2. En las propiedades de C, `Predecesoras` muestra A con g = −6: C empieza 6 d antes de que termine A (solape).
3. 4 **Calcular** Resolver: T = 27 d, ruta A-C-E.
4. 5 **Result.** Curva S: costo acumulado con inicio temprano (ES) y tardío (LS).
5. ▶ recorre los periodos; la línea de estado da el desembolso del periodo y el acumulado.
6. 6 **Métodos** Desemb.: programa y cortes, prorrateo por actividad y desembolsos.



Curva S temprana y tardía.



Desembolsos por periodo y comprobación.

Resultado	Valor
Duración	27 d · ruta A-C-E
Desembolsos (programa temprano)	6380.32 · 8408.57 · 5611.11 Bs
Total	20 400 Bs

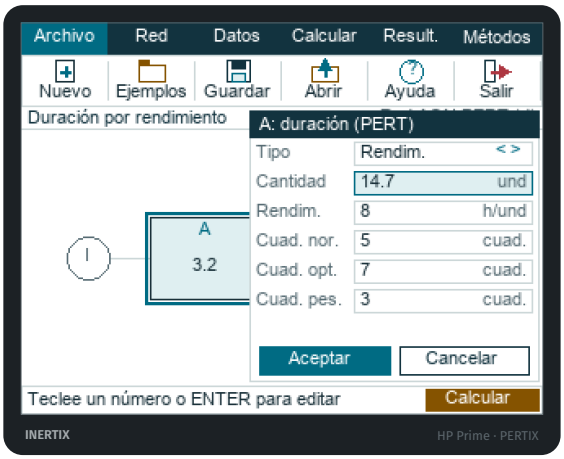
Cómo leerlo. La distancia entre las dos curvas es el margen financiero: con inicio tardío se aplaza gasto sin retrasar el proyecto. Un desfase negativo adelanta la sucesora y concentra desembolsos.

OI-4 · PERT: duración por rendimiento

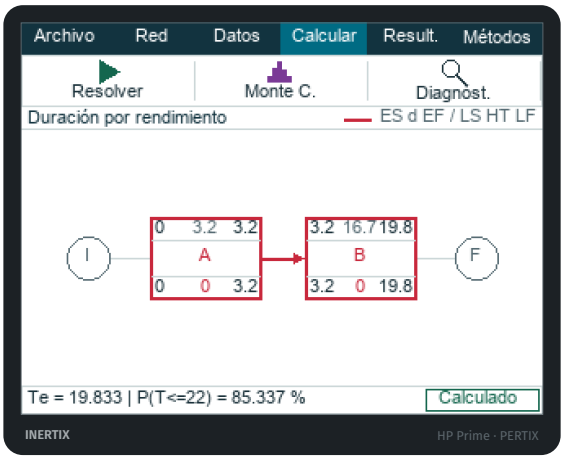
Excavación de 14.7 m³ y viga de hormigón armado de 20 m³: los tiempos *a*, *m*, *b* salen de la cantidad, el rendimiento (h/und), la jornada de 8 h/d y las cuadrillas optimista, normal y pesimista, redondeados al entero.

Fuente: Caso de validación oficial de INERTIX para estimación probabilística de duraciones por rendimientos unitarios.

1. 1 **Archivo** Ejemplos > `PERT: duración por rendimiento`.
2. Propiedades de A > `Duración`: tipo `Rendim.` con cantidad, rendimiento y cuadrillas.
3. Esc cierra sin cambios.
4. 4 **Calcular** Resolver: T_e = 19.83 d.



Formulario de A con cantidad, rendimiento y cuadrillas.



Red resuelta con los tiempos calculados.

Resultado	Valor
Excavación (A)	$a/m/b$ = 2/3/5 d · t_e = 3.17 d
Viga (B)	$a/m/b$ = 12/16/24 d · t_e = 16.67 d
Proyecto	T_e = 19.83 d

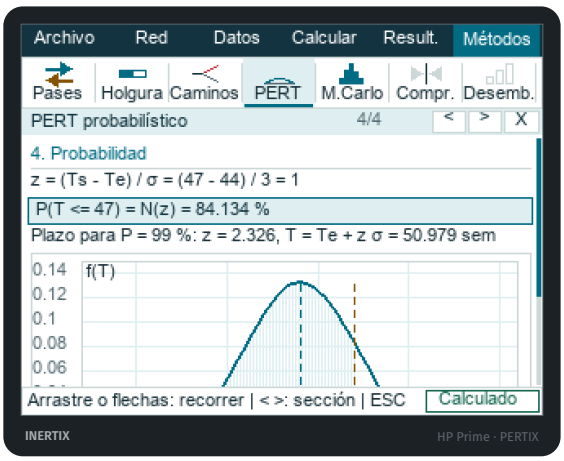
Cómo leerlo. Más cuadrillas acortan el tiempo optimista; menos, el pesimista. El redondeo se elige en 3 **Datos** Proyecto y la jornada *J* solo interviene en este tipo de duración.

OI-5 · PERT: edificio de 14 actividades (semanas, plazo para una probabilidad y criticidad)

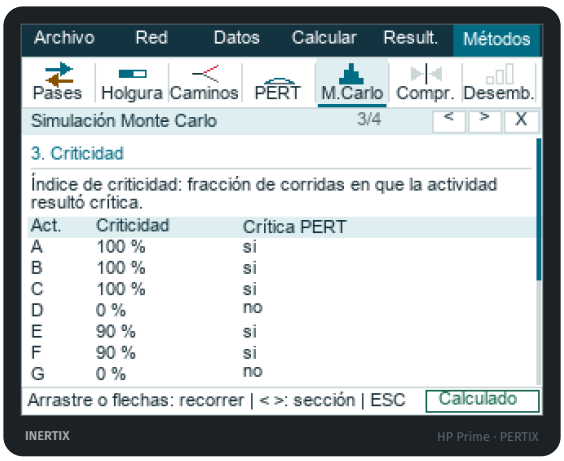
Red PERT en **semanas** con plazo T_s = 47 sem y probabilidad objetivo del 99 %.

Fuente: ejemplo Reliable Construction Co. de Hillier y Lieberman, *Introducción a la investigación de operaciones* (T_e = 44 sem, σ^2 = 9, $P \approx 0.84$).

1. 1 **Archivo** Ejemplos > `PERT: edificio de 14 actividades` y 4 **Calcular** Resolver.
2. 5 **Result.** PERT y **Enter**: cursor en T_s = 47 sem, z = 1.
3. 6 **Métodos** PERT y ▶ ×3: probabilidad y plazo para P = 99 %.
4. 4 **Calcular** Monte C. > `Aceptar` (300 corridas, semilla 12345).
5. 6 **Métodos** M.Carlo y ▶ ×2: sección «Criticidad».



Probabilidad y plazo para P = 99 %.



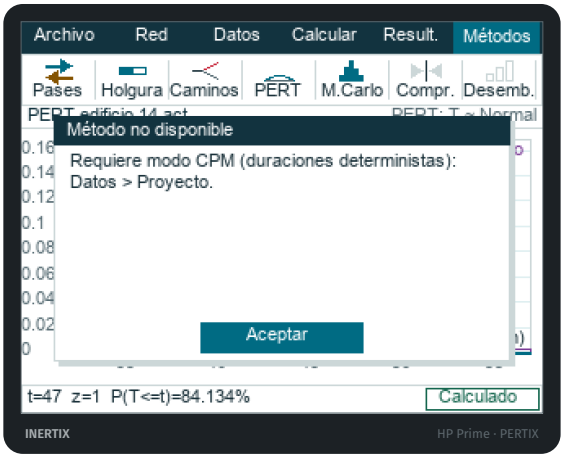
Índice de criticidad de Monte Carlo.

Resultado	Valor
Tiempo esperado y ruta	T_e = 44 sem · A-B-C-E-F-J-L-N
Desviación y z	σ = 3 sem · z = (47 − 44)/3 = 1
$P(T \le 47)$	84.134 %
Plazo para P = 99 %	T = 44 + 2.326 · 3 = 50.979 sem
Monte Carlo (300, semilla 12345)	media 44.375 sem · σ 2.871 · $P(T \le 47)$ = 83 %
Criticidad	A, B, C, J, N: 100 %; E, F: 90 %; L: 82.7 %; K: 17.3 %; I: 10 %

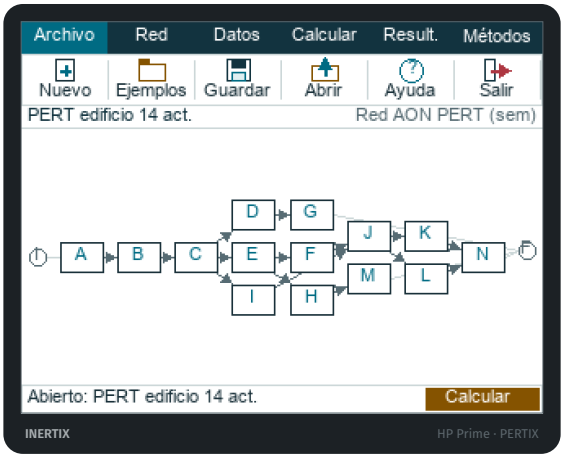
Cómo leerlo. PERT supone que la ruta A-B-C-E-F-J-L-N manda siempre; la simulación muestra que en un 10 a 17 % de las corridas manda otra rama (I o K), por eso su probabilidad es algo menor. Para comprometer un plazo con el 99 % de confianza hay que ofrecer unas 51 semanas, no 44.

OI-6 · Guardado, avisos y resultados pendientes

1. Con el edificio calculado, 1 **Archivo** Guardar y Enter sobre la ranura 1 (vacía).
2. 6 **Métodos** Compr.: en modo PERT aparece `Método no disponible` con el motivo; Enter.
3. Cambie un dato (por ejemplo b de una actividad): el botón pasa a `Calcular` y las vistas piden recalcular.
4. 1 **Archivo** Abrir y la ranura 1: vuelve el proyecto guardado, con los resultados pendientes.
5. 1 **Archivo** Salir conserva el proyecto en memoria; al volver a abrir PERTIX reaparece igual.
6. Si corta un cálculo con On, al volver a entrar verá `Cálculo interrumpido: vuelva a Calcular` (sección «Errores y avisos»).



Método no disponible con su motivo.



Ranura abierta: resultados pendientes.

6 Referencia de menús y opciones

6.1 1 · Archivo

Orden	Qué hace
Nuevo	Reemplaza el proyecto por una plantilla: `Proyecto en blanco (1 actividad)`, `Cadena de 4 actividades (CPM)`, `Obra típica de 9 actividades (CPM)` o `Ramas en paralelo (PERT)`.
Ejemplos	Carga un caso resuelto y **sustituye el proyecto**: CPM de 18 actividades, PERT de instalación eléctrica, PERT de edificio de 14 actividades, compresión tiempo-costo, desembolsos y curva S, y duración por rendimiento.
Guardar / Abrir	Cinco ranuras de guardado en la calculadora. Guardar sobre una ranura ocupada pide confirmación; abrir deja los resultados pendientes.
Ayuda	Documento desplazable con el menú, la red, los modos, los resultados y los convenios.
Salir	Pide confirmación. El proyecto queda en memoria para la próxima sesión.

6.2 2 · Red

Orden	Qué hace
Selec.	Elige actividades. Un segundo toque (o Enter) abre sus propiedades: duración, costos, predecesoras con su desfase, agregar predecesora, nombre y código, eliminar.
+Activ.	Crea una actividad en el espacio libre que se toque y abre su formulario.
Enlazar	Toque la predecesora y luego la sucesora; rechaza los enlaces que forman un ciclo.
Mover	Toque una actividad y luego su nuevo lugar.
Borrar	Toque una actividad para eliminarla con sus enlaces (pide confirmación).
Ordenar	Dispone la red por niveles.

6.3 3 · Datos

Orden	Qué hace
Activ.	Propiedades de la actividad seleccionada. Duración: `Directa` (d en CPM; a, m, b en PERT) o `Rendim.` (cantidad, rendimiento y cuadrillas). Costos: C_n y, en CPM, duración tope d_c y costo tope C_c. Cada predecesora tiene su desfase g.
Proyecto	Modo (CPM o PERT), unidad (días, semanas o meses), plazo T_s, P objetivo (%), jornada J (h/d) y redondeo de la duración por rendimiento.
Costos	Costo indirecto por unidad de tiempo, plazo objetivo de compresión y periodo de corte de los desembolsos.
Tabla	Datos de todas las actividades: código, duración, predecesoras y nombre.

6.4 4 · Calcular

Orden	Qué hace
Resolver	CPM o PERT, holguras, caminos y, si hay datos, compresión y desembolsos.
Monte C.	Formulario con las corridas N (20 a 5000) y la semilla; simula y muestra el histograma. Requiere modo PERT.
Diagnóst.	Resumen de la red: actividades, enlaces, inicios y finales, aisladas, hitos, ciclos y si hay datos de compresión.

6.5 5 · Result.

Orden	Qué hace
Red	Red con ES d EF / LS HT LF en cada caja y la ruta crítica en rojo.
Gantt	Barras con holgura libre (caja) y total (trazos); el cursor de tiempo lista las actividades en curso.
PERT	Campana normal con cursor y $P(T \le t)$; tras Monte Carlo, el histograma superpuesto.
T-Costo	Curvas de costo directo, indirecto y total con el óptimo; el cursor recorre los quiebres.
Curva S	Desembolso acumulado con inicio temprano y tardío, por periodo.
Tabla	Tiempos y holguras de cada actividad y resumen del proyecto.

6.6 6 · Métodos

Orden	Qué hace
Pases	Pases hacia adelante y hacia atrás, con la comparación frente a la enumeración de caminos.
Holgura	Definiciones y cálculo de las holguras total, libre e independiente; ruta crítica.
Caminos	Todos los caminos (hasta 60), el crítico y los subcríticos.
PERT	Tiempos esperados, CPM con t_e, ruta y varianza, probabilidad.
M.Carlo	Modelo Beta-PERT, resultados, criticidad y comparación con PERT.
Compr.	Costo unitario de aceleración, cortes mínimos, curva y óptimo, plazo objetivo.
Desemb.	Programa y cortes, prorrateo por actividad, desembolsos y curva S.

Métodos no disponibles

Los métodos que no aplican al proyecto se muestran en gris con el motivo: PERT y Monte Carlo requieren modo PERT; la compresión requiere modo CPM y alguna actividad con $d_c < d$; los desembolsos requieren costos $C_n > 0$.

7 Fundamento teórico breve

7.1 Pases y holguras (CPM)

$$ES_j = \max\left(0;\ EF_i + g\right) \qquad EF_j = ES_j + d_j$$
$$LF_i = \min\left(T;\ LS_j - g\right) \qquad LS_i = LF_i - d_i$$
$$HT = LS - ES \qquad HL_i = \min\left(ES_j - g\right) - EF_i$$
$$HI_i = \max\left[0;\ \min\left(ES_j - g\right) - \max\left(LF_k + g\right) - d_i\right]$$

Donde: i predecesora, j sucesora, k predecesoras de i, g desfase del enlace, T duración del proyecto (mayor EF). Una actividad es crítica si $HT = 0$; siempre $0 \le HI \le HL \le HT$.

7.2 PERT y Monte Carlo

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6} \qquad \sigma^2 = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2$$
$$z = \frac{T_s - T_e}{\sigma_T} \qquad P(T \le T_s) = \Phi(z) \qquad T_P = T_e + z_P\,\sigma_T$$

Donde: T_e duración con t_e; σ_T^2 suma de varianzas de la ruta crítica de mayor varianza; Φ distribución normal estándar; z_P el valor de z para la probabilidad objetivo.

$$\alpha = 1 + 4\,\frac{m - a}{b - a} \qquad \beta = 1 + 4\,\frac{b - m}{b - a}$$

Donde: Cada corrida sortea la duración de cada actividad con una Beta(α, β) escalada a $[a, b]$, cuya media es t_e, y repite el pase hacia adelante. El índice de criticidad es la fracción de corridas en que la actividad resulta crítica.

7.3 Compresión, desembolsos y rendimiento

$$CUA = \frac{C_c - C_n}{d - d_c} \qquad C_{total} = C_{directo} + C_{ind} \cdot T$$
$$C'_{periodo} = C_n\,\frac{\text{días de la actividad en el periodo}}{d} \qquad t = \frac{\text{cantidad} \cdot \text{rendimiento}}{J \cdot \text{cuadrillas}}$$

Donde: En cada paso de la compresión se acorta el corte de costo mínimo de la red crítica y, si conviene, se alarga alguna actividad ya comprimida (Phillips–Dessouky). El óptimo con costo indirecto está en un quiebre de la curva.

Bibliografía

- Hillier, F. S. y Lieberman, G. J. *Introducción a la investigación de operaciones*. McGraw-Hill (ejemplo Reliable Construction Co.).

- Phillips, S. y Dessouky, M. I. (1977). Solving the project time/cost tradeoff problem using the minimal cut concept. *Management Science*, 24(4).
- Project Management Institute (PMI). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*.
- Moder, J. J., Phillips, C. R., Davis, E. W. *Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming*.

8 Preguntas frecuentes

¿Por qué aparece «Resultados pendientes»?

Porque el proyecto cambió después del último cálculo. PERTIX no muestra resultados de una solución anterior: use 4 **Calcular** Resolver o toque `Calcular`.

¿Por qué algunos métodos están en gris?

Porque no aplican al proyecto: PERT y Monte Carlo requieren modo PERT, la compresión modo CPM con datos $d_c < d$, y los desembolsos costos $C_n > 0$. El motivo aparece al elegirlos.

¿Cómo creo una actividad sin pantalla táctil?

No es posible: `+Activ.` necesita tocar el espacio libre donde va la actividad. Todo lo demás (tiempos, enlaces, cálculo y resultados) se hace con el teclado.

Mis códigos no coinciden con los del ejemplo.

Los códigos se asignan por orden de creación. Cree las actividades en el orden de la tabla o cargue el caso con 1 **Archivo** Ejemplos.

¿Cómo pongo un solape o una espera entre dos actividades?

En las propiedades de la sucesora, `Predecesoras` lista sus enlaces; elija uno y cambie el desfase g: positivo es espera, negativo es solape.

¿Por qué Monte Carlo da otra probabilidad que PERT?

PERT usa la aproximación normal sobre una sola ruta. La simulación recorre la red completa con la distribución Beta de cada actividad, así que su probabilidad puede diferir: en el ejemplo, 97.3 % frente a 95.2 %. Con otra semilla o más corridas cambia la tercera cifra.

¿Puedo usar semanas o meses?

Sí: 3 **Datos** Proyecto > `Unidad`. Todas las duraciones se interpretan en esa unidad.

¿Qué plazo debo ofrecer para cumplir con un 95 o 99 %?

Ponga la probabilidad en 3 **Datos** Proyecto > `P objetivo` y calcule: 6 **Métodos** PERT, sección 4, da $T = T_e + z_P\,\sigma$ (en OI-5, 50.979 sem para el 99 %). Monte Carlo da su propio cuantil en 6 **Métodos** M.Carlo.

Apareció «Cálculo interrumpido: vuelva a Calcular».

Se cortó un cálculo con On. El proyecto está intacto; solo los resultados quedaron pendientes. Pulse 4 **Calcular** Resolver.

¿Pierdo el proyecto al salir?

No. Queda en memoria y reaparece la próxima vez que abra PERTIX. Para conservar varios, use las cinco ranuras de 1 Archivo Guardar.