



Cálculo de solicitaciones de un pórtico plano con ayuda del programa de análisis 2D Ftool

Apellidos, nombre	Guardiola Víllora, Arianna (aguardio@mes.upv.es)
Departamento	Mecánica del Medio continuo y Teoría de Estructuras
Centro	Universitat Politècnica de València

1 Resumen

En este documento se explica cómo utilizar el programa de Análisis de Estructuras Ftool 2D para obtener las reacciones, diagramas de solicitaciones y deformadas de un pórtico sencillo.

Ftool es un programa libre desarrollado por profesores del Departamento de Ingeniería Civil y el Instituto Técnico Científico de desarrollo de Software de la Universidad Pontificia de Rio de Janeiro junto a Tecgraf (Computer Graphics Technology Grup),

En la Figura 1 se muestra el nombre del desarrollador y la URL para su descarga.

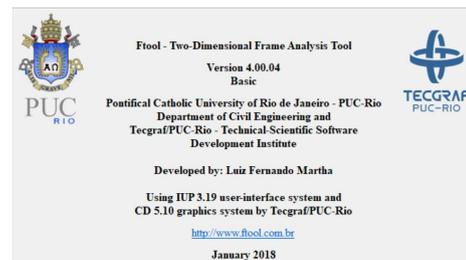


Figura 1. Credenciales de Ftool

En este documento se explica paso a paso el procedimiento de modelización de un pórtico sencillo de una planta y un vano con carga uniformemente repartida con el programa Ftool.

2 Introducción

El cálculo de reacciones y solicitaciones de estructuras planas es una de las destrezas que deben adquirir los estudiantes de asignaturas que incluyen entre sus contenidos la disciplina de Resistencia de Materiales.

En este documento se presenta Ftool, una sencilla herramienta informática, bastante intuitiva y de libre distribución que permite a los estudiantes contrastar los resultados obtenidos con el cálculo manual.

Para explicar el procedimiento de modelización de una estructura con Ftool, se ha elegido el pórtico ABCD de la Figura 2.

Se trata de un pórtico hiperestático de un solo vano de 5 metros de luz y una sola planta de 3 metros de altura, en el que la viga BC está sometida a una carga vertical uniformemente repartida de 5kN/m.

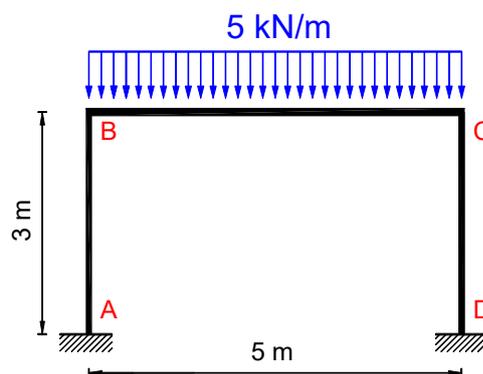


Figura 2. Pórtico para analizar

3 Objetivos

Al final de este documento, el estudiante será capaz de modelar estructuras planas con ayuda de la herramienta informática Ftool, de analizarlas y de obtener las reacciones, los diagramas de solicitaciones y las deformaciones.

Con ese objetivo, los pasos a seguir son:

- Modelización de la estructura
 - Introducción de la geometría
 - Definición de nudos internos y enlaces con el exterior
 - Propiedades de las secciones
 - Definición del material estructural
 - Introducción de cargas
- Análisis global de la estructura
 - Solicitaciones
 - Reacciones
 - Deformada y movimientos

4 Modelización de la estructura

4.1 Geometría

Primer paso: Para facilitar el dibujo de la geometría es recomendable seleccionar las herramientas GRID (rejilla) y SNAP (paso fijo) en la barra inferior de la pantalla, a la derecha, tal y como se indica en la Figura 3. En este caso se ha elegido un paso de 0.20 metros tanto para el eje horizontal como el vertical (x e y respectivamente)

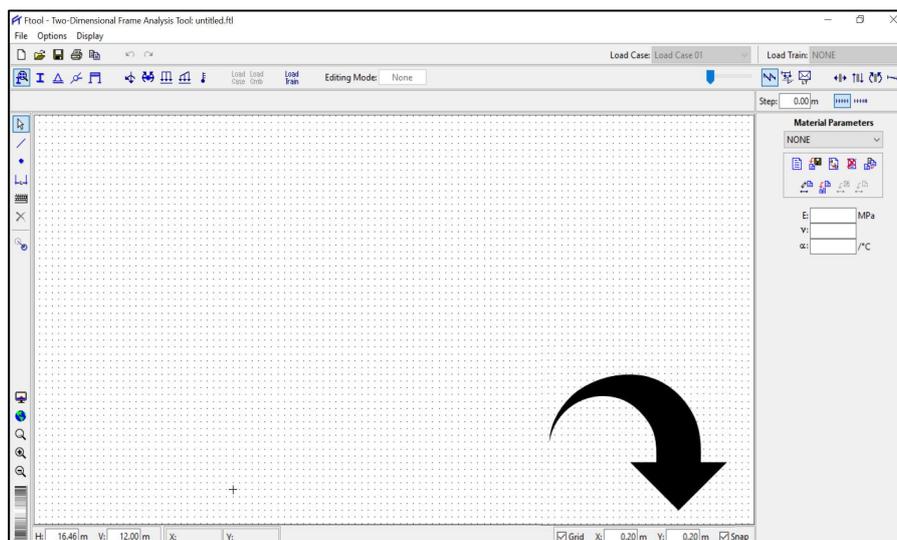


Figura 3. Selección de "grid" y "snap"

Una vez marcado el paso de la rejilla (en metros), se puede empezar a introducir las barras. La herramienta es "insert member", botón  (véase la Figura 4)

Marcando un punto cualquiera de la pantalla con el botón derecho del ratón, empieza el proceso de introducción de la barra.¹

Las dimensiones, conforme se desplaza el ratón, pueden verse en la barra de diálogo arriba a la izquierda, debajo de los menús (Figura 5)

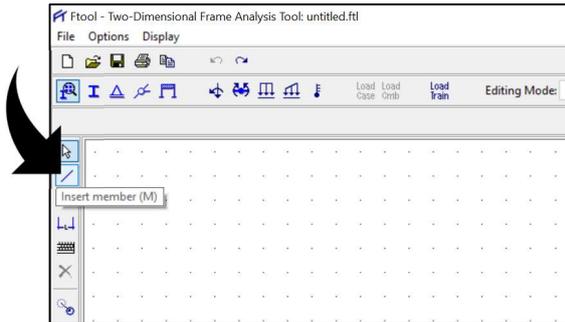


Figura 4. Insertar barra

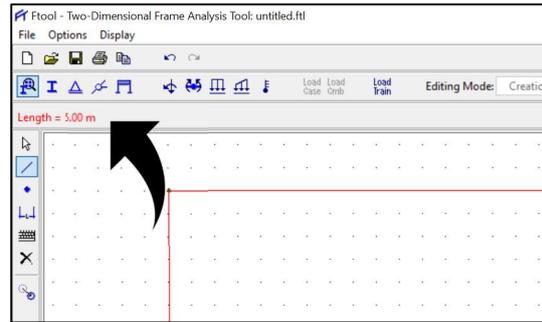
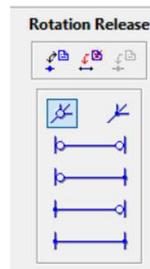


Figura 5. Dimensiones de la barra

4.2 Definición de nudos y enlaces con el exterior

Por defecto se entiende que todos los nudos internos son nudos rígidos.

Si se desea cambiar dicha definición, se debe pulsar el botón "rotation release"  esta herramienta abre a la derecha de la pantalla un menú contextual con varias opciones a elegir (Figura 6). Para aplicar alguna de las condiciones anteriores a un nudo, primero hay que seleccionar el nudo con el botón , del menú de la izquierda y luego aplicarle la opción elegida pulsando el botón .



- Articula ambos extremos
- Articula el extremo izquierdo
- Articula el extremo derecho
- Elimina las articulaciones de ambos extremos

Figura 6. Definición de extremos de barra. Articulaciones o nudos rígidos

El botón "support conditions"  abre un nuevo menú a la derecha de la pantalla donde se seleccionan las condiciones de los enlaces con el exterior.

En la Figura 7, "fix" corresponde a los movimientos restringidos, y "free" a los movimientos libres. Como se trata de un pórtico plano, hay tres posibles movimientos: desplazamiento

¹ En el momento en que se introduce una barra, el programa inserta automáticamente un nudo en cada uno de los extremos.

horizontal, desplazamiento vertical, y rotación alrededor del eje z (perpendicular al plano de la estructura).

Para asignar estas condiciones de enlace a los nudos, primero hay que seleccionarlos con la herramienta "seleccionar"  que se encuentra en la caja de herramientas de la izquierda. Una vez se selecciona el nudo, se presiona el botón "asignar propiedades"  en el menú de la derecha (Figura 8)

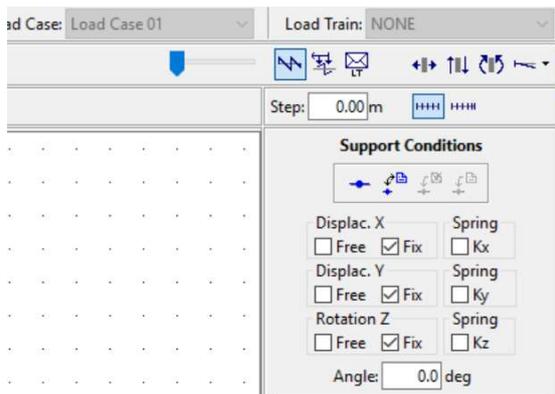


Figura 7. Condiciones de enlace

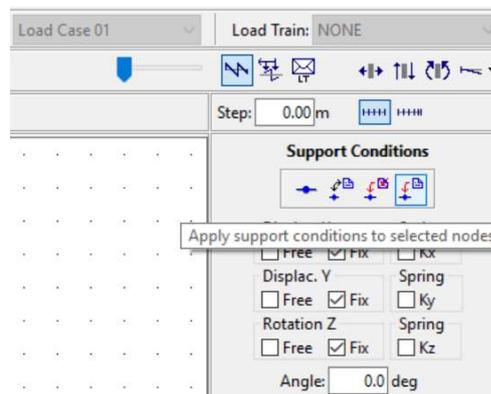


Figura 8. Asignar condiciones de enlace

4.3 Propiedades de las secciones

Una vez se ha definido la geometría, es necesario introducir un predimensionado para las barras. Si la estructura es isostática, en principio no sería necesario definir las propiedades de las barras para calcular las reacciones y las solicitaciones a mano, sin embargo, todos los programas de cálculo de estructuras necesitan un predimensionado previo de las barras para poder calcular las reacciones y las solicitaciones.

Antes de asignar un tipo de sección a las barras, es necesario definir la sección propiamente dicha.

Podemos definir una sección rectangular (la más sencilla, si sólo vamos a calcular reacciones y solicitaciones de una estructura isostática, en la que las solicitaciones no dependen de la rigidez relativa entre las barras), o la sección real (por ejemplo, un IPE) si vamos a calcular las solicitaciones en una estructura hiperestática, o si el objetivo es obtener además los movimientos de los nudos y las deformaciones de las barras, tanto en estructuras isostáticas como hiperestáticas.

El botón "Section properties"  abre un nuevo menú a la derecha. En este menú, el primer botón (Figura 9) sirve para "crear una nueva sección" Una vez seleccionado, se abre una tabla donde se introduce el nombre de la nueva sección y se selecciona la forma.

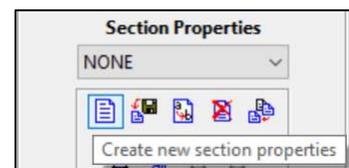


Figura 9. Nueva sección

Una vez seleccionada la forma, se abre una nueva ventana (Figura 10) con una serie de celdas para rellenar con las propiedades geométricas y mecánicas de la sección

que son necesarias para el análisis (Figura 11). Para este ejercicio se define una sección IPE 300, cuyas dimensiones² se recogen en la misma Figura 10.

- d es el canto
- b es el ancho
- t_w es el espesor del alma
- t_f es el espesor del ala
- h es la altura del alma
- \hat{y} es la coordenada del cdg
- A es el área
- A_s es el área a cortante. En secciones doble T se asume que es igual al área del alma
- I Es el momento de inercia respecto del eje fuerte

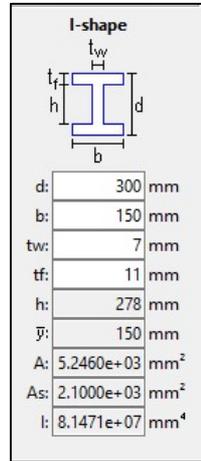


Figura 10. Dimensiones

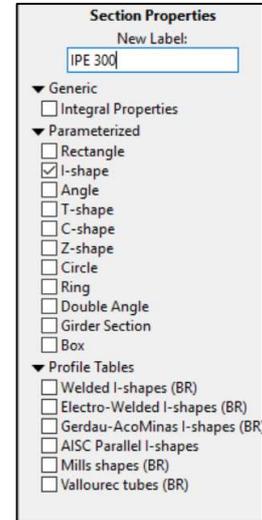


Figura 11. Tipo de sección

También se puede seleccionar una sección genérica e introducir sólo las propiedades mecánicas.

Una vez definida la sección, es necesario asignarla a las barras. Para ello es necesario seleccionar las barras "clickando" sobre ellas. Si se quiere seleccionar más de una barra, es necesario mantener presionada la tecla de mayúsculas.

Una vez seleccionadas todas las barras, con el botón "asignar propiedades"  se asigna el tipo de sección a cada una de las barras.

4.4 Material estructural

El botón "material parameters"  en el menú de arriba, abre una nueva ventana a la derecha para definir el material y las propiedades necesarias para calcular las rigideces de las barras.

El acero S 275 se define teniendo en cuenta que el módulo de elasticidad es 210000 MPa.

El valor del coeficiente de Poisson es 0.30 y el coeficiente de dilatación lineal, α , es 1.2×10^{-5} (°C)⁻¹ tal y como puede verse en la Figura 12

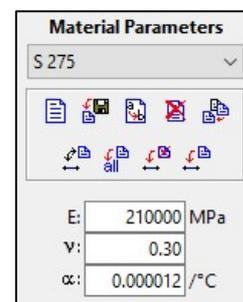


Figura 12. Propiedades del material

² Atención con las unidades

4.5 Introducción de acciones

En el menú de arriba, se selecciona el tipo de carga a asignar



Para asignar una carga a una barra, es necesario seleccionar primero la barra, y después el tipo de carga. Esta operación abre un nuevo menú a la derecha para definir la magnitud de la carga y la dirección. El signo negativo corresponde a las cargas gravitatorias.

En la figura 13 se puede observar que se ha seleccionado una carga de módulo 5 kN/m en la dirección -Y (signo menos indica que va hacia abajo). El resultado de esta operación puede observarse en el pórtico de la Figura 13.

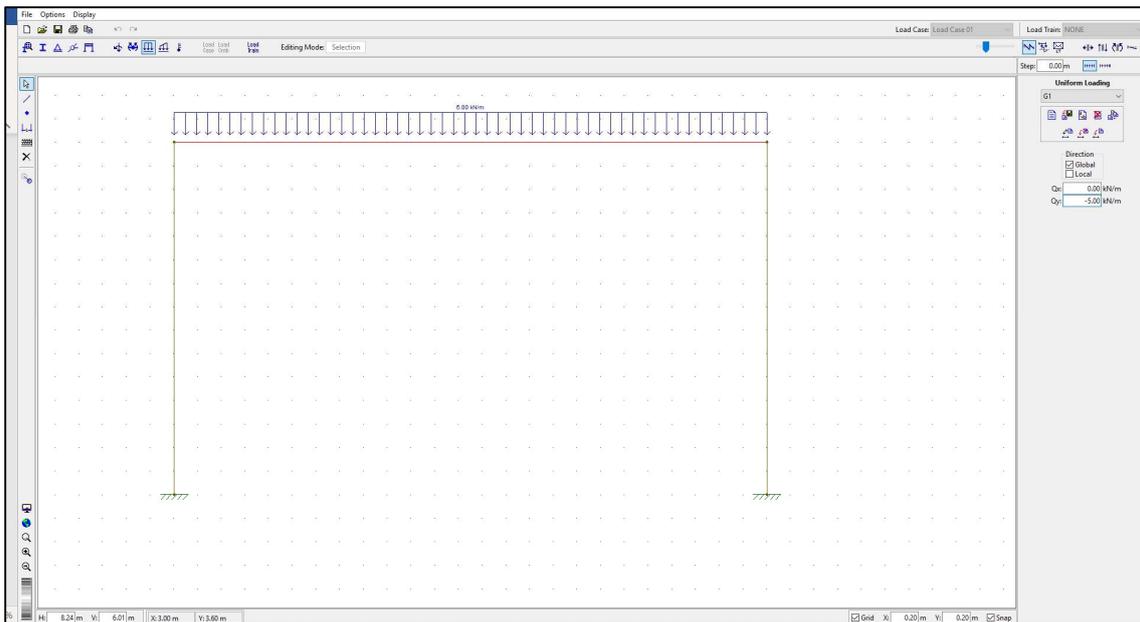


Figura 13. Introducción de cargas

5 Análisis de la estructura y resultados

Una vez finalizado el modelo de la estructura, es posible pedirle los resultados al programa. No es necesario indicar que realice ningún cálculo, ya que la única opción posible es el análisis elástico lineal, tal y como se puede observar al desplegar dentro del menú desplegable "Options", la opción "Analysis" (ver Figura 14)



Figura 14. Análisis del pórtico

5.1 Diagramas de solicitaciones

En el menú superior, a la derecha, se encuentran los símbolos correspondientes a las tres solicitaciones que calcula el programa: axil, cortante y momento flector.

Seleccionado una de ellas, el programa muestra el diagrama correspondiente e indica los valores máximos. En las Figuras 15, 16 y 17 se pueden ver los diagramas de axiles, cortantes y momentos flectores correspondientes al pórtico analizado.

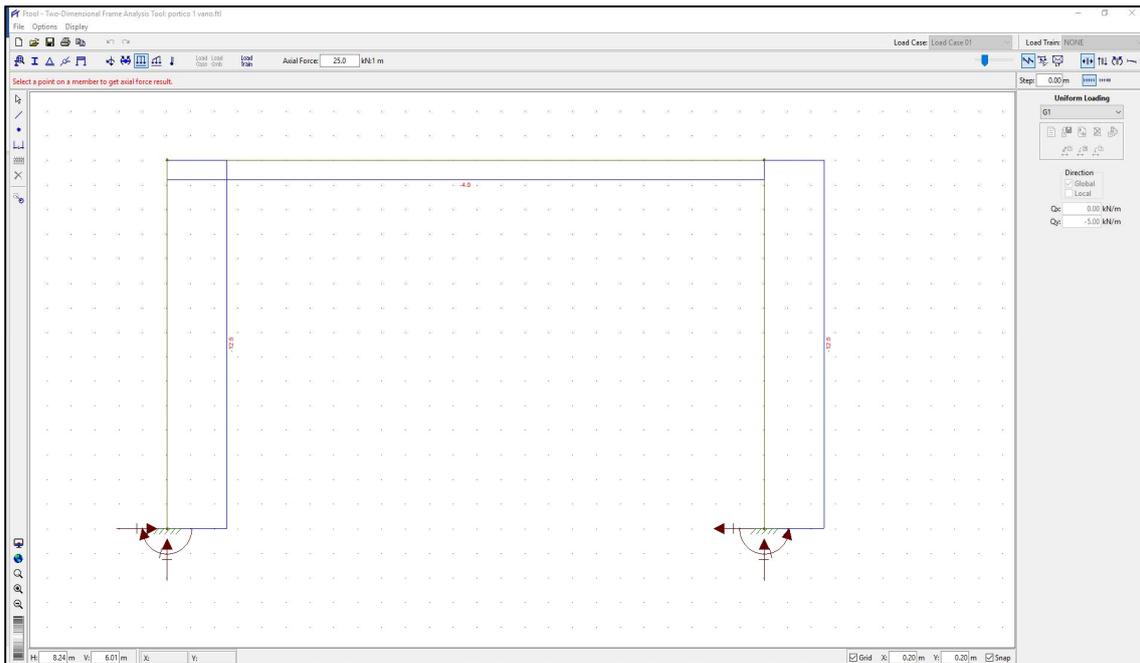


Figura 15. Diagrama de esfuerzos axiles

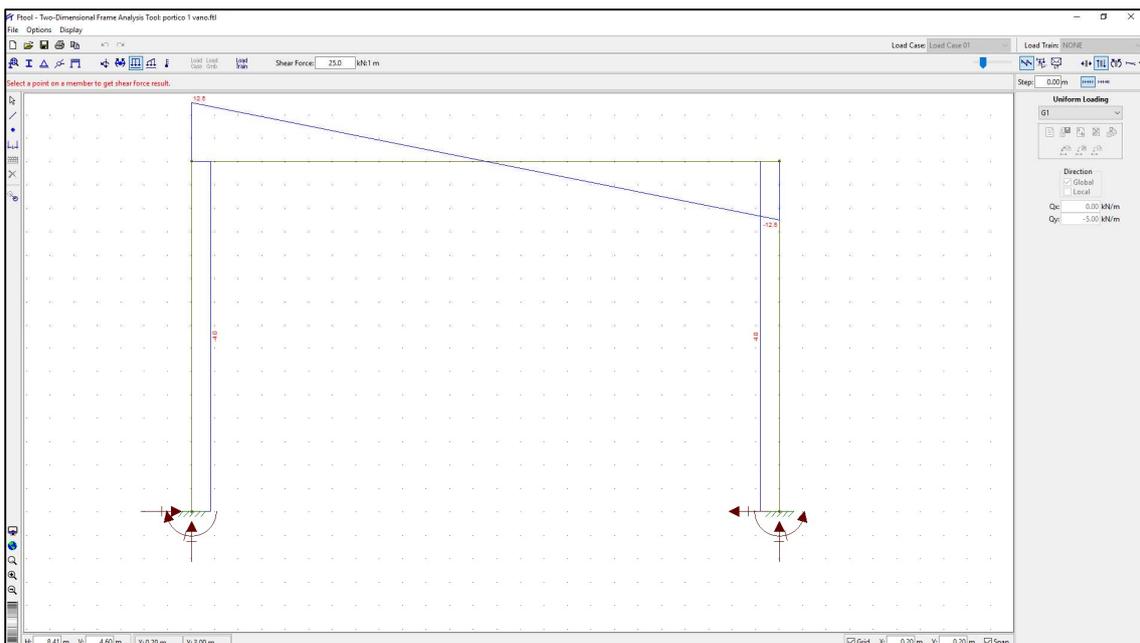


Figura 16. Diagrama de esfuerzos cortantes

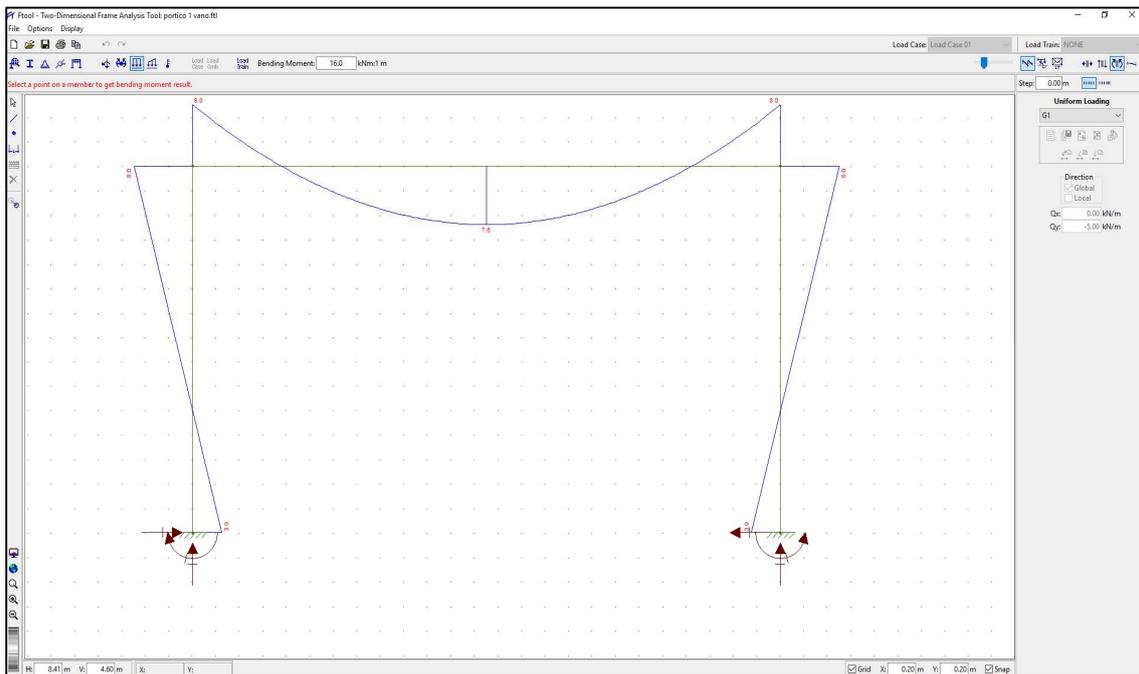


Figura 17. Diagrama de momentos flectores

5.2 Reacciones

No hay una herramienta que permita consultar explícitamente el valor de las reacciones. El programa dibuja en los apoyos externos las fuerzas con flechas y los momentos con flechas curvas, correspondiendo sus magnitudes a los valores de las solicitaciones de las barras en dichos nudos.

5.3 Movimientos y deformaciones

A la derecha de las herramientas de las solicitaciones se encuentra el menú que muestra la configuración deformada 

Este botón ofrece diferentes opciones (valores de los desplazamientos horizontales, de los desplazamientos verticales, de los desplazamientos axiales y los transversales) tal y como se puede ver en la Figura 18.

La configuración deformada del pórtico objeto de análisis, con los desplazamientos verticales y horizontales se muestran en las Figuras 19 y 20.

La Figura 21 muestra el valor de los giros.

Para obtener valores diferentes a los valores máximos es suficiente con seleccionar el punto de interés en la configuración no deformada.

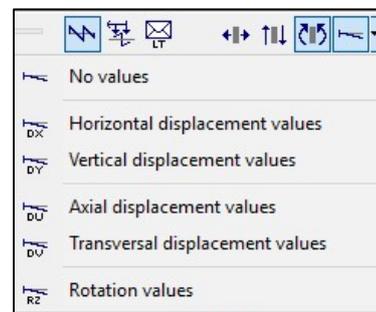


Figura 18. Desplazamientos

El programa muestra los movimientos para ese punto, tanto en la pantalla, como en la barra de arriba, tal y como puede verse en la Figura 22

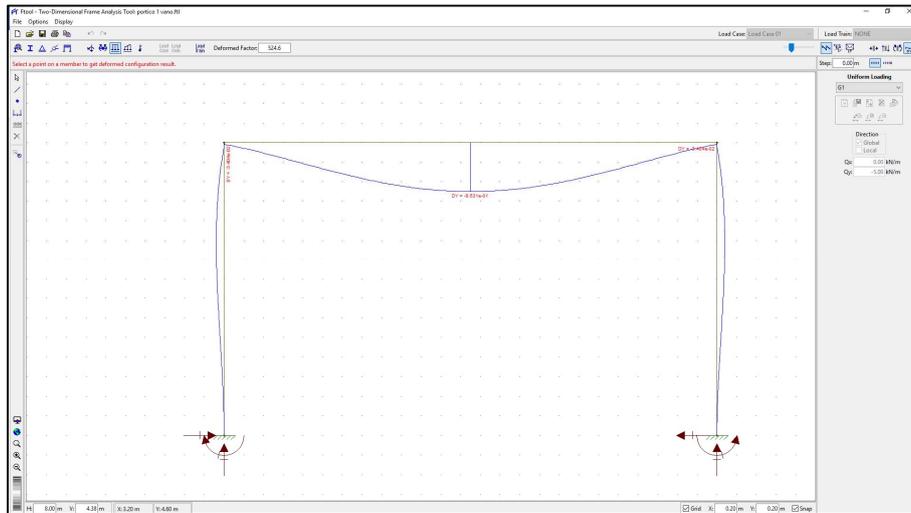


Figura 19. Desplazamientos verticales

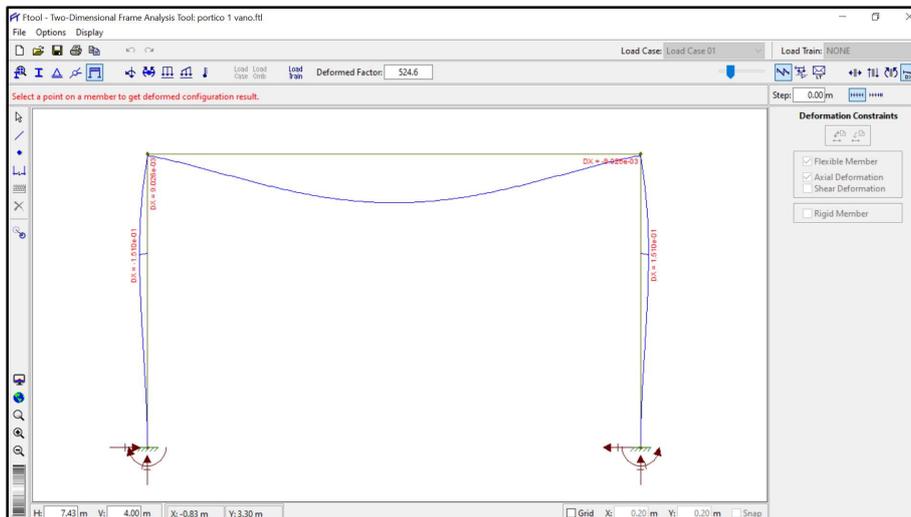


Figura 20. Desplazamientos horizontales

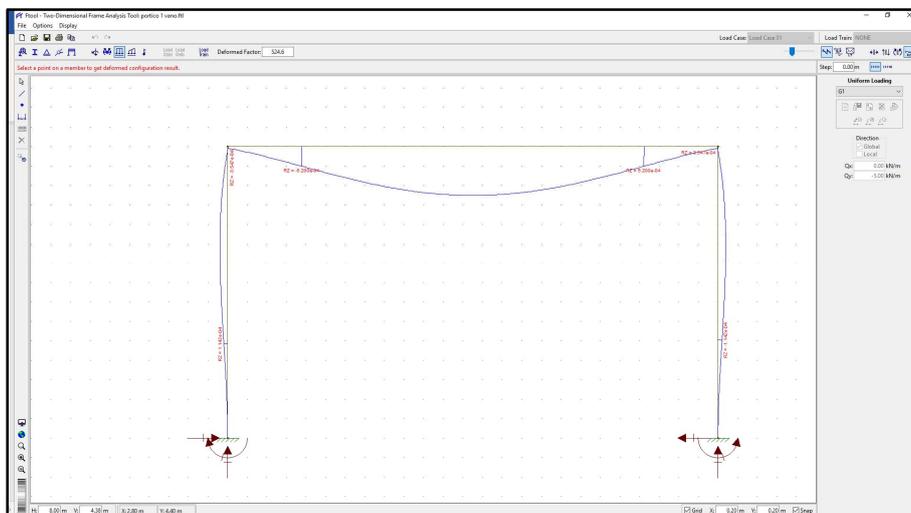


Figura 21 . Giros

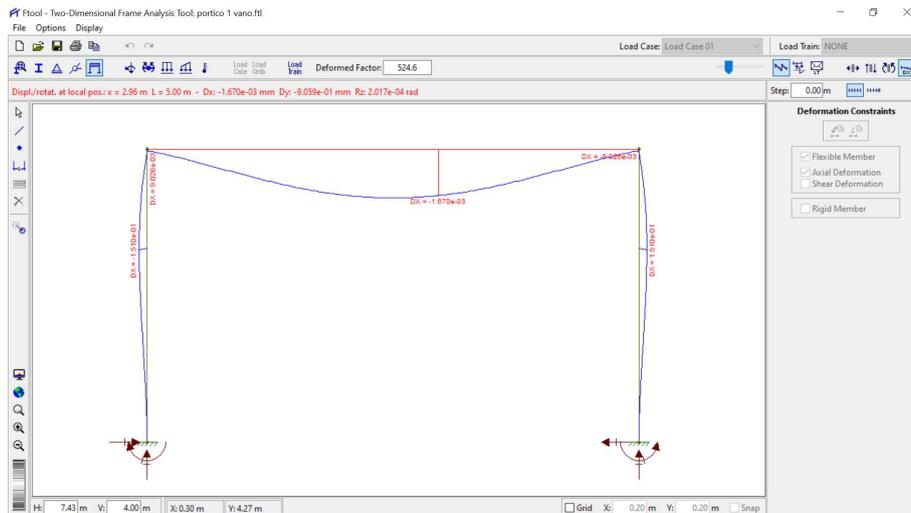


Figura 22. Movimientos en el punto seleccionado

6 Conclusiones

En este documento se explica el uso del programa de análisis estructural Ftool 2D con un caso práctico.

Una vez conocidas las distintas herramientas para introducir la geometría, las secciones, el material, y los esquemas de carga es posible modelizar multitud de estructuras planas, con geometrías y esquemas de carga diferentes.

El objetivo último es que el estudiante tenga una herramienta que le permita comprobar que los resultados obtenidos en el análisis de estructuras isostáticas realizado a mano coinciden con los resultados del programa Ftool.

7 Ejercicios propuestos

Con objeto de consolidar los conocimientos adquiridos y la pericia del estudiante, se proponen los siguientes ejercicios prácticos:

Modelización de los pórticos de las Figuras 23 y 24 con el programa Ftool. Obtención de los diagramas de solicitaciones y deformaciones y comparación con los resultados obtenidos en el análisis del pórtico de la Figura 2.

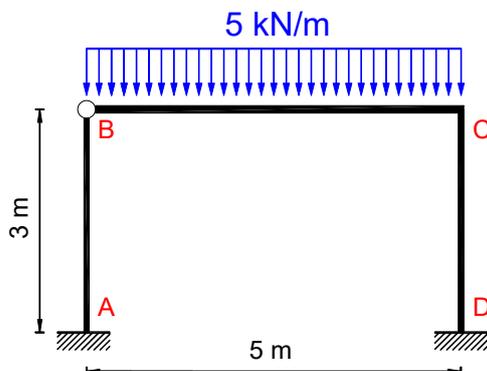


Figura 23. Caso 1

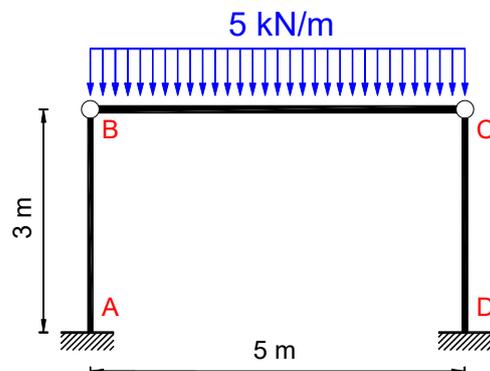


Figura 24. Caso 2

8 Referencias

Luiz Fernando Martha "Ftool. A Graphical-Interactive Program for Teaching Structural Behaviour" PUC-Rio's Department of Civil Engineering. <https://www.ftool.com.br/Ftool/>
Último acceso: mayo 2020

9 Resultados de los ejercicios propuestos

Los diagramas de axiles y cortantes del pórtico de caso 1 (Figura 22) son igual a los de las figuras 15 y 16. Solo cambia el diagrama de flectores, que tiene un valor nulo en el nudo B, tal y como se muestra en la Figura 24

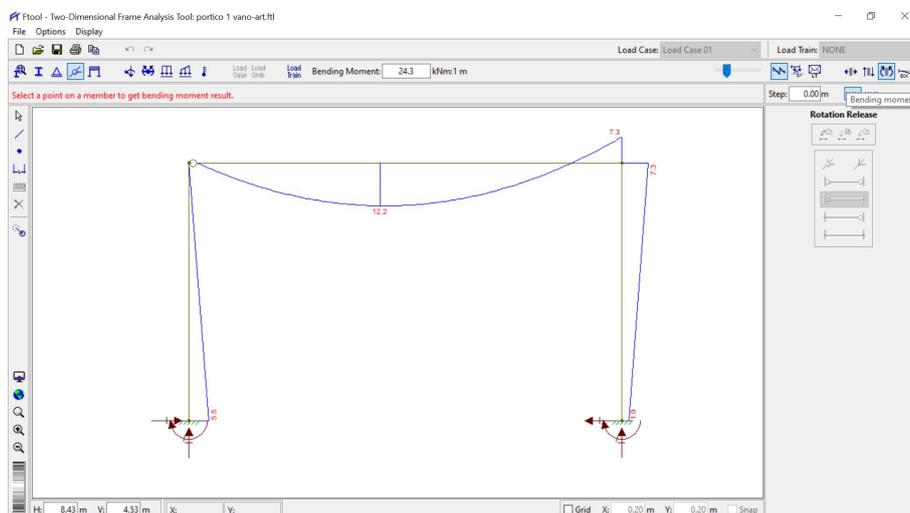


Figura 24. Diagrama de momentos flectores del caso 1

Los diagramas de axiles y cortantes del pórtico de caso 1 (Figura 22) son igual a los de las figuras 15 y 16. Solo cambia el diagrama de momentos flectores, que tiene valores nulos en los nudos B y C, tal y como se muestra en la Figura 25.

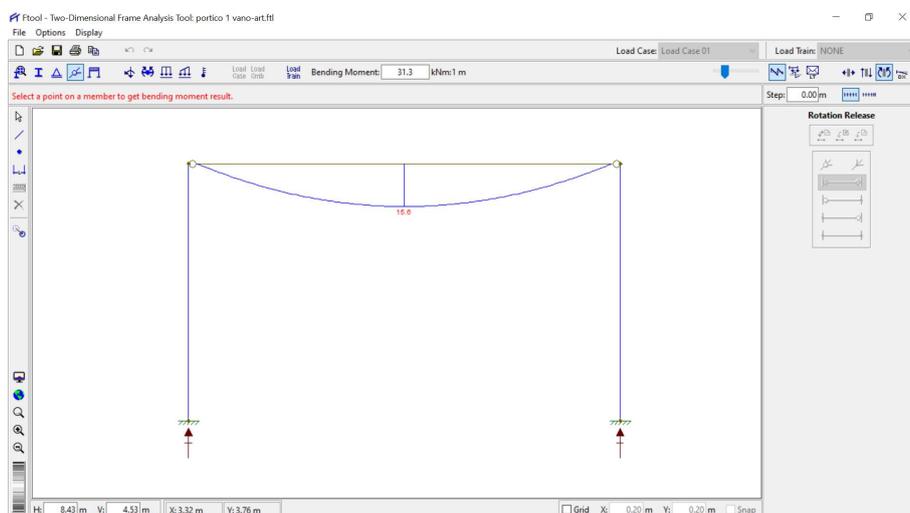


Figura 25. Diagrama de momentos flectores del caso 2