

Instalación y ejemplos - noMRD

Notas sobre la instalación del programa.-

El programa noMRD está escrito en Python 3 y su “instalación” se reduce a hacer accesibles tanto el intérprete Python como las librerías adicionales que el programa necesita. Estas últimas son de uso común y algunas están disponibles por defecto en la instalación de Python. De hecho es muy probable que simplemente instalando la librería “Matplotlib” su gestor de paquetes instale como dependencias todo lo adicionalmente necesario. No obstante la lista completa de librerías que noMRD necesita es la siguiente:

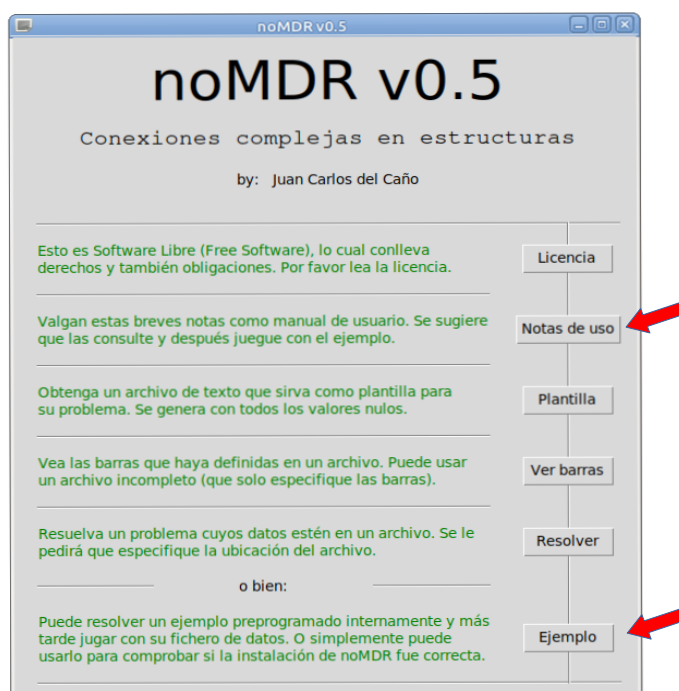
numpy
scipy
tkinter
matplotlib
os

Para instalar dichas dependencias puede ud. usar algún gestor de paquetes específico para python, como “Anaconda” ó “Miniconda”, o usar la utilidad en línea de comandos “pip3” que estará disponible si python 3 está instalado. También puede usar algún gestor de paquetes general, como “HomeBrew” para sistemas Mac, o si usa Gnu-Linux puede simplemente usar el gestor de paquetes de su distribución. Dada la popularidad del lenguaje Python en el momento de escribir estas notas, damos por hecho que el usuario no encontrará dificultad en habilitar el entorno necesario para ejecutar el programa. Referimos a la abundante documentación en línea al respecto para no alargar más estas indicaciones.

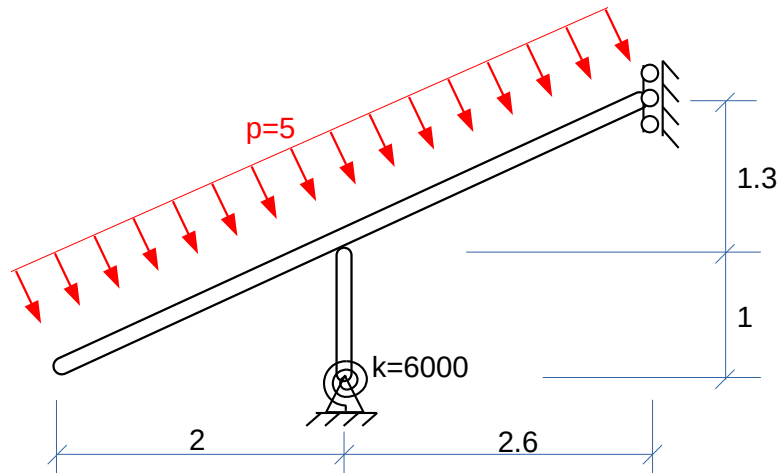
Una vez realizada la instalación de Python3 y demás librerías, use cualquier método que su sistema operativo ofrezca para ejecutar el archivo “no_MDR.py” bajo Python 3.

Notas sobre el ejemplo pre programado.-

Este apartado se dedicará a explicar detalladamente el análisis de la estructura pre programada suministrada como ejemplo de cálculo en el programa noMRD, al cual se accede pulsando el botón “Ejemplo” de la interfaz. Se asume que usted ya tiene operativo el programa y que ha leído las “Notas de uso” que proporciona el mismo.

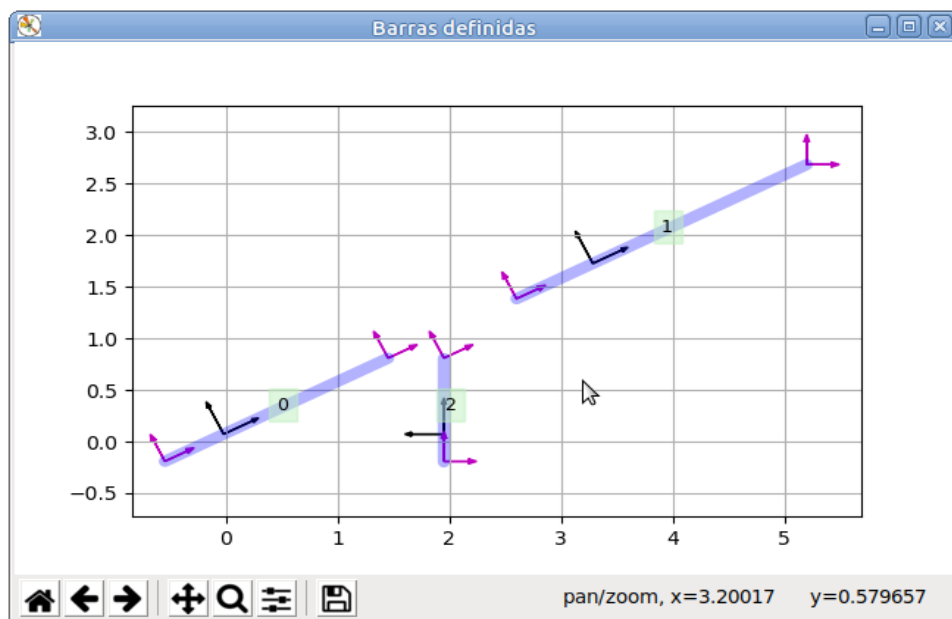


La figura siguiente muestra el problema que se analiza en el ejemplo. Por su geometría podría tratarse de media cubierta (apréciese la condición de simetría a la derecha) en la que un soporte (barra vertical pequeña) no está unido a la misma sino que hay apoyo por contacto sin rozamiento. El propio soporte tiene un empotramiento parcial en su base, modelizado por desplazamientos nulos y un resorte al giro del valor indicado.



Si no lo ha hecho aún, pulse el botón “Ejemplo”, y proporcione una ubicación y un nombre archivo (algo como “noMDR_ej.dat”) en donde se escribirá el archivo de datos del problema. Lo que ocurre a continuación es que 1º se genera el archivo de datos en el directorio que ud. haya especificado, 2º aparece una gráfica de “Momentos flectores” acotada y otra con la “Configuración deformada” dibujada a escala, y 3º una serie de resultados numéricos en el terminal.

En un caso normal, será ud. quien tenga que editar manualmente el fichero de datos. Por ello es importante que se familiarice con su estructura y contenido antes de jugar y hacer pruebas con el fichero de datos del ejemplo. Por favor pulse el botón “Ver barras” de la interfaz y proporcione la ruta al archivo que acaba de generar. Se presenta una figura como la siguiente, con las barras numeradas, sus ejes locales (en negro) y los ejes en los que se desea operar en cada extremo (en magenta), que pueden ser diferentes en cada extremo. El programa llama extremo “i” al primer extremo y “j” al segundo extremo, cuyo orden viene dado por el de aparición en el fichero de datos y que en la figura puede inducirse de la dirección del eje “x” local (en negro) y del hecho de que los ejes locales se dibujan más próximos al extremo “i”. Las denominaciones “i,j” no se plasman en la figura por considerarse que las indicaciones anteriores son ampliamente suficientes. Nótese que “i,j” nunca se concretan en números ya que el programa no conoce el concepto de “nudo”.



Después de obtener dicha figura (o bien antes, es indiferente) abra en un editor de texto plano el fichero para tenerlo a la vista. Nótese que la figura anterior presenta las barras ligeramente separadas por claridad del dibujo, por lo que sus cotas extremas no coinciden con lo especificado en el fichero. Por lo demás, la figura se ha generado con los datos de las primeras líneas del fichero según se explica a continuación.

Ejemplo del manual. Barra que apoya en otra con empotr elástico.

```
Numero de barras = 3
Nº itipe EI EA x(i) y(i) x(j) y(j) p d0x d0y fi0 ejes_i ejes_j
0 0 5.e3 1.e5 0.0 0.0 2.0 1.0 -5.0 0.0 0.0 0.0 0. 0.
1 0 5.e3 1.e5 2.0 1.0 4.6 2.3 -5.0 0.0 0.0 0.0 0. g
2 0 5.e3 1.e5 2.0 0.0 2.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 g 0b

Ecuaciones adicionales
incog coef incog coef ...etc... igual_a
```

La primera línea contiene una descripción opcional del problema. La segunda línea está en blanco por legibilidad. El contenido de estas líneas es ignorado por el programa, pero las mismas deben existir. La tercera línea termina con “3”, que es el número de barras del problema. Este número debe ser lo último que aparezca en esta línea, y debe estar separado del texto precedente (que el programa ignora tratándolo como un mero recordatorio visual) por al menos un espacio. La cuarta línea sirve de encabezado legible para la definición de barras que sigue en las líneas siguientes. Cada una de dichas líneas define una barra. Los datos en cada línea deben separarse por uno o más espacios, y son:

- Número de orden de la barra, comenzando por 0 y siguiendo una numeración sucesiva. En realidad este primer campo es sólo un recordatorio visual, ya que el número asignado a la barra está dado por el orden en el que aparece en el fichero.
- El tipo de barra (0= normal; 1= rígida a axil; 2=rígida a flexión; 3= rígida a ambos)
- El módulo de Young del material multiplicado por el momento de inercia de la sección (EI)
- El módulo de Young del material multiplicado por el área de la sección (EA)
- La coordenada x del primer extremo de la sección (llamado “i”)
- La coordenada y del primer extremo de la sección
- La coordenada x del segundo extremo de la sección (llamado “j”)
- La coordenada y del segundo extremo de la sección
- La carga (“p”) por unidad de longitud perpendicular a la barra. Positiva según el eje “y” local.
- Los desplazamientos de fuerzas nulas en la barra (consulte las “Notas de uso” en el programa)
- Los ejes en que deseamos operar en cada extremo de la barra.

Respecto del último punto anterior es destacable que para los extremos 0j, 1i, 2j, hemos elegido los mismos ejes (que tienen la orientación de los ejes locales de la barra inclinada). Esto permitirá expresar más tarde las condiciones de deslizamiento de una forma cómoda.

Tras la definición de los elementos siguen tres líneas que serán ignoradas, aunque nuevamente deben existir. La primera se ha dejado en blanco por legibilidad. La segunda y la tercera contienen comentarios guía acerca de las ecuaciones adicionales que seguirán.

Nota.- puede obtener una plantilla con un texto similar al mostrado en el cuadro anterior (pero con valores nulos) pulsando el botón “Plantilla” de la interfaz. Se trata de una pequeña ayuda para la edición del fichero.

El cuadro siguiente muestra el fichero completo. Tras la línea “incog coef incog coef ...etc... igual_a”, que en este caso es la línea 10 del fichero, la edición permite líneas en blanco y comentarios (ver “Notas de uso” en el programa). En este caso se ha elegido dejar la línea 11 en blanco aunque bien podría haber sido la primera línea de datos. La primera ecuación que figura es:

$$0i0f \quad 1. \quad 0.$$

que en una notación más convencional podría ser:

$$F_x^{0i} = 0$$

es decir, que la fuerza “x” en el extremo “i” de la barra “0” será nula. En este caso “x” es local de la barra porque en la definición del elemento se puso “0.” en la columna “ejes_i”

Ejemplo del manual. Barra que apoya en otra con empotr elástico.

```

Numero de barras = 3
Nº itipe EI EA x(i) y(i) x(j) y(j) p d0x d0y fi0 ejes_i ejes_j
0 0 5.e3 1.e5 0.0 0.0 2.0 1.0 -5.0 0.0 0.0 0.0 0. 0.
1 0 5.e3 1.e5 2.0 1.0 4.6 2.3 -5.0 0.0 0.0 0.0 0. g
2 0 5.e3 1.e5 2.0 0.0 2.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 g 0b

Ecuaciones adicionales
incog coef incog coef ...etc... igual_a

0i0f 1. 0. # extr izdo (libre)
0i1f 1. 0.
0i2f 1. 0.
1j0d 1. 0. # extremo empotr movil
1j1f 1. 0.
1j2d 1. 0.
2i0d 1. 0. # apoyo abajo (con resorte)
2i1d 1. 0.
2i2d 6.e3 2i2f 1. 0.

# Lo que sigue es relativo a la conexión central
0j0d 1. 1i0d -1. 0. # continuidad barra superior
0j1d 1. 1i1d -1. 0.
0j2d 1. 1i2d -1. 0.
0j0f 1. 1i0f 1. 0.
0j1f 1. 1i1f 1. 2j1f 1. 0.
0j2f 1. 1i2f 1. 0.

1i1d -1. 2j0f 1. 0. # deslizamiento barra 2
2j1d 1. 0.
2j2f 1. 0.

__fin__

```

Como indica el comentario (tras “#”), las tres primeras ecuaciones corresponden con la condición de extremo “i” libre de la barra 0 (extremo “0i”). Esto es, que las dos componentes de fuerza y el momento sean nulos en ese extremo.

Para el empotramiento móvil del extremo “1j”, se impone que el movimiento horizontal (“0d”) y el giro (“2d”) sean nulos, y que la fuerza vertical (“1f”) sea nula. Nótese como las direcciones de los ejes en este extremo de barra son en efecto horizontal y vertical, ya que en la columna “ejes_j” se especificó “g” (globales) para la barra 1.

La ecuación del resorte de giro es (línea 20 del fichero):

$$2i2d \quad 6.e3 \quad 2i2f \quad 1. \quad 0.$$

Recuerde que el ángulo está en radianes. En una notación más convencional podría ser:

$$6000 \cdot \Phi^{2i} + M^{2i} = 0$$

que expresa la proporcionalidad existente en el extremo de barra “2i” entre el ángulo girado y el momento, con constante de resorte igual a 6000. Por favor tómese un instante para comprobar que los signos de la ecuación son correctos (el momento se opone al giro).

Para expresar la continuidad de dos barras impondremos la igualdad de sus desplazamientos y giro entre los extremos que se comparten. Es el caso de los extremos “0j” y “1i”. Adicionalmente, si no hubiese acciones exteriores en la conexión, el equilibrio se plasmaría en que las fuerzas en los extremos de barra según cada dirección deberían sumar cero. En este caso existe el contacto de la barra 2, extremo “2j”, que debe sumarse en la ecuación de equilibrio (línea 28 del fichero). Nótese como nuevamente la elección de los mismos ejes para los tres extremos de barra implicados (ver “0b” en la columna “ejes_j” de la barra 2) ha facilitado la escritura de las ecuaciones.

Finalmente comentaremos la condición de deslizamiento en la unión, que nuevamente se beneficiará de la elección de ejes realizada. La fuerza en la dirección del deslizamiento (2j0f) debe ser nula, así como el momento en la cabeza deslizante (2j2f). La condición de contacto se impone haciendo iguales los desplazamientos en la dirección perpendicular al deslizamiento (lo que es válido en virtud de la hipótesis de pequeños desplazamientos, la cual subyace en todo el fundamento teórico en que se basa el programa). La ecuación es

1i1d -1. 2j1d 1. 0.

(impone la igualdad de desplazamiento “y” magenta entre los extremos de las barras 1 & 2), aunque alternativamente podríamos haber usado

0i1d -1. 2j1d 1. 0.

que implica a los desplazamientos de las barras 0&2. Nótese que las ecuaciones de continuidad (en concreto la línea 25 del fichero) ya imponían la igualdad de desplazamientos de las barras 0&1 en esa conexión. De ahí la equivalencia de las dos ecuaciones anteriores.

Haciendo recuento, se aprecia que hemos definido 18 ecuaciones, que son independientes entre si salvo error. Este es el número de ecuaciones requerido para tres barras ($6 \times 3 = 18$), por lo que hemos terminado la edición del fichero. Cualquier línea posterior a la ecuación 18ª será ignorada sin necesidad de usar el signo “#” de comentario. En este caso hemos puesto “__fin__” para indicar visualmente el final de los datos.

En un caso general (fichero editado manualmente) guardaríamos el fichero y usaríamos el botón “Resolver” proporcionando la ubicación de dicho fichero. En el caso del ejemplo ya habrá ud. obtenido los resultados, que como se ha indicado consisten en primer lugar en la siguiente salida de texto por terminal:

```
Barra 0
      despl_i      despl_j      fuerza_i      fuerza_j
# ejes pedidos: #
-2.859e-03 -2.859e-03 0.000e+00 -8.882e-16
-2.472e-03 -1.406e-03 0.000e+00 1.118e+01
9.429e-04 -9.205e-04 0.000e+00 -1.250e+01
# ejes locales del elemento: #
-2.859e-03 -2.859e-03 0.000e+00 -8.882e-16
-2.472e-03 -1.406e-03 0.000e+00 1.118e+01
9.429e-04 -9.205e-04 0.000e+00 -1.250e+01

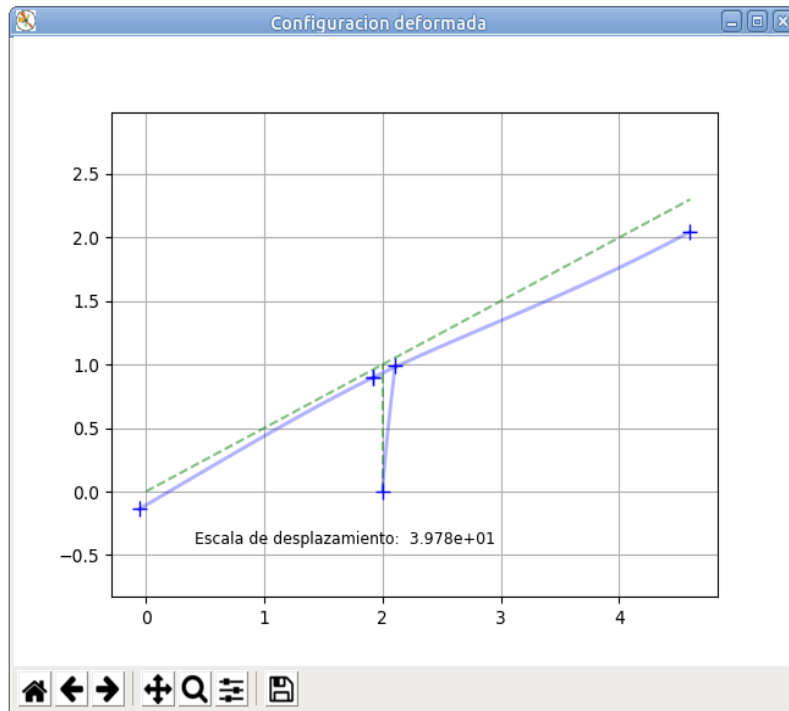
Barra 1
      despl_i      despl_j      fuerza_i      fuerza_j
# ejes pedidos: #
-2.859e-03 0.000e+00 8.882e-16 1.066e-14
-1.406e-03 -6.394e-03 1.453e+01 0.000e+00
-9.205e-04 0.000e+00 1.250e+01 8.625e+00
# ejes locales del elemento: #
-2.859e-03 -2.859e-03 8.882e-16 9.533e-15
-1.406e-03 -5.719e-03 1.453e+01 -4.766e-15
-9.205e-04 0.000e+00 1.250e+01 8.625e+00

Barra 2
      despl_i      despl_j      fuerza_i      fuerza_j
# ejes pedidos: #
0.000e+00 2.297e-03 -1.150e+01 0.000e+00
0.000e+00 -1.406e-03 2.300e+01 -2.571e+01
-1.917e-03 -3.067e-03 1.150e+01 0.000e+00
# ejes locales del elemento: #
0.000e+00 -2.300e-04 2.300e+01 -2.300e+01
0.000e+00 -2.683e-03 1.150e+01 -1.150e+01
-1.917e-03 -3.067e-03 1.150e+01 0.000e+00
```

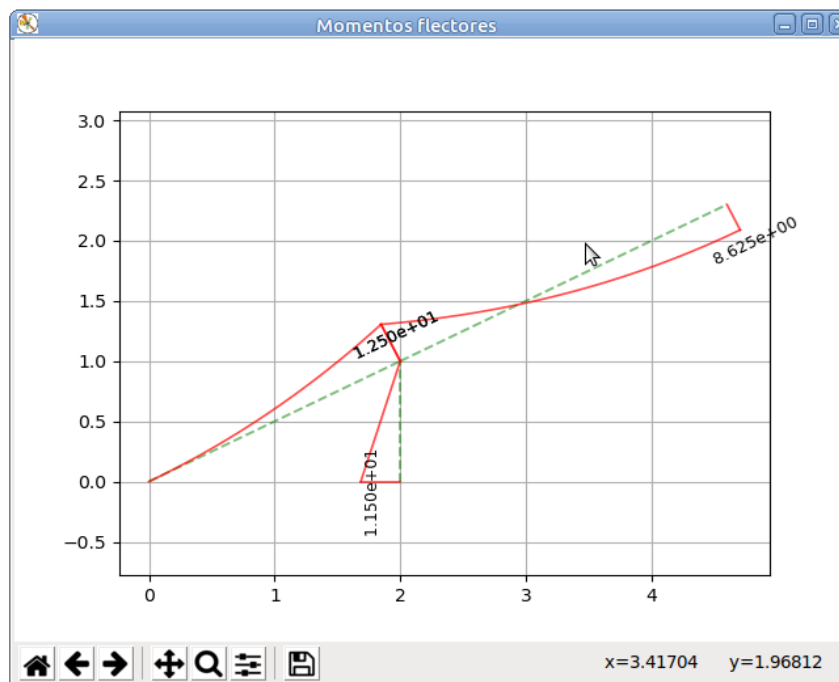
Que proporciona los desplazamientos (o giros) y fuerzas (o momentos) en los extremos de cada barra, tanto en los ejes pedidos como en ejes locales de cada barra.

La figura “Configuración deformada” muestra la estructura en su estado deformado (en azul), con las nuevas posiciones de los extremos de barra marcadas con “+”. En trazo discontinuo verde se muestra la configuración indeformada para referencia. Los desplazamientos se trazan a escala, por lo que pueden realizarse mediciones aproximadas sobre el dibujo. Recuerde que puede usar los botones inferiores para ampliar la zona del dibujo que desee, lo que junto a las marcas de los ejes y la indicación numérica de la posición del ratón (también en la zona inferior) permite apreciar mejor la magnitud de cualquier desplazamiento concreto.

El factor de escala con el que se dibujan los desplazamientos se indica en una nota de texto sobre el dibujo. En este caso es $3.978e+01$, lo que indica que se han trazado 39.78 veces mayores de lo que serían en realidad. Este factor de escala es elegido por el programa con la intención de que los desplazamientos se aprecien razonablemente sin resultar exagerados.



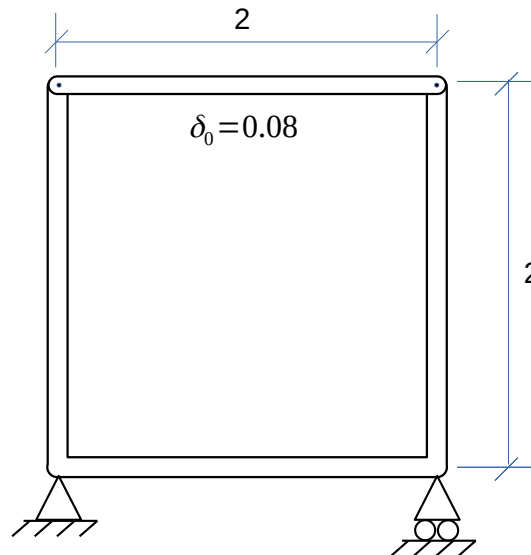
Por su parte, la gráfica "Momentos flectores" dibuja los diagramas de momentos flectores en cada barra sobre la configuración indeformada (en línea verde de trazos). Los momentos se dibujan del lado de las tracciones en la barra. Se acotan los valores en los extremos de las barras (salvo que sean nulos) y en su caso los máximos locales (puede haberlos en las barras con carga interior, aunque en este caso no las hay).



Entendido el ejemplo, es buen momento para que intente modificar el fichero para que represente otras configuraciones, como hacer que la barra 2 esté articulada en la barra continua 0-1, o que el contacto tenga rozamiento. También puede revisar algunos otros ficheros de ejemplo suministrados con el programa, cuyas geometrías correspondientes se indican en el apartado siguiente.

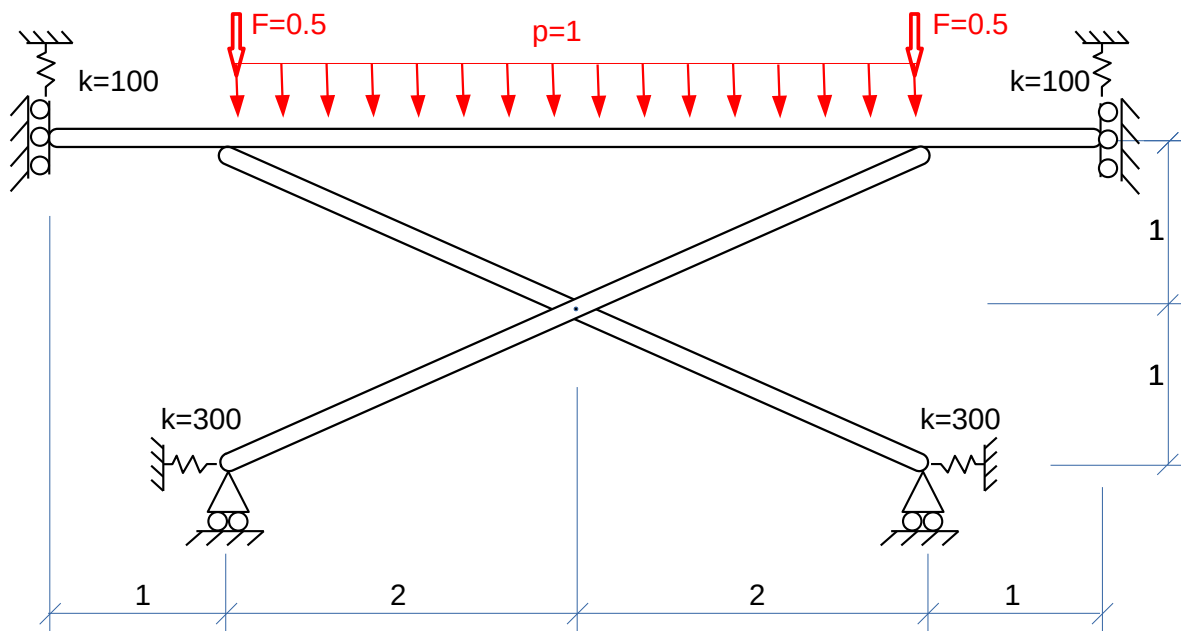
Notas sobre los otros ejemplos suministrados.-

Se adjuntan algunos ficheros de datos como ejemplos adicionales. El que lleva por nombre “noMDR_cuadro.dat” se corresponde con el problema siguiente:



La geometría es un cuadrado de 2x2 en que la barra superior está conectada mediante articulaciones y tiene un “alargamiento de fuerza nula” de 0.08. El programa no cuestiona el origen de este dato, pudiendo ser debido a un incremento de temperatura en la barra superior que produjese ese alargamiento (en la barra desconectada), o bien que la barra en realidad midiese 2.08 antes del montaje de la estructura.

Otro fichero suministrado es “noMDR_cruz.dat”, y se corresponde con el problema siguiente. Podría tratarse de un cierto dispositivo de amortiguamiento:

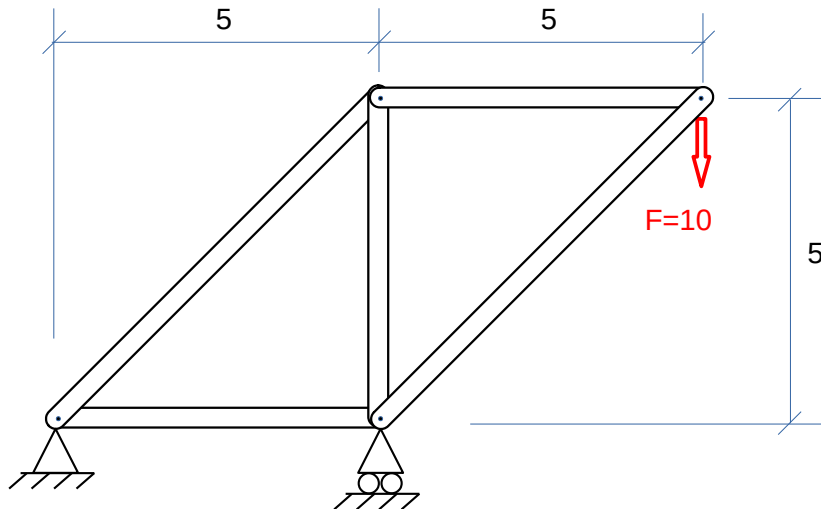


Conviene insistir en que las incógnitas de fuerza del programa *actúan sobre las barras*. Sobre las uniones (“nudos”) serán iguales y contrarias. Observe al respecto los signos en las ecuaciones de las líneas 59 y 72 del fichero, que corresponden al equilibrio vertical de los encuentros superiores de barras, donde hay aplicadas fuerzas concentradas.

El fichero "noMDR_celosia.dat" corresponde a la estructura triangulada de la figura siguiente. Este problema, que no tiene ninguna dificultad incluso para ser analizado a mano, se incluye más bien para ilustrar el uso de elementos rígidos.

Como es sabido, las barras de este tipo de estructuras trabajan sólo de forma axial si las uniones son articuladas. En ese caso será indiferente usar en el programa barras normales (tipo 0) o barras rígidas a flexión (tipo 2), lo que puede ud. comprobar como ejercicio sencillo. En la figura de momentos flectores no aparece ninguna gráfica ya que son todas nulas.

Si usa barras axialmente rígidas, aún obtendrá las fuerzas correctas en las barras (debido a que el problema es isostático), aunque evidentemente se obtendrán desplazamientos nulos.



En el caso en que las uniones sean rígidas (no las barras), el asumir que las barras trabajan solamente de forma axial es todavía una buena aproximación, usualmente. El análisis de este caso requiere una modificación extensiva de las ecuaciones adicionales que ud. puede acometer como ejercicio si lo desea.