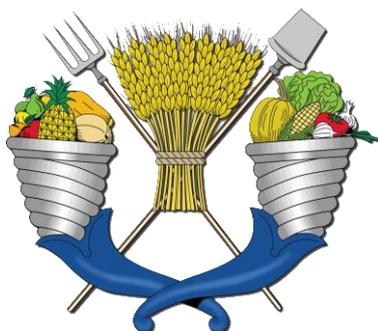


SIMULACIÓN DE LA CUBIERTA PLÁSTICA DE INVERNADERO USANDO ELEMENTOS FINITOS



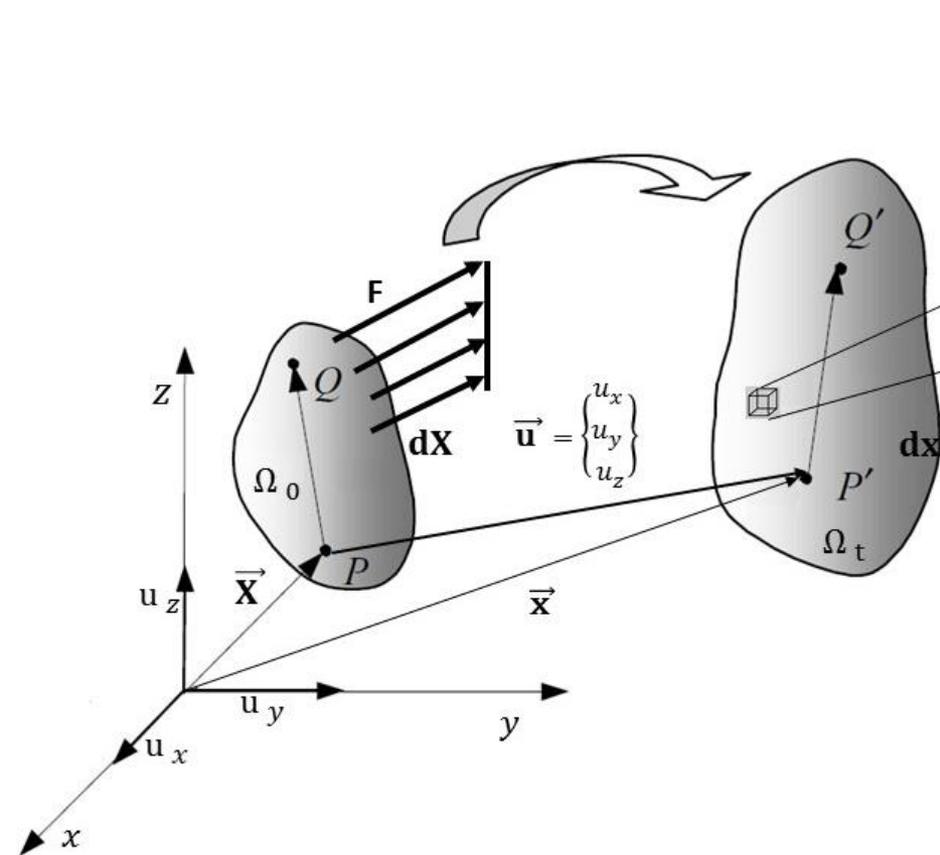
Carlos Castillo
Abraham Rojano Aguilar

Fecha 28/11/2017

La importancia del material de cobertura en un cultivo bajo invernadero estriba en que constituye el agente modificador del clima natural de la zona en donde se vaya a construir el invernadero (Von Elsner et al., 2000)

El gran problema que tiene este material al ser usado para este fin es su corta vida útil, trayendo como consecuencia aumento en los costos de operación del invernadero al estarlo cambiando constantemente (Dilara y Briassoulis, 2000), otra de las consecuencias que trae esto es la generación de miles de toneles al año de residuos lo cual implican un fuerte impacto ambiental (Schettini, 2000).





$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} + f_x = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} + f_y = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + f_z = 0$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{\epsilon} = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{\sigma} = [\sigma_{xx} \quad \sigma_{yy} \quad \sigma_{zz} \quad \sigma_{xy} \quad \sigma_{xz} \quad \sigma_{yz}]^T$$

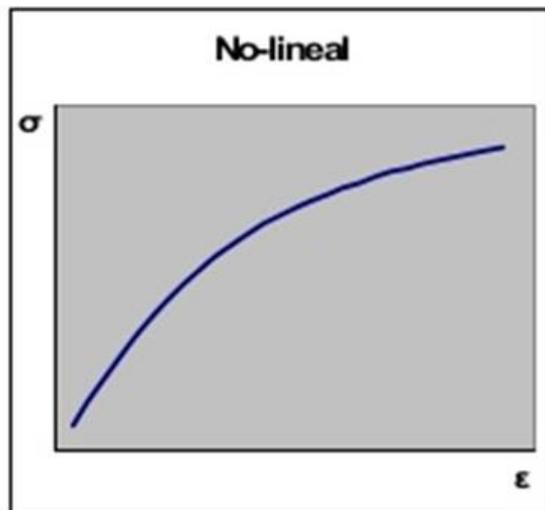
$$\boldsymbol{\epsilon} = [\epsilon_{xx} \quad \epsilon_{yy} \quad \epsilon_{zz} \quad \epsilon_{xy} \quad \epsilon_{xz} \quad \epsilon_{yz}]^T$$

$$\sigma = \lambda' \text{tr}(\epsilon) + 2\mu' \epsilon$$

$$\lambda' = \frac{\lambda}{J}$$

$$\mu' = \frac{\mu - \lambda \ln J}{J} \quad \mu = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

$$\lambda = \frac{Ev}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$$

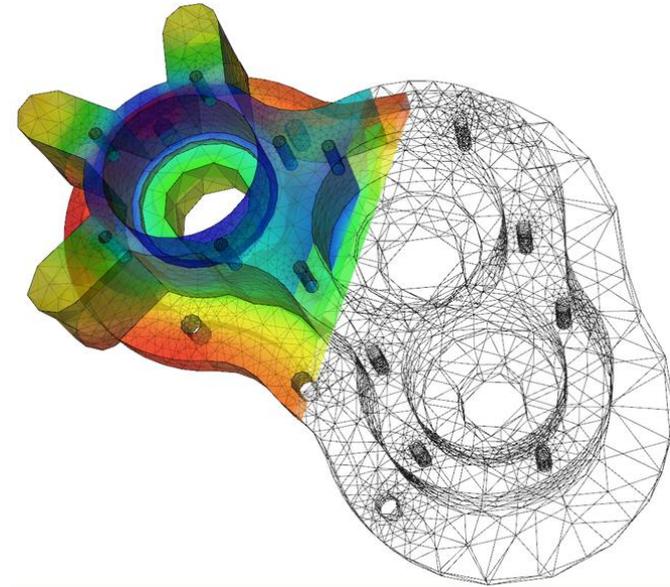


$$J = \det[\mathbf{F}] = \det \begin{bmatrix} \frac{\partial u_x}{\partial x} & \frac{\partial u_x}{\partial y} & \frac{\partial u_x}{\partial z} \\ \frac{\partial u_y}{\partial x} & \frac{\partial u_y}{\partial y} & \frac{\partial u_y}{\partial z} \\ \frac{\partial u_z}{\partial x} & \frac{\partial u_z}{\partial y} & \frac{\partial u_z}{\partial z} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_{xz} \\ \sigma_{yz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda' + 2\mu' & \lambda' & \lambda' & 0 & 0 & 0 \\ \lambda' & \lambda' + 2\mu' & \lambda' & 0 & 0 & 0 \\ \lambda' & \lambda' & \lambda' + 2\mu' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{zz} \\ \epsilon_{xy} \\ \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yz} \end{bmatrix}$$

$$\sigma = D(\mathbf{u})\epsilon$$

El método del elemento finito es un método numérico para resolver ecuaciones diferenciales parciales que describen muchos problemas en ingeniería. El FEM se originó en el área de la mecánica estructural aeronáutica y desde entonces se ha extendido su aplicación a otras áreas de mecánica de sólidos, transferencia de calor, electromagnetismo, dinámica de fluidos, flujo en medios porosos, biomecánica, etc. (Kim, 2014).



Objetivo general

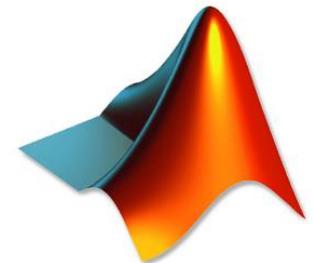
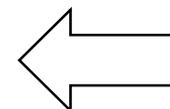
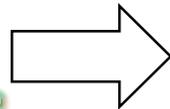
- Aplicar el método del elemento finito para obtener una simulación computacional esfuerzo-deformación de la cubierta plástica de un invernadero y encontrar los valores máximos de desplazamientos, deformaciones, esfuerzos así como su localización en la geometría.

Objetivos específicos

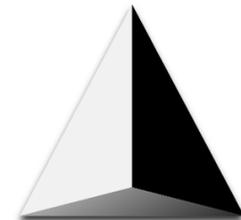
- Realizar un modelo 3D de la geometría y el mallado.
- Realizar el cálculo de las condiciones de carga a las que está sujeto el invernadero.
- Realizar los programas necesarios para el cálculo.

- THINKSTATION S30 con un procesador Intel® Xeon® que trabaja con 2 núcleos a 2.4 GHz y con una memoria RAM de 24 GB.
- Software MATLAB® en su versión 2015 (a).
- Software GMSH® en su versión 2.11.0.
- Datos experimentales de las constantes mecánicas del plástico.

Datos
experimentales



MATLAB
The Language of Technical Computing



Pre-Proceso

Definición del problema

Discretización

Interpolación

Proceso

Ensamble

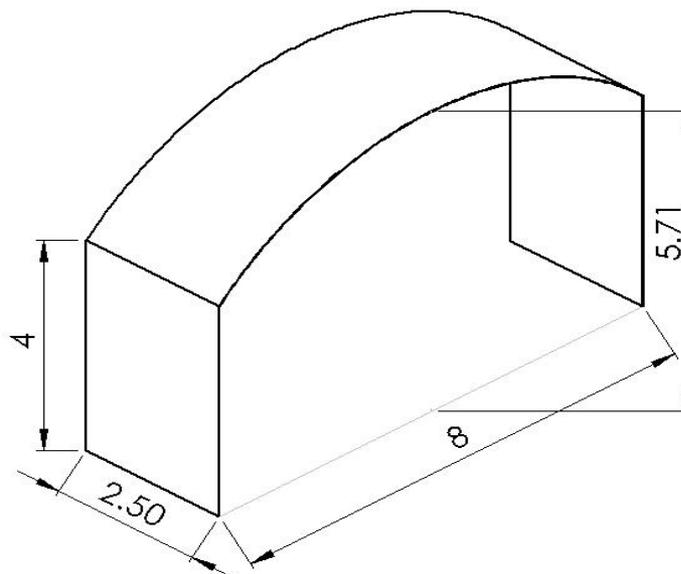
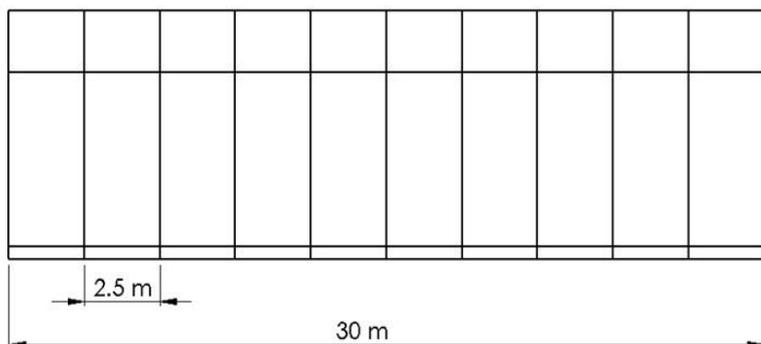
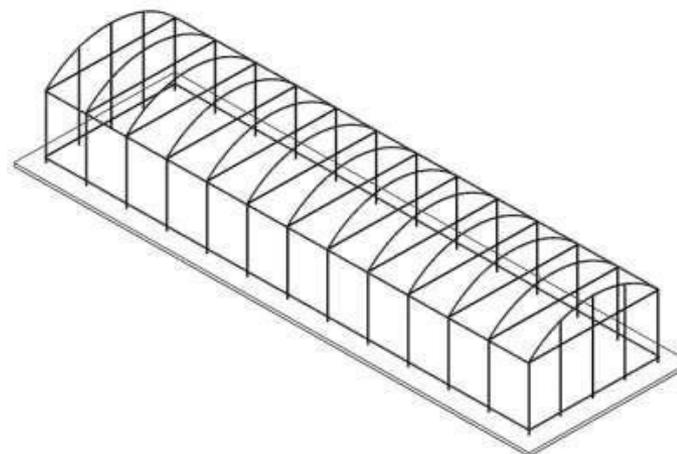
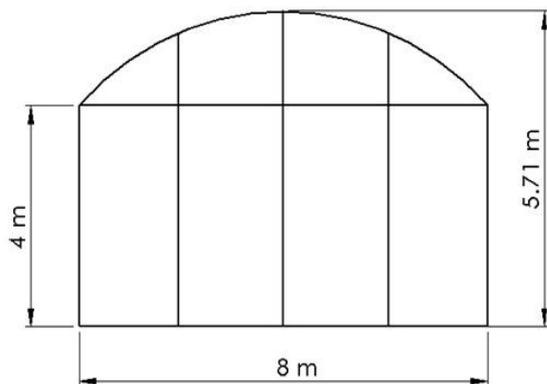
Solución del sistema

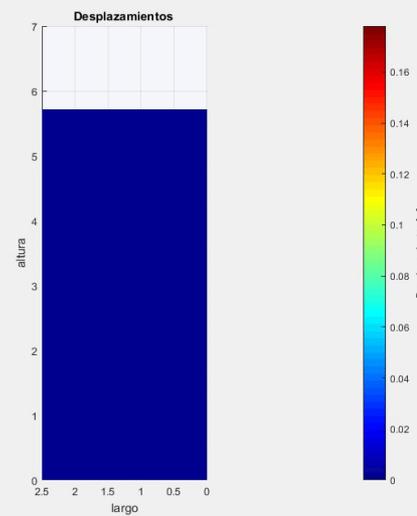
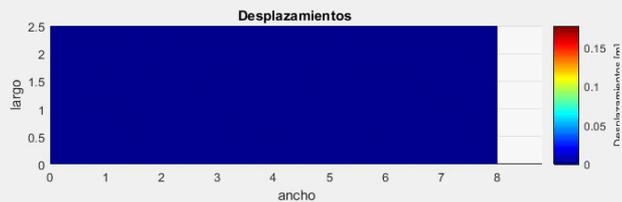
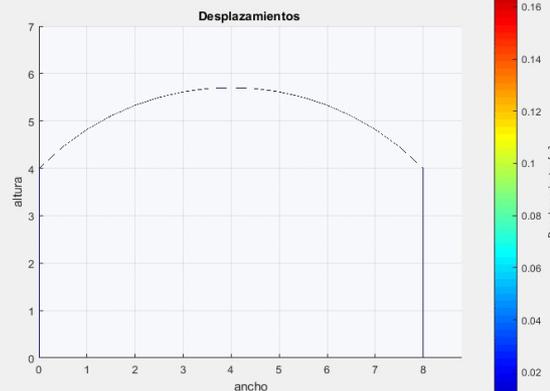
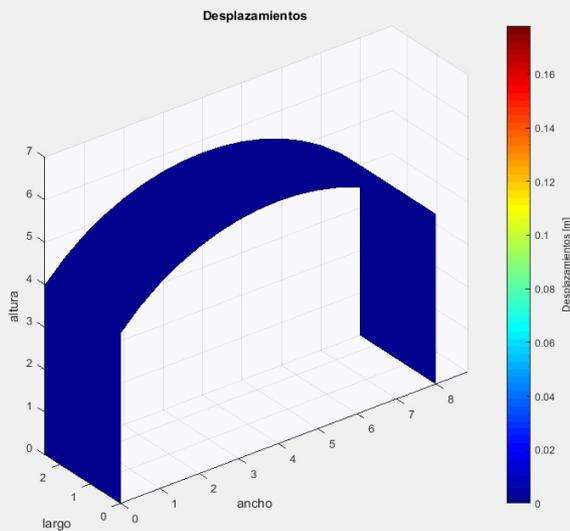
Post-Proceso

Visualización de resultados

Análisis de resultados







$$P_e = CK_A K_L q_z$$

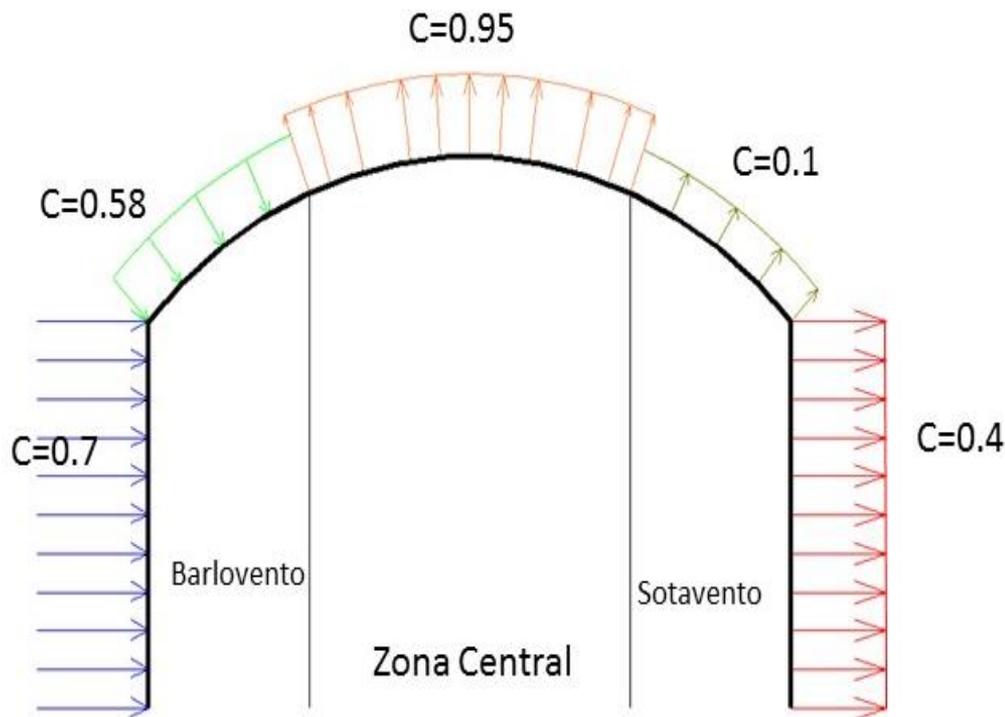
P_e ; es la presión exterior, en Pa.

C ; el coeficiente de presión exterior.

K_A ; el factor de reducción de presión por tamaño de área.

K_L ; el factor de presión local.

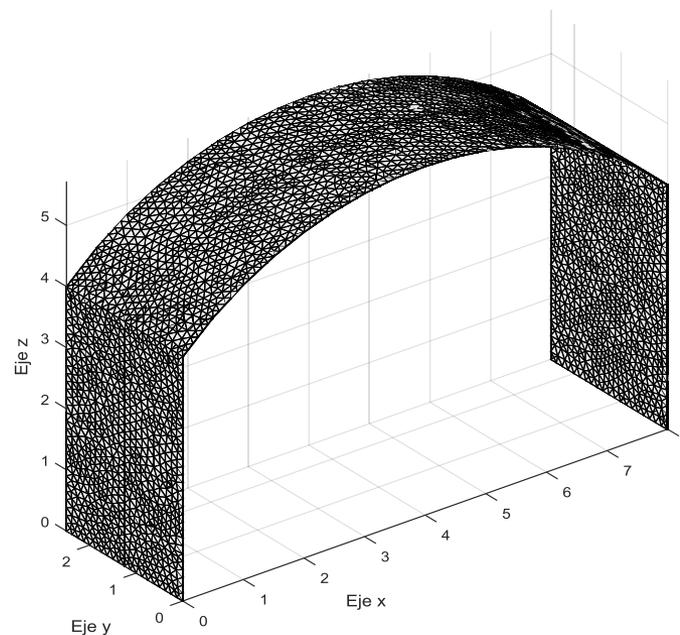
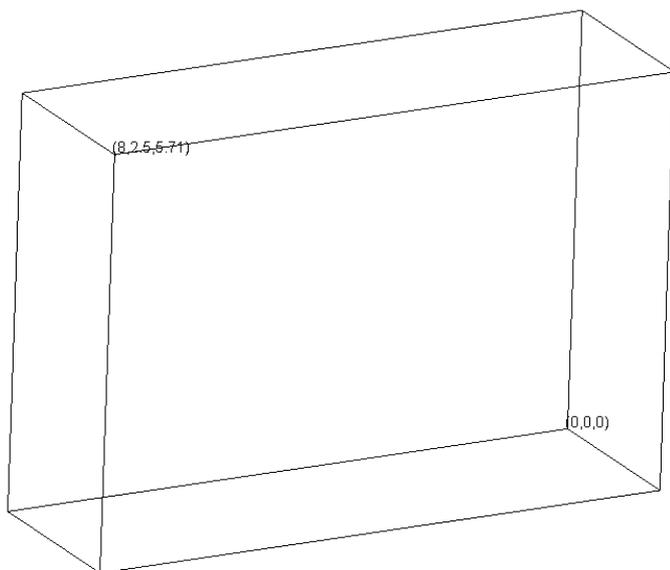
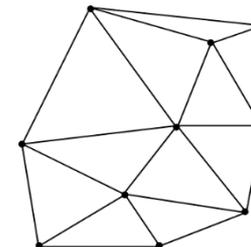
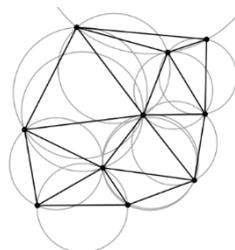
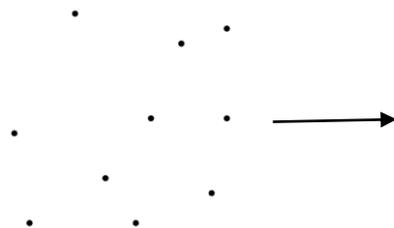
q_z ; la presión dinámica del viento.



Valores de la carga en la cubierta

Pared lateral	P_e [Pa]
Barlovento	251.02
Sotavento	143.440
Arco superior	
Barlovento	207.988
Central	340.670
Sotavento	35.860

Mallado



Entradas: coordenadas de los nodos, matriz de conectividad de elementos, propiedades del material (E, ν), solución previa (u)

for $i=1 \rightarrow$ número de elementos

Obtener las coordenadas de tetraedro (i)

Obtener los desplazamientos de los nodos del tetraedro (i)

Calcular el jacobiano de la transformación (J) y su determinante

Calcular las matrices B_L y $B_{NL}(u)$

Calcular $D(u)$

Calcular la matriz de rigidez del elemento k_e

for $j=1 \rightarrow$ numero de elementos de k_e

Calcular la ubicación (h) del elemento (j) de k_e en la matriz de rigidez global K_{glob} de acuerdo a la conectividad

$K_{glob}(h) = K_{glob}(h) + k_e(j)$

$j=j+1$

end for

$i=i+1$

end for

Salida: matriz de rigidez global (K_{glob})

Entradas: coordenadas de los nodos, matriz de conectividad de elementos, tracción (T_x, T_y, T_z), superficie en donde se aplica la tracción

Encontrar los tetraedros correspondientes a la superficie de tracción

Encontrar las caras (triángulos) de dichos tetraedros que están en la superficie de tracción

for $i=1 \rightarrow$ número de caras (triángulos) en la superficie de tracción

Obtener las coordenadas del triángulo (i)

Calcular el área A_e del triángulo (i)

for $j=1 \rightarrow 3$ (nodos en el triángulo)

Calcular la ubicación (h) de las tracciones (T_x, T_y, T_z), del nodo (j) del triángulo (i) en el vector de cargas global F_{glob} de acuerdo a la conectividad

$T_{glob}(h) = T_{glob}(h) + \frac{A_e(i)}{3} [T_x, T_y, T_z]$

$j=j+1$

end for

$i=i+1$

end for

Salida: vector de cargas global (F_{glob})

Entradas: coordenadas de los nodos, conectividad de los elementos, propiedades del material, vector de cargas global, matriz de rigidez global lineal, solución lineal, número de iteraciones máxima, tolerancia.

Leer coordenadas.txt

Leer conectividad.txt

Invertir matriz rigidez lineal $\text{inv}(K_{\text{lin}})$

Definir $u = u_{\text{Lin}}$

Error=100%

$i=1$

While error>tolerancia & i <iteraciones maxima

Llamar ensamble matriz tangente no lineal

Aplicar condiciones de frontera a matriz tangente no lineal

Calcular $F_r = (K_{\text{Tnolin}})^{-1} * u$

Calcular el residuo $R = F - F_r$

$u_0 = u$

Encontrar el incremento

$\Delta u = \text{inv}(K_{\text{lin}}) * R$

Calcular la nueva solución

$u = u_0 + \Delta u$

Calcular $\text{error} = \frac{|\text{norma } u_0 - \text{norma } u|}{\text{norma } u_0}$

$i=i+1$

end while

if $i >$ iteraciones máxima

“No converge”

else $i \leq$ iteraciones máxima

“Converge, solución = u ”

end if

Salida: vector de solución no lineal u

Entradas: coordenadas de los nodos, conectividad de los elementos, propiedades del material, solución anterior, solución actual, esfuerzo equivalente lineal (σ_{Lin}), deformación lineal equivalente (ϵ_{Lin})

Leer coordenadas.txt

Leer conectividad.txt

$a_0 =$ Solución anterior

$\sigma_0 = \sigma_{\text{Lin}}$

$\epsilon_0 = \epsilon_{\text{Lin}}$

For $j=1 \rightarrow$ número de iteraciones solución

For $i \rightarrow$ número de elementos

Encontrar las coordenadas del elemento (i)

Encontrar las soluciones, anteriores y actuales para el elemento (i)

Calcular las matrices B_{Lin} , $B_{\text{NL}}(u_0)$ y $D(u_0)$

Calcular $\sigma_{\text{eNL}} = D_e(u_0)(B_L + B_{\text{NL}}(u_0))u_e$

Calcular los invariantes de σ_{eNL}

$\Delta \sigma_{\text{eNL}} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$

Calcular $\epsilon_{\text{eNL}} = D_{\text{eNL}}^{-1} \sigma_{\text{eNL}}$ y guardar en $\Delta \epsilon_{\text{eNL}}$

Calcular los invariantes de ϵ_{eNL}

Calcular la deformación equivalente no lineal del elemento (i) y guardar en $\Delta \sigma_{\text{eNL}}$

$i=i+1$

end for

Calcular $\sigma_0 = \sigma_0 + \Delta \sigma$

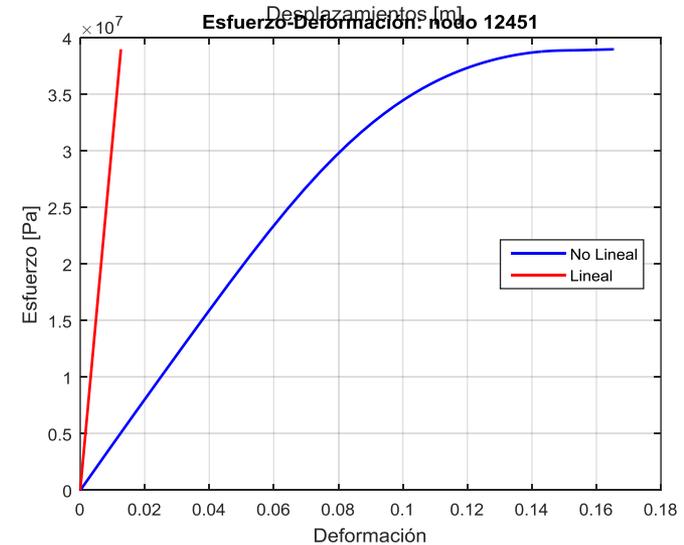
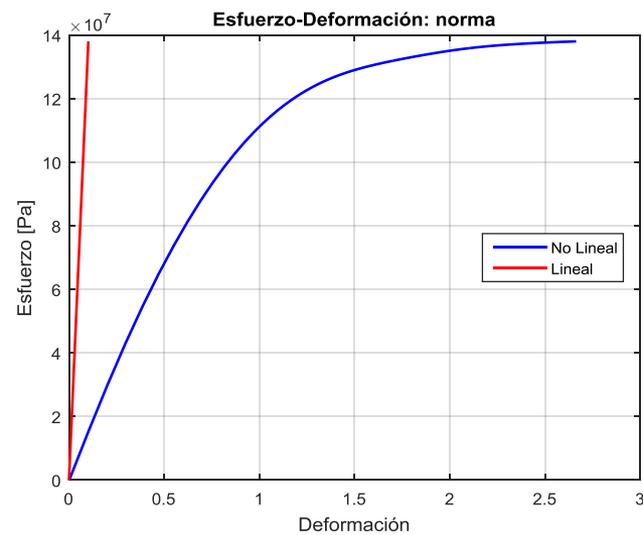
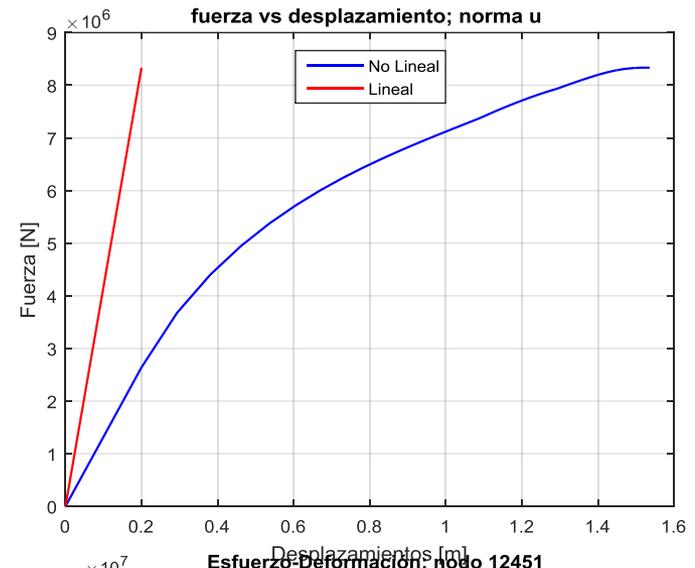
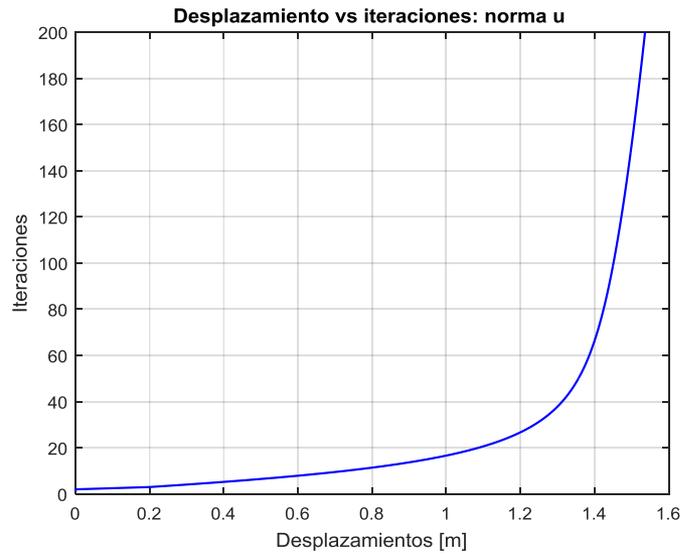
Calcular $\epsilon_0 = \epsilon_0 + \Delta \epsilon$

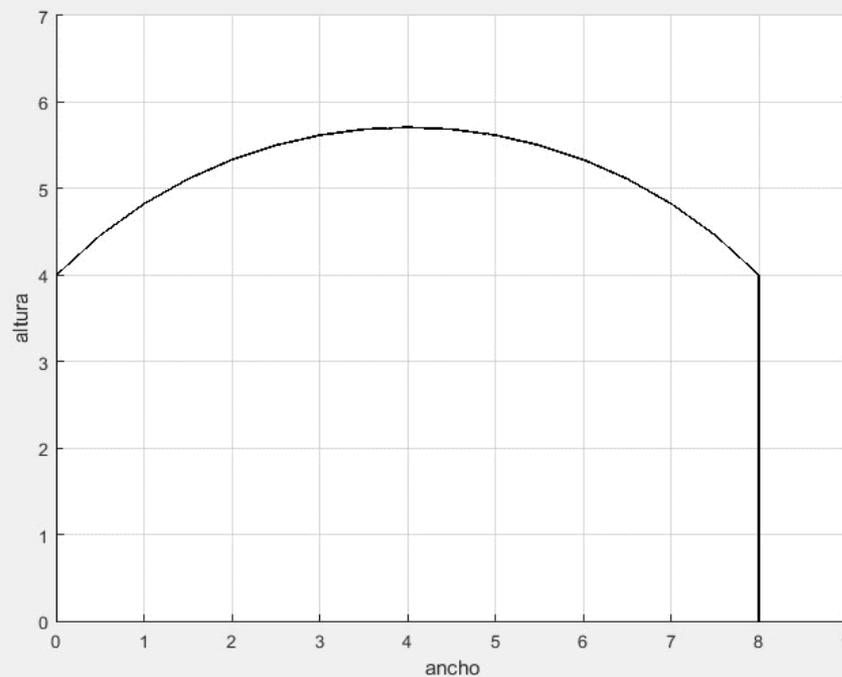
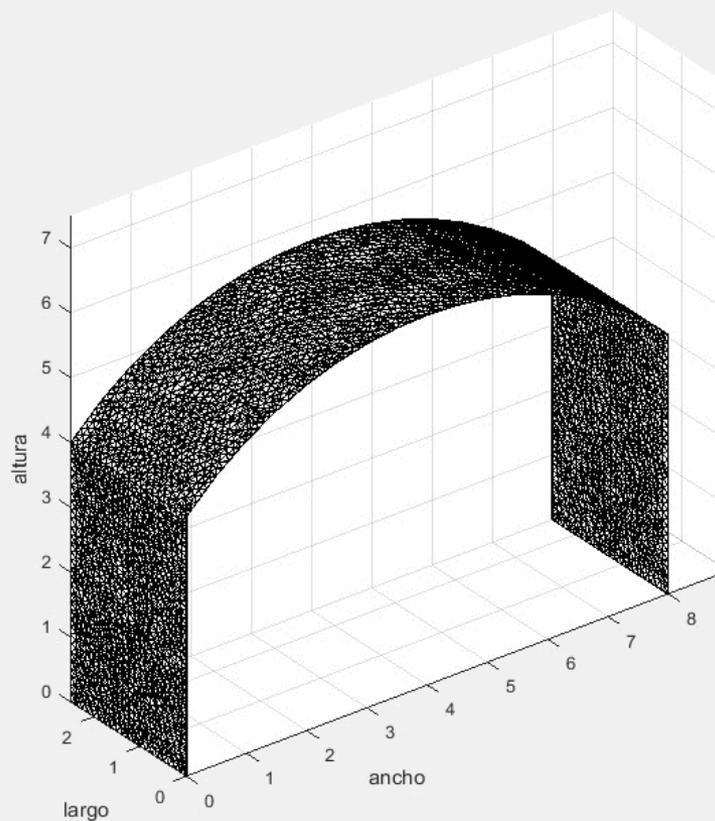
$j=j+1$

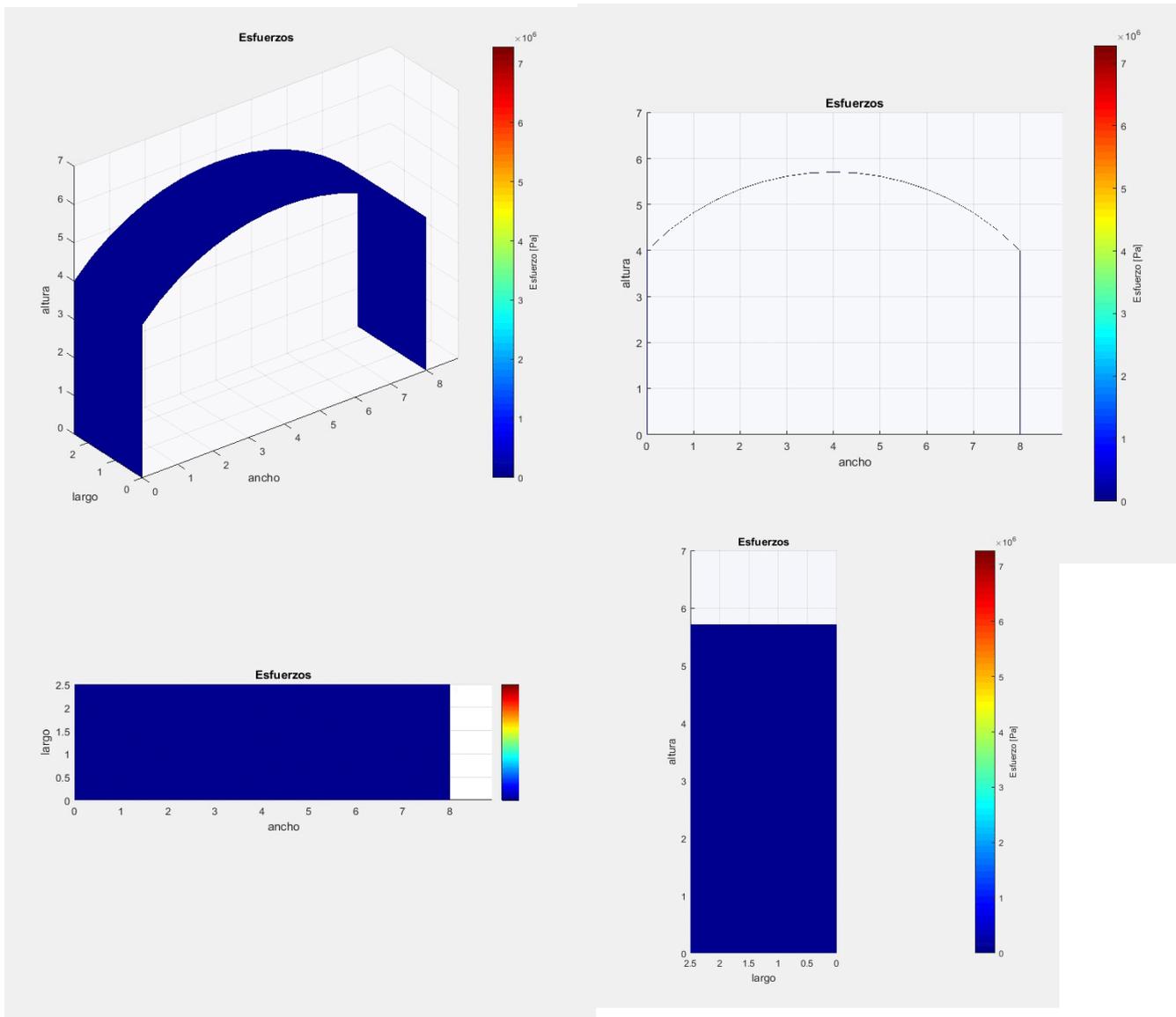
end for

end

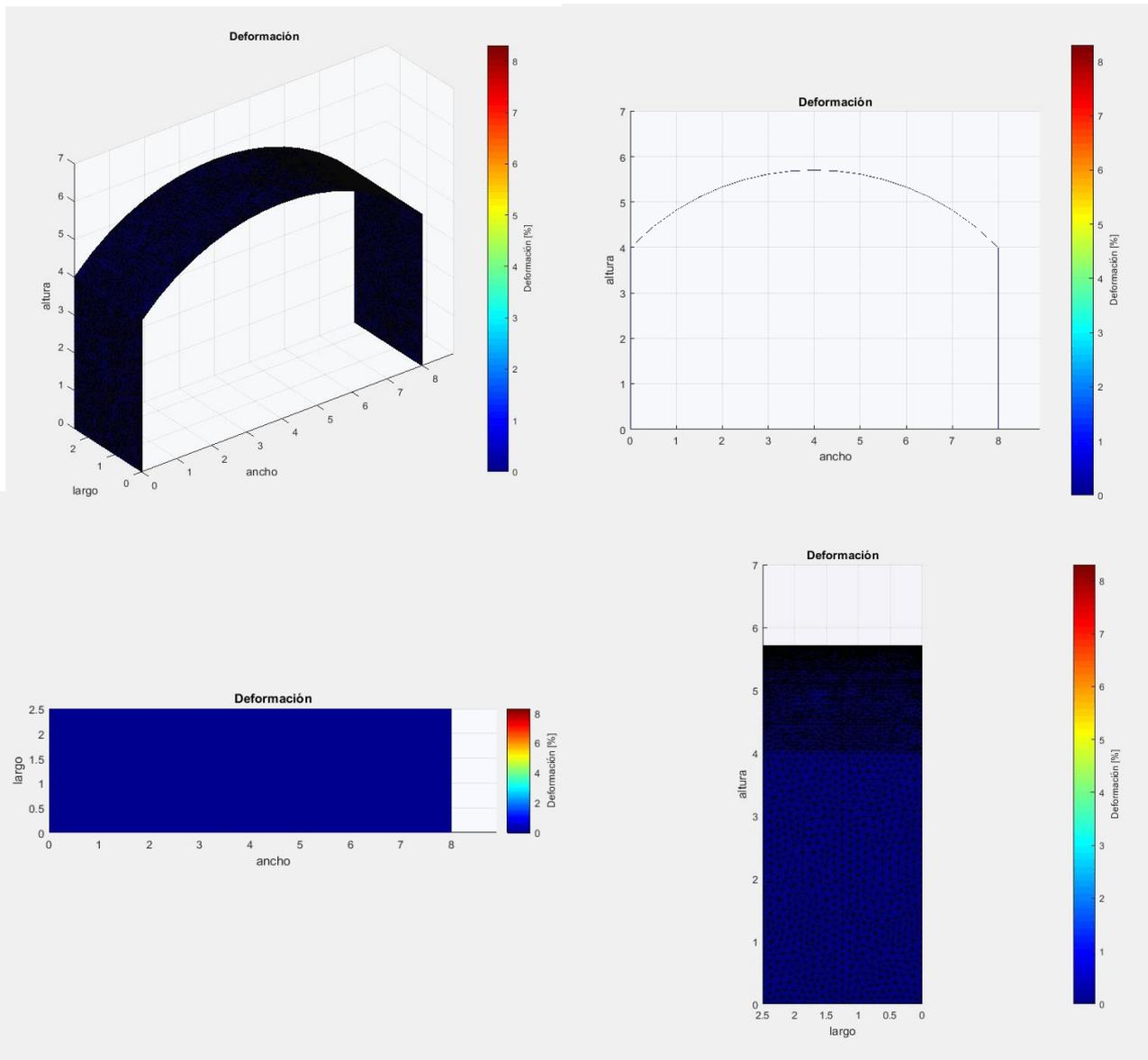
Salida: esfuerzo y deformación no lineal







Deformación



Se encontró que los desplazamientos máximos se localizan en las partes de la geometría que se encuentran mas alejados del los empotramientos, por el contrario de los valores máximos de esfuerzos y deformaciones que se encuentran precisamente en dichos empotramientos.

Analizando los valores máximos obtenidos podemos decir que para las cargas calculadas, el material supera el esfuerzo de fluencia en algunas zonas, por lo tanto las deformaciones correspondientes son irreversibles, con lo cual el la geometría se ve deformada de forma permanente, este situación nos indica que nuestra simulación está limitada y que si se quiere tener una perspectiva completa del comportamiento mecánico, se tiene que hacer también un análisis plástico conjuntamente con el elástico.

Se recomienda realizar códigos numéricos en lenguajes donde se pueda tener un uso mas eficiente de la memoria ya que el costo computacional es muy costoso en este aspecto, así como tratar de que las subrutinas sean lo más eficientes para evitar ciclos largos de computación.

Gracias

Datos de Contacto de Conferencista

Institución

Correo electrónico



www.comeii.com/comeii2017

  @CongresoCOMEII

 info@comeii.com