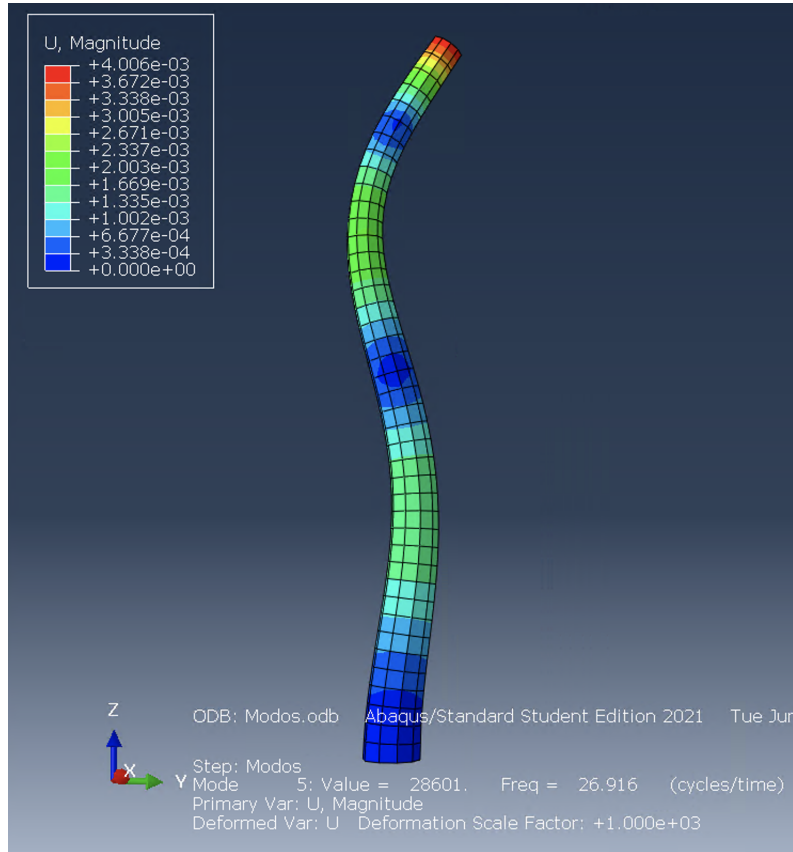


Mdos Computacionales en Ingenierivil
Prca #6, Tema 8.
Culo dinco: oscilaci un molino eo



Jos Goicolea, ngel Yage, Pedro Navas
GRUPO DE MECCA COMPUTACIONAL, ETSICCP, UPM

23-24 de marzo de 2023

Índice

| | |
|--|-----------|
| 1. Definici del problema | 2 |
| 2. Geometr elementos comunes | 3 |
| 2.1. Mo Part | 3 |
| 2.2. Mo Property | 5 |
| 2.3. Mo Assembly | 6 |
| 2.4. Mo Step | 6 |
| 2.5. Mo Load | 7 |
| 2.6. Mo Mesh | 9 |
| 2.7. Mo Job | 10 |
| 3. Modelo con elementos de continuo | 11 |

| | |
|---|----|
| 4. Generaci3n de modelos con scripts Python | 14 |
| 4.1. Modelo con elementos lineales | 14 |
| 4.2. Modelo con elementos de continuo | 15 |
| 5. Resultados | 15 |
| 5.1. Flecha en un nodo | 15 |
| 5.2. Reacci3n en un borde | 17 |
| 6. Ejercicio propuesto | 23 |

1. Definici3n del problema

En esta pr3ctica se pretende estudiar el comportamiento din3mico de un aerogenerador como el mostrado en la figura 1. Para ello se realizar3 un modelo simplificado de la torre de la estructura actuando en el punto de referencia A, una masa de 200 Tn, representando esta el peso equivalente del conjunto de las partes que conforman la estructura superior del molino (palas, g3lbor, buje etc.). El croquis del modelo a realizar es el correspondiente a la figura 2, donde se detalla la geometr3a del cono truncado de la torre el cual est3 apoyado en el terreno. El material del aerogenerador es el acero con propiedades mec3nicas $E = 30 \text{ GPa}$, $\nu = 0.3$ y $\rho = 3500 \text{ kg/m}^3$.

El modelo se realizar3 con elementos tipo soportes lineales con integraci3n reducida (C3D8R) y se discretizar3 con un tama1o aproximado de elemento de 2.5 metros. El objetivo de la pr3ctica es desarrollar un modelo de Elementos Finitos en 3 dimensiones de la estructura bajo las acciones din3micas descritas a continuaci3n.



Figura 1: Aerogenerador

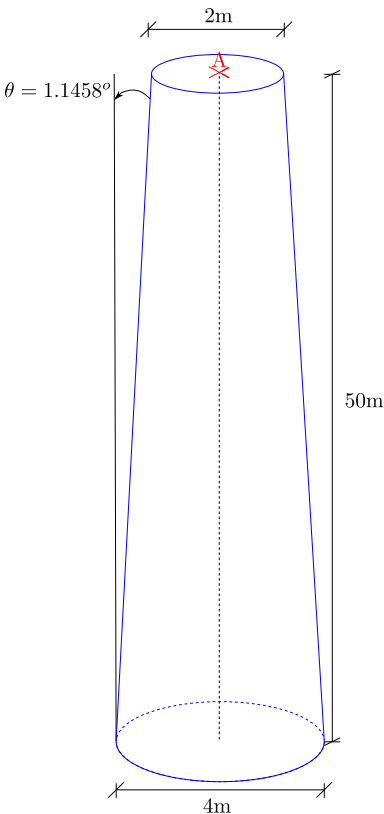


Figura 2: Croquis del modelo

Sobre la estructura act3a la fuerza del viento concentrada en el punto de conexi3n del molino.

Dicha fuerza sigue una distribucion sinusoidal de frecuencia $\pi/8$ y amplitud 100 kN segun la direcci
Se pide en primer lugar obtener los 5 primeros modos de vibraciosteriormente se pide obtener el desplazamiento en la direcciel punto de unin el molino para los siguientes casos:

- Realizar el culo usando ansis modal, considerando los 5 primeros modos de vibraciin amortiguamiento.
- Realizar el culo usando ansis modal, considerando los 5 primeros modos de vibracin amortiguamiento modal de 3 % para el primer modo.
- Realizar el culo con integracirecta en el tiempo usando HHT con α_f igual a -0.05.
- Realizar el culo con integracirecta en el tiempo usando β -Newmark.
- Realizar el culo con integracirecta en el tiempo usando β -Newmark. con amortiguamiento de tipo Rayleigh de 5 % para las frecuencias de 2 y 20 Hz.

NOTA: Los coeficientes de Rayleigh se pueden calcular con las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{2\omega_1\omega_2(\xi_1\omega_2 - \xi_2\omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2}$$

$$\beta = \frac{2(\xi_2\omega_2 - \xi_1\omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2}$$

2. Geometr elementos comunes

2.1. Mo Part

En primer lugar, se ejecuta *Abaqus CAE* para crear un modelo nuevo. Se entra en el mo **part**, activando el icono de crear una nueva parte, que se define como 3D, deformable, solid por extrusi figura 3(a)).

El modelo se definirn el area de la base, a la cual habre realizar una extrusisviada. En primer lugar se inicia una figura de una circunferencia (figura 3(b)) con centro en el (0,0) y punto final en el radio (2,0), para dibujar la base circular de 4 metros de ditro. Una vez finalizado podemos ver como quedaricho culo (figura 3(c)).

Una vez creado el arco se culmina con el botDone" (figura ??(a)) y se realiza la extrusi $L = 50$ metros y un angulo de -1.1458° , teniendo en cuenta que es negativo debido a que el ancho del pilar decrece con la altura., (figura ??(b)).

Antes de pasar al siguiente mo vamos a definir un punto de referencia de esta geometr que sernde iricada la cabeza del aerogenerador. Selccionamos Tools Reference Point, Fig. 5.a, y buscamos el punto medio de la secciperior del fuste, Fig. 5.b. Una vez seleccionado, el punto de referencia queda como en la figura 5.c

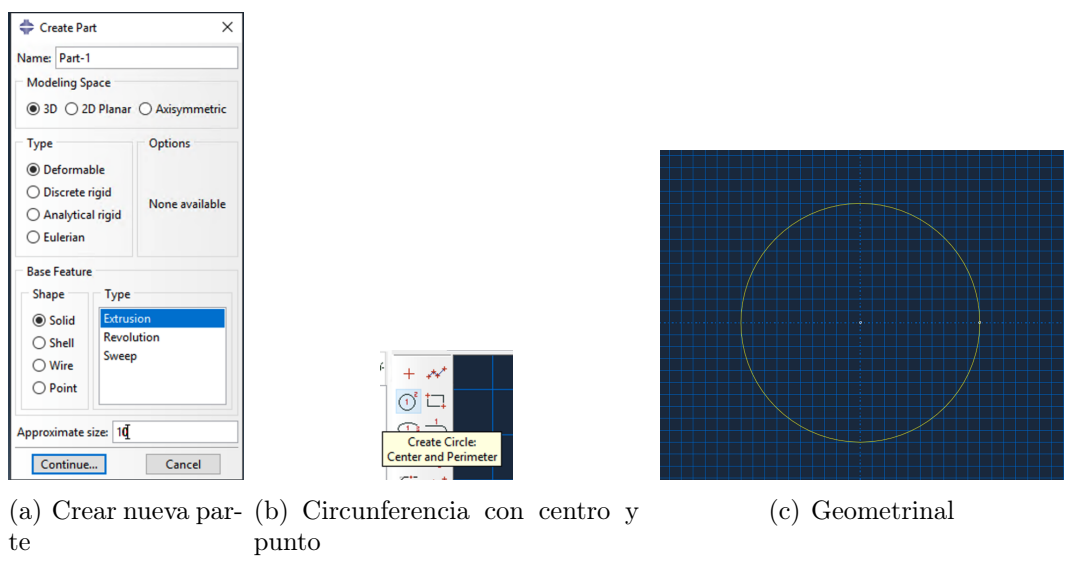


Figura 3: Crear la geometria

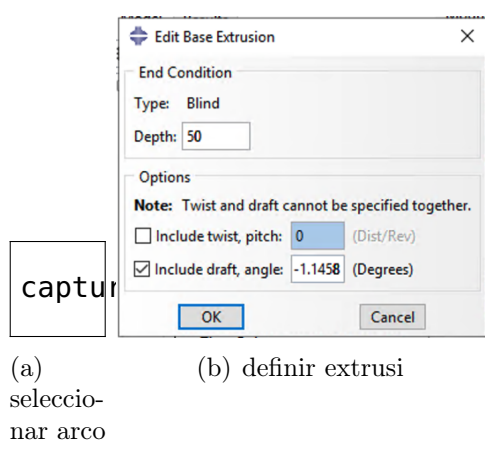


Figura 4: Extrusion de pilar, con Longitud $z = L = 50$ metros y angulo de desviación -1.1458° .

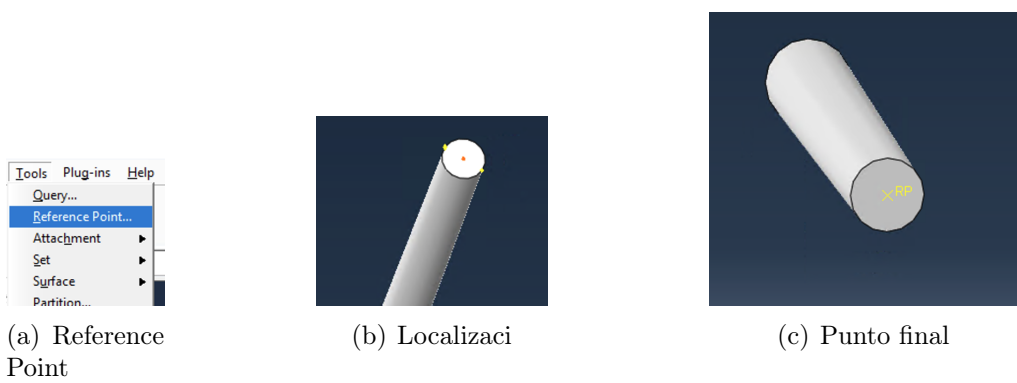


Figura 5: Crear un Reference Point

2.2. Mo Property

Se activa el icono para crear material nuevo (figura 6(a)), se selecciona el material elico lineal y se introducen las propiedades $E = 432 \cdot 10^6 \text{ Pa}$, $\nu = 0$ (figura 6(b)).

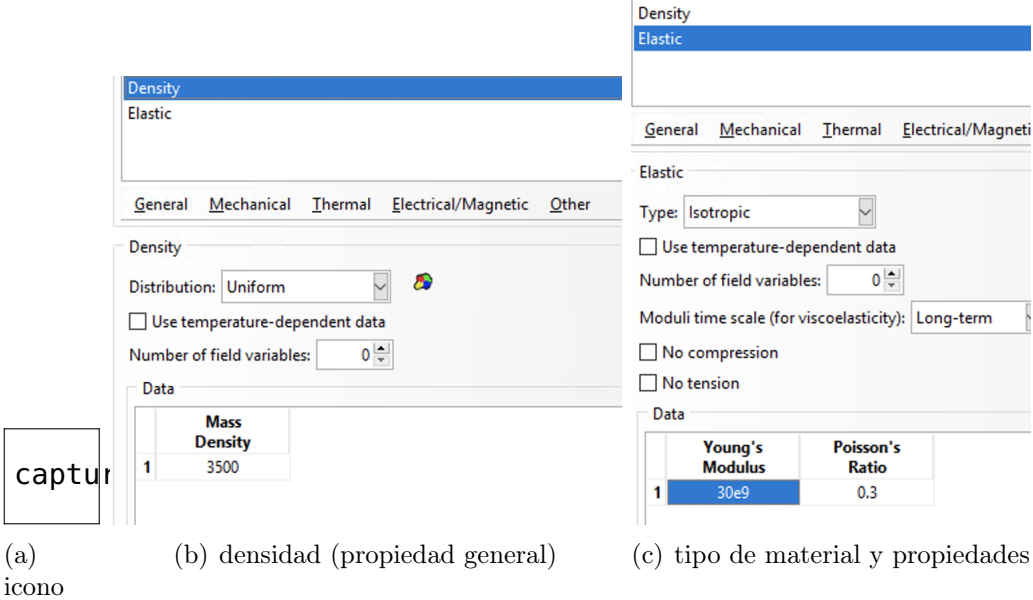


Figura 6: Crear material nuevo

A continuaci crea una “secci, en la que se definen sus propiedades, en este caso el espesor de la lna (0.25 m) y la opci (figura 7). Esta opciplica el culo mediante resultantes seccionales (es decir, momentos flectores, cortantes, axiles...), en lugar de integrar las tensiones numcamente en una serie de puntos del espesor. Esto ltimo que podrer necesario en un modelo de material no lineal, lo que no es el caso. A continuaci asigna la seccia parte creada (figura 8).

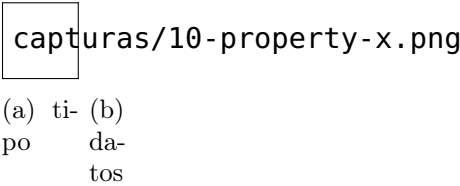


Figura 7: Definicropiedades de la secci

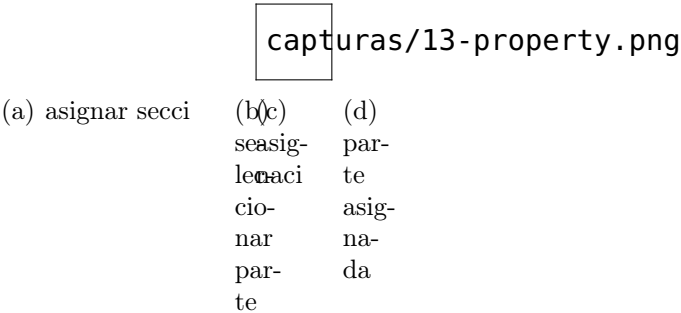


Figura 8: Asignaci la secci

2.3. Mo Assembly

En este mo tan solo hay que crear una “instancia” a partir de la parte, mediante las opciones por defecto:

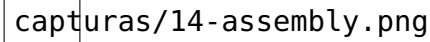
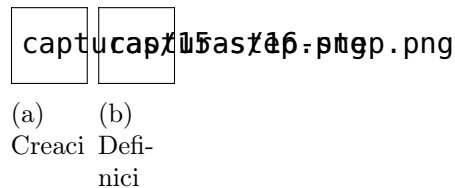


Figura 9: Assembly: crea una instancia de la parte

2.4. Mo Step

Se crea un “step” para el procedimiento de culo “Static, general”. Se toman las opciones por defecto (figura 10). Se edita en “field output” el conjunto de variables para agregar los esfuerzos seccionales SF (esfuerzos de membrana y de flexi la lna), como se indica en la figura 11.



(a) (b)
Creaci Defi-
nici

Figura 10: Crear y definir el “step”

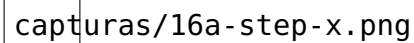


Figura 11: Modificacil “field output”

2.5. Mo Load

En el mo **Load** se definiranto las cargas aplicadas como las condiciones de contorno. En primer lugar las cargas, que son nicamente las de peso propio, mediante “Body force”, a la que se da un valor $q_y = -360 \text{ N/m}^3$ (figura 12). El resultado final se visualiza en la figura 12(d)

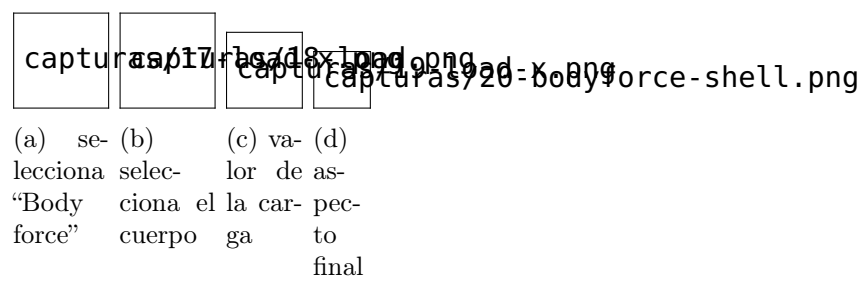


Figura 12: Defini ci las cargas de peso propio

A continuaci imponen las condiciones de contorno, primero las que corresponden a los dos planos deimetr Se abre el “manager” de condiciones de contorno y se crea la condiciecuada en el borde $x = 0$, condiciones “Symmetry/Antisymmetry” del tipo “XSYMM”, una vez seleccionado con el rat borde adecuado (ojo, ¡hay que tener cuidado para no seleccionar mue ese borde!) (figura 13).

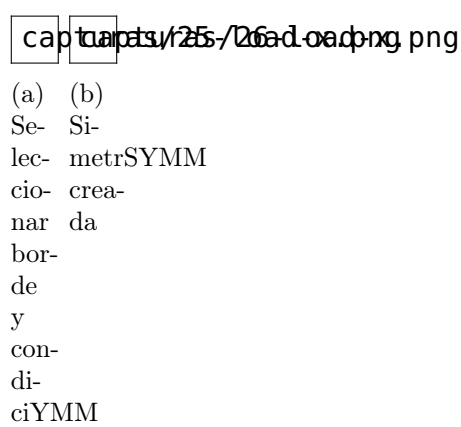


Figura 13: Condiciones de contorno deimetr“XSYMM”

Se establece ahora la simetr or el plano $z = 0$, es decir en el borde posterior del modelo, imponiendo las condiciones correspondientes “ZSYMM” (figura 14)

Por ltimo, en el borde anterior $z = L/2$, se crea una condici contorno para imponer el apoyo fijo, mediante condiciones del tipo “Displacement/rotation”, fijose nicamente los grados de libertad u_x, u_y (U1 y U2 en Abaqus): (figura 15(a)). Al final, el conjunto de cargas y condiciones de contorno definidas se muestran en la figura 15(b).

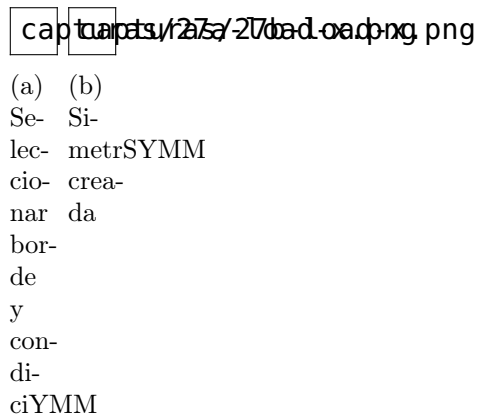


Figura 14: Condiciones de contorno de simetr“ZSYMM” en borde posterior

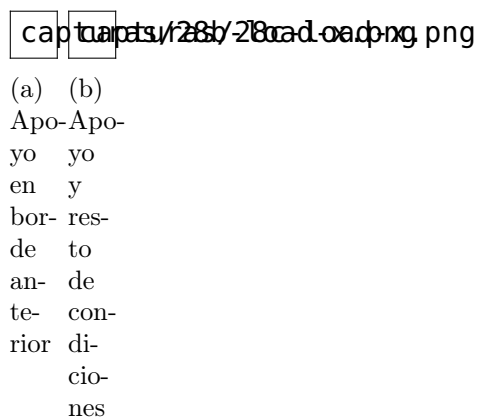


Figura 15: Condiciones de contorno en el apoyo en el borde anterior

2.6. Mo Mesh

En el mo mesh hay que comenzar por seleccionar la parte expandiendo el ol del modelo / parte de la izquierda, y activando con el botrecho el icono “Mesh”: Fig. 16. Se abre en el men superior *Mesh* → *Controls* y se selecciona “Quad” y “Structured”, para generar una malla estructurada de cuadrilros (Fig. 17).

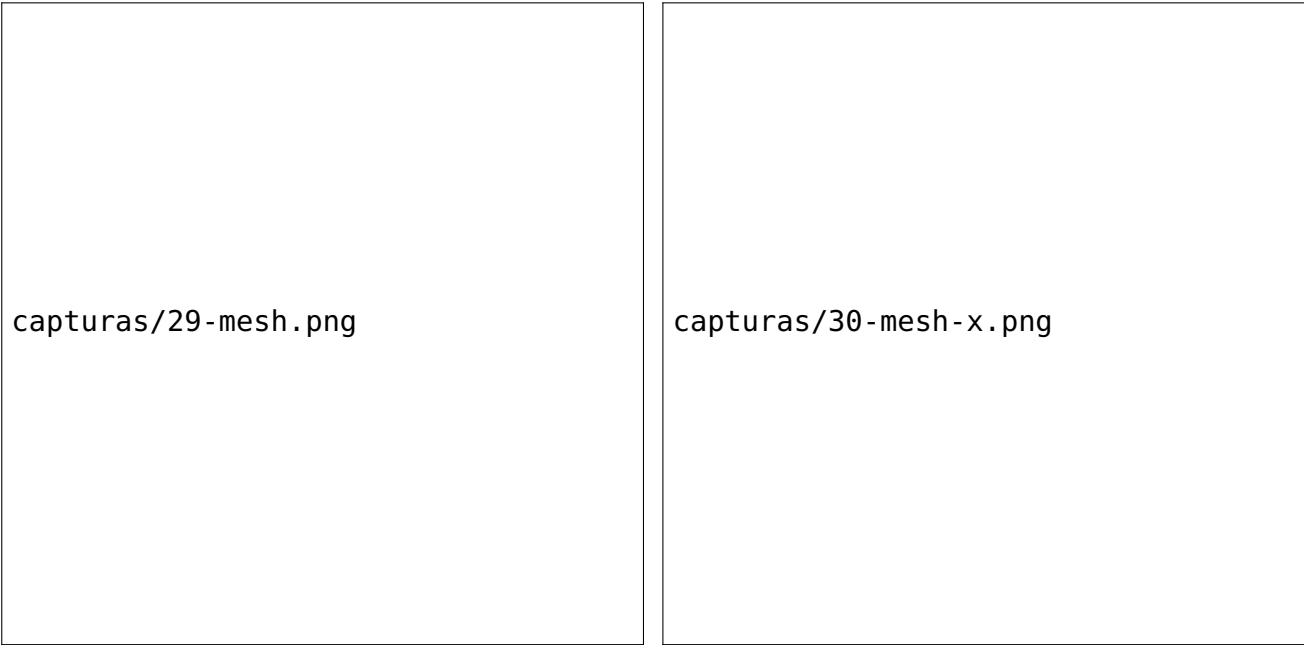


Figura 16: Seleccionar en el men desplegado del modelo para mallar. Figura 17: Definir opciones en “Mesh controls”

A continuaci abre en el men superior *Mesh* → *Element type* y se seleccionan las opciones “Shell”, “Membrane strain: Small”, lo que dargar al elemento S4R5 (Fig. 18).

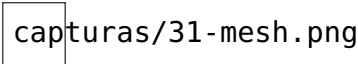


Figura 18: Seleccionar tipo de elemento en “Mesh/element”

Ahora se introducen las semillas para la generaci la malla, se seleccionan los bordes individuales, se activa la opciBy number” y se piden 16 elementos por borde. Esta operaci que hacerla en dos bordes ortogonales, en los otros dos no es necesario (figura 19). Finalmente se

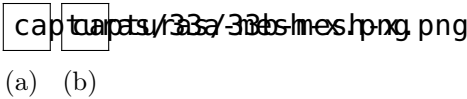


Figura 19: Defini nmero de elementos (semillas) en cada borde

mallla la parte con el icono de mallado indicado en la figura 20, obteniose el resultado que se muestra.

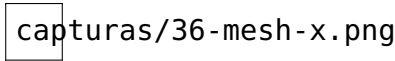


Figura 20: Mallado del cuerpo

2.7. Mo Job

Una vez completado el modelo, se crea un “Job” con las opciones por defecto (figura 21).

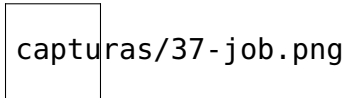


Figura 21: Creación “Job”

Y se envía a calcular mediante “Submit”. El *Status* va cambiando de “Submitted” → “Running” → “Completed”. (figura 22) Si no hay mensaje de error el problema está bien y se pasa

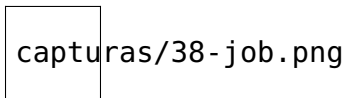


Figura 22: Envío “Job”

al momento de visualizar los resultados, como se muestra en la figura 23. Se observa que la flecha en el punto medio del borde libre es muy próxima al valor de referencia $u_z = -0.3024$ m.

A menudo resulta conveniente representar el modelo completo con las partes simétricas que se han considerado implícitamente, representadas como imagen especular. Esto se puede obtener mediante las opciones en el menú “View” → “ODB display options”, escogiendo en la pestaña Mirror / Patterns” los *Mirror planes* para XY e YZ, figura 24.

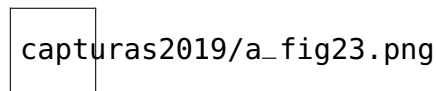


Figura 23: Resultados del cálculo – desplazamiento vertical U2

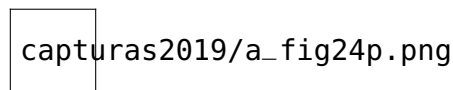


Figura 24: Vista del modelo completo con las partes simétricas representadas

3. Modelo con elementos de continuo

Se puede crear un modelo similar con elementos de continuo (sos 3D), siguiendo los siguientes pasos:

§1.— Crear una parte del tipo “Deformable” / “Solid” / “Extrusion”; Definir el contorno de la parte mediante dos arcos de circunferencia, con radios respectivos $R_i = R - e/2$ y $R_e = R + e/2$, con los mismos 40° que antes, y unir posteriormente los extremos de dichos arcos para formar un recinto cerrado en el plano XY . Terminar y extruir dicho perfil la distancia $L/2 = 25$ para obtener la geometrD de la parte, figura 25.

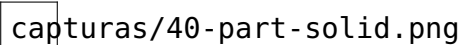
capturas/40-part-solid.png

Figura 25: Geometre la parte como continuo 3D

§2.— Para definir las condiciones de contorno en los bordes se debe tener cuidado de seleccionar el borde completo, no solo una arista, ver por ejemplo la figura 26 en la que se definen las condiciones de simetría “ZSYMM”. El resto de condiciones de contorno en el modelo se establecen de forma similar.

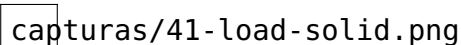
capturas/41-load-solid.png

Figura 26: Condiciones de contorno en modelo continuo 3D

§3.— Para la seleccil mallado en “Mesh/controls” adoptar una malla estructurada de Hexaedros, figura 27.

§4.— En el tipo de elemento seleccionamos en primer lugar el hexaedro de modos incompatibles, se trata de un elemento especial que contiene grados de libertad adicionales para el campo de deformaciones, y que da buenos resultados para flexiesar de haber un solo elemento en el espesor, figura 28.

§5.— Para el mallado, basta con seleccionar las semillas que el sistema propone por defecto, figura 29. El resultado obtenido, con un elemento solo en el espesor de la lna, se muestra en la figura 30.

Los resultados obtenidos con los elementos C3D8I son excelentes, muy similares a los de elementos lna. La muestra mignificativa es la flecha en el centro del borde libre, que resulta ser muy cercana al valor de referencia $u_z = -0.3024$ m.

Si se modifica el tipo de elemento por el hexaedro lineal estar con integracimpletea (C3D8) los resultados son extremadamente malos, la flecha resulta $u_z = -0.072$ m. Por ltimo, empleando el elemento hexaedro lineal con integraciducida (C3D8R) los resultados son tambiu y malos, aunque no tanto como en el caso anterior, la flecha resulta $u_z = -0.210$ m. Esto era de esperar ya que con la formulacirmal de elementos no es posible representar el gradiente de desplazamientos debido a la flexi se emplea solo un elemento en el espesor. Como mmo ser necesario 4 ementos en el espesor, pero esto conducir un modelo con un nmero muy elevado de grados de libertad y muy costoso. El caso de los elementos con modos incompatibles es una excepcin su formulacicluyen campos de deformaciones independientes que se adaptan y recogen correctamente las deformaciones de flexi

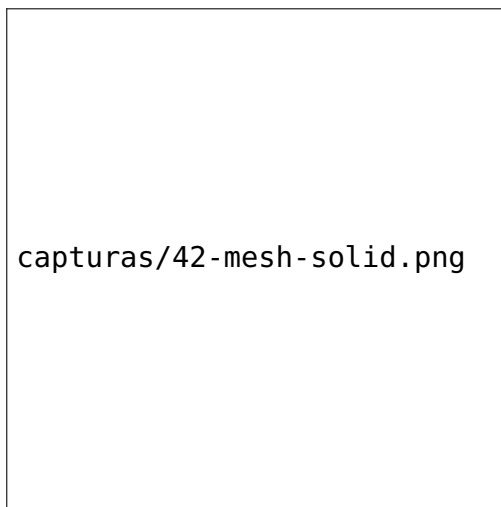


Figura 27: "Mesh / controls" en modelo continuo 3D

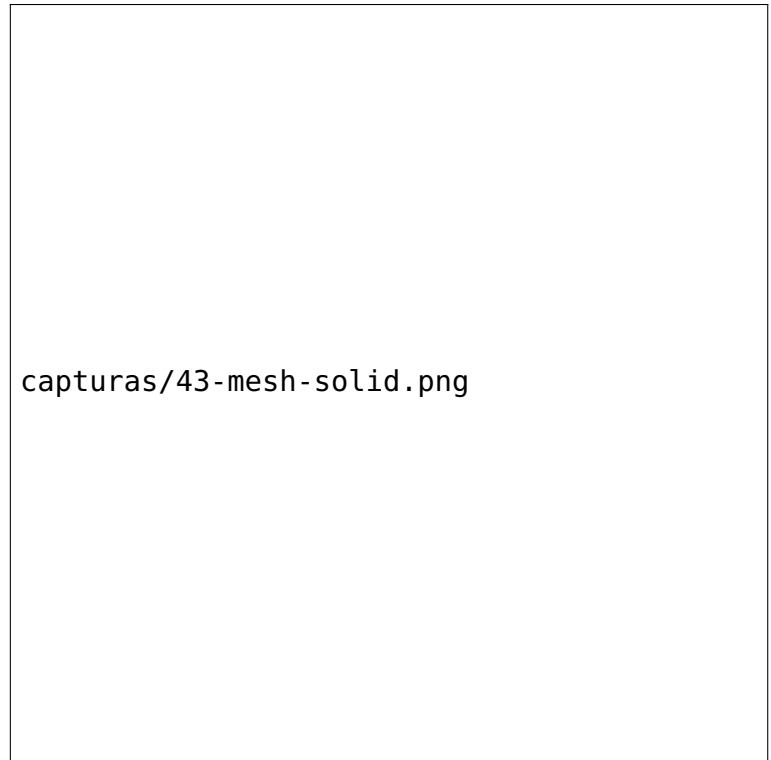


Figura 28: Seleccil tipo de elemento (hexaedro de 8 nodos con modos incompatibles) mediante "Mesh / element type" en modelo continuo 3D

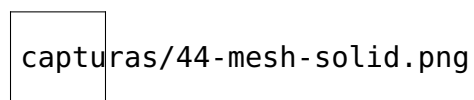



Figura 29: Semillas para el mallado en modelo continuo 3D



capturas/45-mesh-solid.png

Figura 30: Malla de hexaedros en el modelo continuo 3D


 figs/prac3_lamina1_fig.png

Figura 31: Croquis para generaci modelo con Python y elementos lna

4. Generaci modelos con scripts Python

4.1. Modelo con elementos lna

Se incluyen dos modelos preparados directamente en python que reproducen los modelos realizados con ayuda de abaqus cae. En lo que sigue se explican someramente las distintas partes de cada script.

El primer modelo es el preparado para elementos lna. Se puede descargar directamente en [prac3_lamina1.py](#), una vez descargado se puede ejecutar desde abaqus directamente.

En este modelo las fases seguidas en la programacin las siguientes, describiase los puntos en el croquis de la figura 31.

1. Primeramente se define el perfil de la lna. Esto se hace ayudose de los puntos que definen el cuarto de lna que se va a modelar. Estos son, el punto O centro de la circunferencia que define la secciansversal de la lna, A que es el punto de mma altura de la lna y que pertenece al plano de simetrongitudinal de la misma y el punto B que pertenece al borde libre. Adicionalmente se define el punto M que se utilizars adelante. Tambie definen como variables de python el radio de curvatura de la lna y el semiulo (R y ANG).
2. Con estos partros se definen los puntos en un sistema de coordenadas de dos dimensiones, se crea el arco de circunferencia que define el perfil de la lna y se realiza la extrusie genera una parte (p).
3. A continuaci definen el material, la seccin terminologe abaqus) y la asignaci secciarte. Obsese que para hacer la asignaci usan las 'faces' de la parte de abaqus que representan la superficie ya generada.
4. Una vez definido el material y asignado a la parte se genera la instancia a calcular que se denominaraminainstancia' y que se almacena en la variable 'myAssembly'. Aqu generar la instancia se define con malla dependiente de la parte (dependent=ON).
5. Posteriormente se definen las cargas y condiciones de contorno. Para seleccionar los elementos geomicos en los que definir las condiciones de contorno nos apoyamos en los puntos medios de los bordes. Con estos puntos medios buscamos el elemento geomico al que aplica la condici contorno. En este caso son elementos geomicos del tipo 'edges'. Para esta bsqueda utilizamos puntos definidos en un espacio de tres dimensiones por lo que del punto M definido inicialmente se usan sus dos coordenadas suplementadas por la coordenada z lo que da lugar al punto $OM3$. Para definir el peso propio hay que seleccionar toda la instancia lo que se hace a mediante un 'BoundingBox' de 'faces'.
6. Para definir la malla se generan las divisiones de elementos en dos bordes de la lna no paralelos, se define el tipo de elemento y se genera la malla.
7. Por ltimo se ejecuta el modelo y se almacena la definicil mismo.



Figura 32: Croquis para generaci modelo con Python y elementos de continuo

4.2. Modelo con elementos de continuo

El script del modelo con elementos de continuo se puede descargar en [prac3_lamina2.py](#). Una vez descargado se puede ejecutar desde abaqus directamente.

La programaci script sigue las mismas pautas, con las salvedades correspondientes. Se describen los puntos en el croquis de la figura 32.

1. Ahora se genera una seccie en vez de estar definida por un tramo de curva abierta se define con una curva cerrada. Los puntos se definen con el siguiente criterio, los puntos pertenecientes a la parte superior de la lna llevan el sufijo *T* y los correspondientes a la parte inferior el sufijo *B*.
2. La parte se crea mediante una extrusilida, BaseSolidExtrude, como contraposicia lna que era BaseShellExtrude.
3. La definici material es similar pero algo mencia que en la lna.
4. La definici las cargas se hace utilizando igual que antes puntos medios pero que en este caso en vez de pertenecer a un borde (edge) pertenecen a una superficie (face). El procedimiento es el mismo que antes, se define el punto medio de la superficie a la que hay que asociar la condici contorno y se busca la 'face' de la instancia mediante 'findAt'. Para el peso propio se selecciona toda la instancia y para la condici apoyo se selecciona sn borde, en este caso el inferior.
5. La generaci malla en este caso es con una semilla para todo el modelo.
6. El resto del script es similar.

5. Resultados

5.1. Flecha en un nodo

Paso 1. Se trata de obtener la flecha en el punto medio del borde libre, que para el modelo de referencia es $u_z = -0.3024$ m.

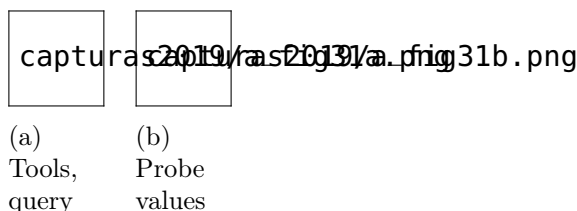
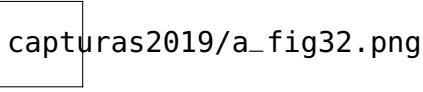


Figura 33: Seleccionar valores a mostrar de los resultados

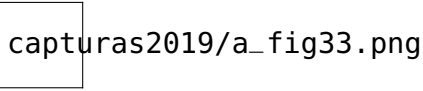
Se procede utilizando el men de tools (dentro de resultados) y dentro de tools el submen query (Fig. 33(a)). Al optar por este submen se abre un recuadro en el que se debe elegir la opci "Probe values" (*sondear valores*), Fig. 33(b). Aparece una nueva ventana en la que se debe elegir "Probe: Nodes" y "Components: Selected" (Fig. 34). En la cabecera de esta ventana

aparece el campo que se estsualizando que ser que se sondee: *Field output variable for Probe*: U, U2, que se puede seleccionar mediante el icono al comienzo de este campo, Fig. 35.



capturas2019/a_fig32.png

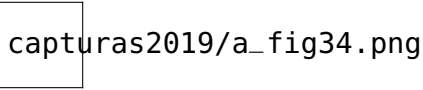
Figura 34: Nodos y selecci



capturas2019/a_fig33.png

Figura 35: Selecci variable a sondear (*probe*): U, U2

Una vez seleccionados esos campos se debe marcar con el rat la ventana de representacil modelo el o los nodos en los que estamos interesados. Al hacer clic con el ratbre el nodo en cuesti ver resultado en la ventana de *Probe Values* que resulta ser $u_z = -0.3043$ m, lo que coincide con el valor esperado (Fig. 36).



capturas2019/a_fig34.png

Figura 36: Valor de flecha (U2) en el nodo seleccionado

5.2. Reacci un borde

Es tambinteresante obtener las reacciones en los apoyos o en los bordes que representan las condiciones de simetr Para ello se procede como en la prica anterior. Se define una curva sobre el modelo, en este caso se tratarl borde en el que estemos interesados. En la definici la curva, al tratarse de bordes curvos (en general) se deberncluir todos los nodos que la forman. Una vez definida la curva se define una tabla de datos mediante la asociaci un valor escalar a la curva predefinida. En este caso particular se procederel siguiente modo:

1. Se define la curva (*path*) (Fig. 37). Ello se hace a partir del ol de resultados que figura en la ventana izquierda. Se selecciona “*Create*” haciendo clic con el botrecho del ratbre el item “*Paths*”.

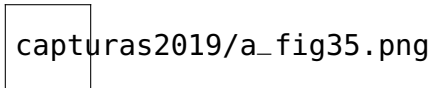


Figura 37: Creaci una curva (*path*)

En la ventana siguiente (Fig. 38(a)) se selecciona “Node list”, se da un nombre a la curva y se hace clic sobre “continue”. En la siguiente ventana (Fig. 38(b)) se indica “Add After” para la creacil “Node List”.

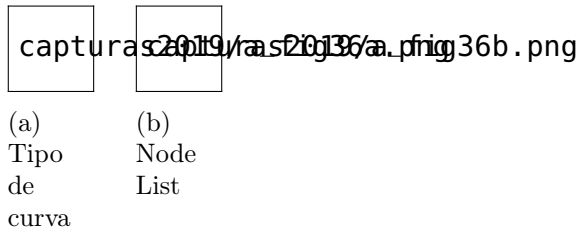


Figura 38: Tipo de curva y lista de nodos para definicil *Path*

Se van aendo los nodos hasta que una vez ados todos se hace clic sobre “Done”, como se muestra en la figura 39. Se confirma y ya esteadada la curva, como se puede observar en el ol que representa los resultados.

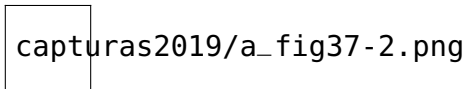


Figura 39: *Path* para la Reaccirtical

2. El siguiente paso es asociar un resultado a la curva, para lo cual se crea una tabla, de modo similar a la creaci la curva. Se hace clic sobre el apartado “XYData” del ol (Fig. 40).

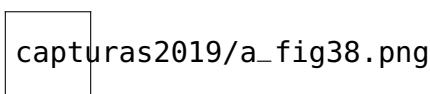
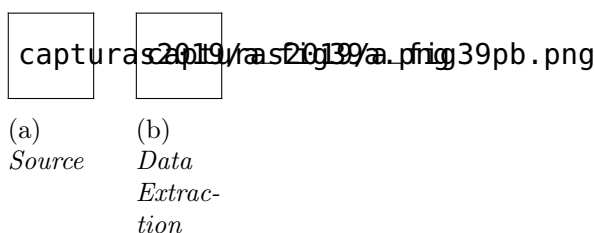


Figura 40: Creaci una tabla de datos

En la siguiente ventana (fig. 41(b)) se elige la opciPath” y se continua. DespuFig. 41(b)) se asocia a la curva indicada en el men desplegable de “Path” el valor del escalar que nos interese. Para “X Values” dejamos la opci “True distance” y en “Data Extraction”,

Figura 41: Definici la trayectoria (*path*) para una curva de resultados

aparte de elegir la curva, marcamos “Undeformed” e “Include intersections”. Para el valor de la ordenada de la curva se hace clic sobre el botField Output” con lo que tendremos acceso a la ventana de la fig. 42(a), en la que elegiremos RF, RF2 y haremos clic sobre “OK”. Ya suda marcar “Plot” en la ventana de Data Extraction (Fig. 42(b)) con lo que obtendremos la curva de la figura fig. 43.

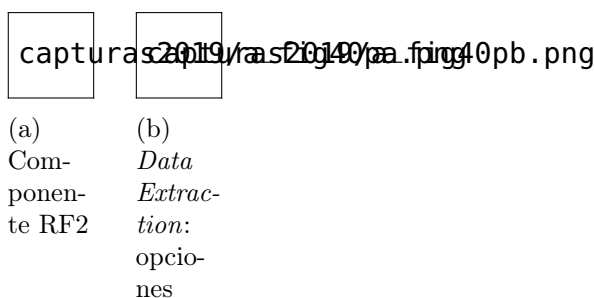


Figura 42: Extracci datos a una tabla



Figura 43: Reaccirtical por unidad de longitud en apoyo

Adem se puede obtener la integral de la reaccir unidad de longitud, mediante la selecci el ol del modelo *XY Data* → *Create* → *Operate on XY data* → *integrate* obteniendo el resultado de la figura 44.

Es interesante hacer como comprobacis culos directos de la reaccital, figura 45, que comprobamos que difiere ligeramente (5 %) del valor integrado en el *path*. La raz que la opci no es



 capturas2019/a_fig42p.png

Figura 44: Integral de la reaccirtical (*Moment* representa la integral)

Figura 45: Culo analco de la reacci



 capturas2019/a_fig44p1.png


Figura 46: Suma de reacciones nodales

la forma mxacta de sumar reacciones ya que hay una interpolaci por medio. La forma mrecisa serumar las reacciones individuales de cada uno de los nodos, como se aprecia en la figura 46

Otra forma de obtener la suma de reacciones sin tener que *sumarlas manualmente* es establecer una restricci todos los nodos del borde de inter un nico nodo mediante un *MPC* o un *kinematic coupling* y recuperar la reacci dicho nodo. Para ello al borde anterior se acopla una restriccinemca a un nico nodo que puede ser real o ficticio y al que se asigna la condici contorno fija. De este modo la reaccitenida es la correspondiente a la resultante total de ese borde. En este caso el nodo maestro es uno de los vices, figura 47.

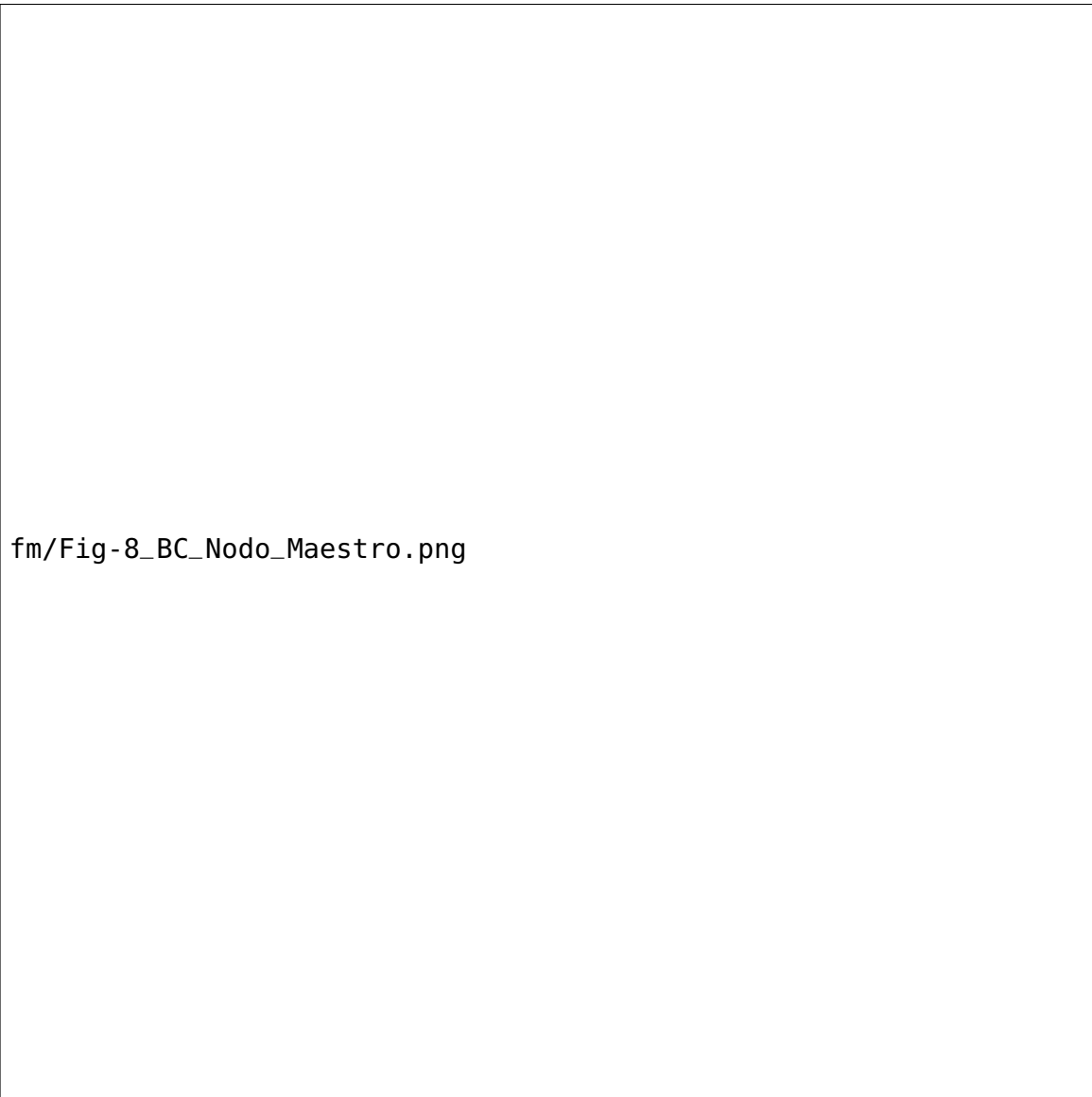
Se asigna la condici contorno al nodo maestro, figura 48.

Si se hace as resultado es completamente exacto como se puede apreciar en la figura 49.




fm/Fig-7_Kinematic_constraint.png

Figura 47: Asignaci *kinematic coupling* MPC



fm/Fig-8_BC_Nodo_Maestro.png

Figura 48: Asignacindici contorno



fm/Fig-9_Kinematic_Reacc_Vertical.png

Figura 49: Culo de la reaccidante *kinematic coupling*

6. Ejercicio propuesto

El puente de la Fig. 50, de ancho 3,5 m, se encuentra empotrado en pilas y estribos en las as verticales de contacto con el terreno circundante. El mo de Young del material es de 30.0 GPa, el coeficiente de Poisson es $\nu = 0.2$ y el peso especco es $\gamma = 24000 \text{ N/m}^3$. Las acciones a considerar serl peso propio y el efecto de un sismo que se supondruivalente a una fuerza volumica, distribuida transversalmente al puente, de valor 1000 N/m^3 , actuando en el sentido AB (Fig. 50).

Se desea estudiar el comportamiento estructural de este puente ante las dos acciones mencionadas. Teniendo en cuenta las simetr del problema, se preparar modelo con Abaqus de la mitad del puente tal y como se indica en la Fig. 50, donde se detalla la geometre la estructura.

Figura 50: Descripcil ejercicio propuesto

Responde las preguntas que vienen a continuaciniendo en cuenta que el elemento a emplear ser hexaedro de 8 nodos con integraciducida C3D8R y el tamal elemento a utilizar en el mallador de Abaqus ser.55 m.

1. Flecha vertical (valor absoluto) en el punto B:

A: $3.1 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

B: $42.1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

C: $42.1 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

D: $3.1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

2. Peso total del modelo:

A: 0.0679 MN

B: 0.8148 MN

C: 1.0 MN

D: 1.6296 MN

3. Máxima tensión de tracción en el modelo:

A: 0.09 MPa

B: -1.642 MPa

C: 0.393 MPa

D: 450.6 MPa

4. Suma de las reacciones horizontales (dirección AB) del modelo en valor absoluto:

A: 1629.6 kN

B: 1.0 kN

C: 67.9 kN

D: 0.5 kN

5. Mínima tensión de compresión en el centroide del elemento E1:

A: -0.113 MPa

B: 0.5 MPa

C: -1.47 MPa

D: 0.113 MPa

6. Tensión vertical en el punto D:

A: -283.5 kPa

B: -3048.4 kPa

C: -30.9 kPa

D: 117.9 kPa