



## III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017

Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017

### SIMULACIÓN DE LA CUBIERTA PLÁSTICA DE INVERNADERO USANDO ELEMENTOS FINITOS

**José Carlos Castillo Méndez<sup>1\*</sup>; Abraham Rojano Aguilar<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5. Chapingo, Estado de México, México. 56230

[Calos.casmen7@gmail.com](mailto:Calos.casmen7@gmail.com) - 595 113 1014 (\*Autor de correspondencia)

#### Resumen

Uno de los grandes problemas que enfrentan los plásticos flexibles al ser utilizados como cubierta de invernaderos es su corta vida útil. Para entender su mecanismo de falla es necesario tener conocimiento de su comportamiento mecánico en condiciones de trabajo. Tal comportamiento es muy complejo ya que el plástico ofrece un comportamiento visco-elástico a las cargas. Además, la cubierta se encuentra expuesta a factores climáticos externos que degradan de manera progresiva sus propiedades y está sujeta a cargas cíclicas de viento que finalmente hacen que la cubierta se rompa. En el presente trabajo se realizó una simulación de esfuerzos y deformaciones que experimenta la cubierta, utilizando el método numérico del elemento finito para dichas simulaciones apoyado en el paquete tecnológico MATLAB. Finalmente se encontró que los desplazamientos máximos se localizan en las partes de la geometría que se encuentran más alejados de las sujeciones, por el contrario de los valores máximos de esfuerzos y deformaciones que se encuentran precisamente en dichos empotramientos.

**Palabras clave adicionales:** invernadero, cubierta, elemento finito.



## Introducción

Actualmente existe una dura competencia en los mercados internacionales que han empujado desde ya varias décadas a una modernización en el sector agrícola, en este contexto surgió el invernadero, pieza fundamental de la agricultura protegida. Siendo este una construcción agrícola que permite crear un entorno óptimo para el desarrollo de la planta. Su importancia radica en su capacidad de producción en zonas donde las condiciones climáticas externas o épocas del año no son favorables para los cultivos (Von Elsner *et al.*, 2000).

De las partes que integran al invernadero, la cubierta es esencial, ya que es esta la que permite crear el microclima en el interior y por ende los resultados obtenidos en los cultivos dependerán de ella, existen diferentes tipos de cubiertas que se usan en invernaderos Castilla & Prados (2007) y Serrano (2002) dan una información detallada al respecto, de ellas la que actualmente tiene más uso es el polietileno de baja densidad (Tidjani, 2000). Los filmes de polietileno de baja densidad se han usado de manera muy amplia como materiales de cubierta ya que poseen varias características que lo hacen adecuado para este fin, entre las más importantes están la buena transmisión de luz al ser transparente, buena adaptabilidad mecánica al ser flexible y su bajo costo (Dilara & Briassoulis, 2000).

Uno de los grandes problemas que enfrentan estos plásticos flexibles al ser utilizados como cubierta de invernaderos es su corta vida útil, esto trae como consecuencia que se incrementen abruptamente los costos de producción y que miles de toneladas de residuos de este material sean generados al año, tales residuos generalmente son dejados en el campo o quemado de forma deliberada, lo cual tienen una gran repercusión en aspectos ambientales (Briassoulis, 2004) , bajo este panorama surge la necesidad de entender el porqué de la corta vida útil del plástico, tal problema es complejo y esencialmente requiere de entender el comportamiento mecánico del plástico en diversas situaciones de trabajo.

## Materiales y métodos

### Materiales

- Se utilizó una 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.

## Metodología

El proceder del método del elemento finito que se utilizó se puede resumir como lo muestra el siguiente diagrama.

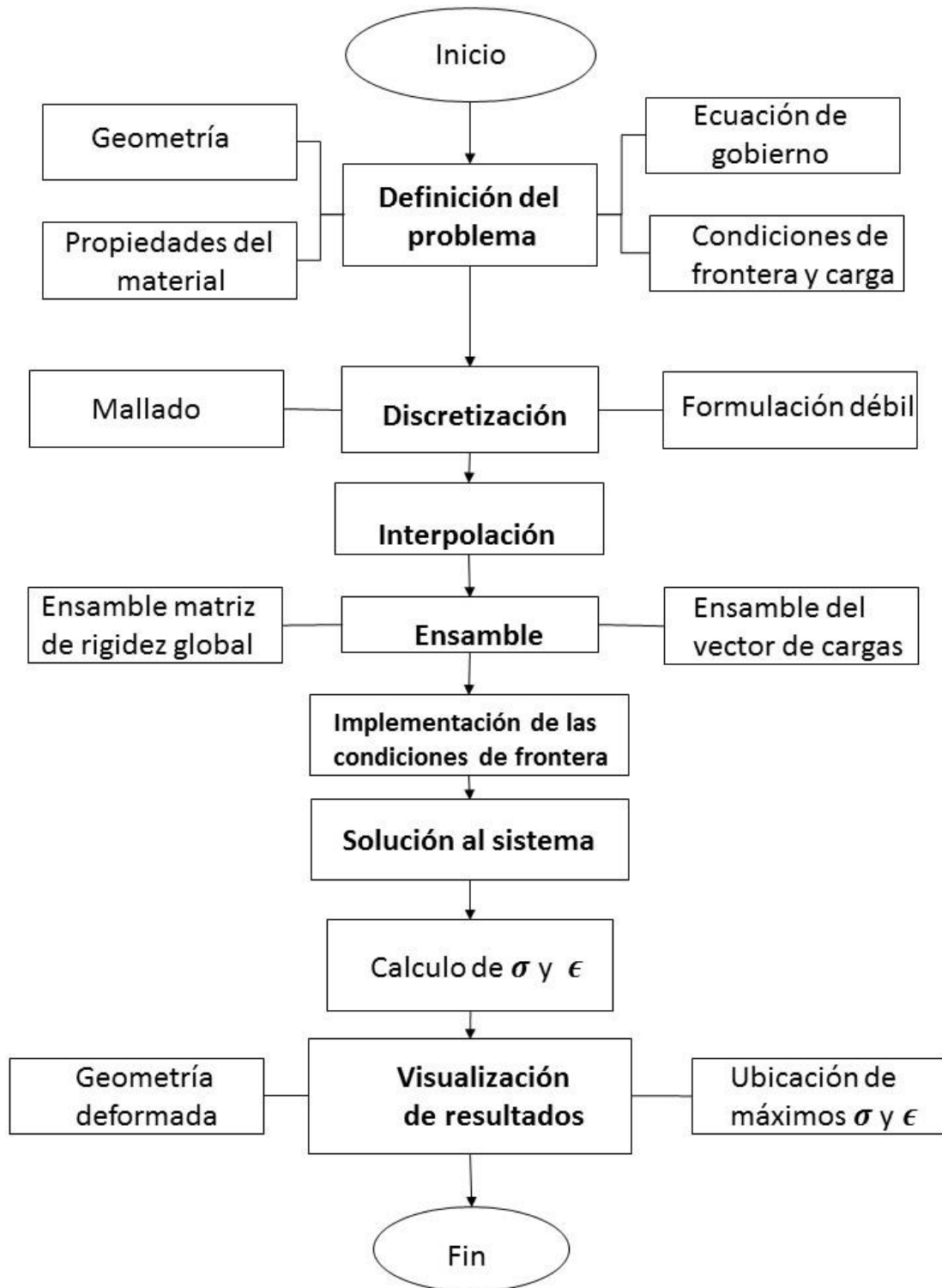
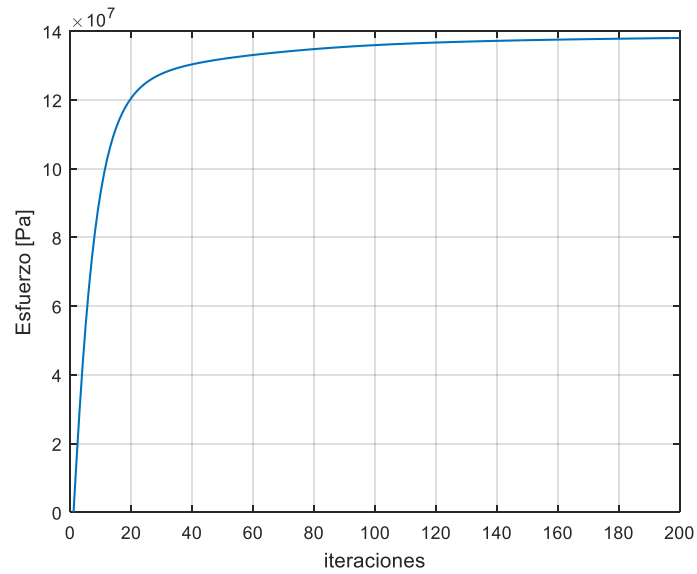


Figura 1. Algoritmo FEM.

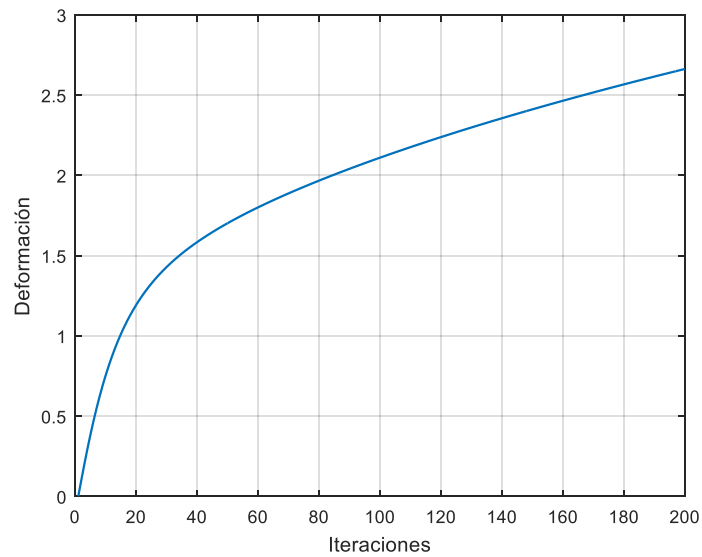
## Análisis y discusión de resultados

### Resultados

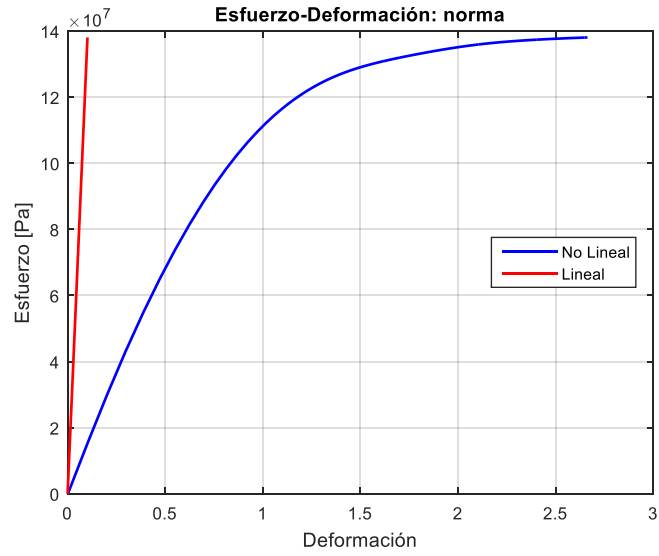
Después de realizar la simulación a través del método del elemento finito se muestran los siguientes resultados:



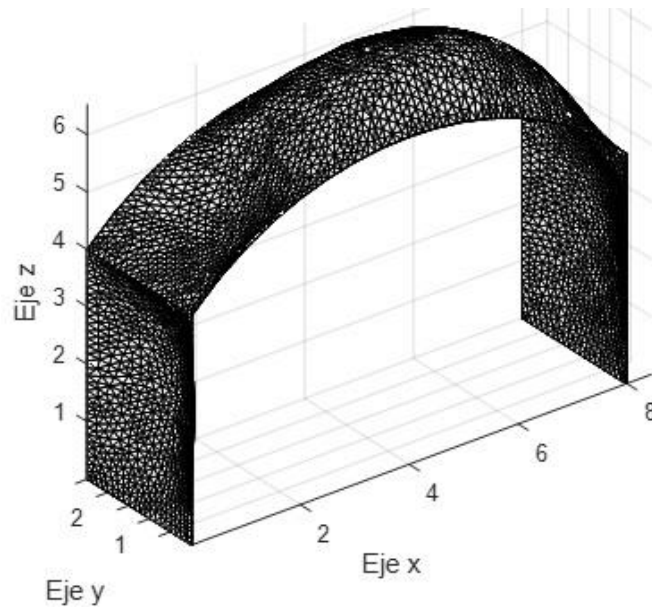
**Figura 2.** Variación del esfuerzo durante las iteraciones.



**Figura 3.** Variación de la deformación durante las iteraciones.



**Figura 4.** Grafica de la norma de esfuerzo y deformación



**Figura 5.** Malla de la geometría deformada vista isométrica.

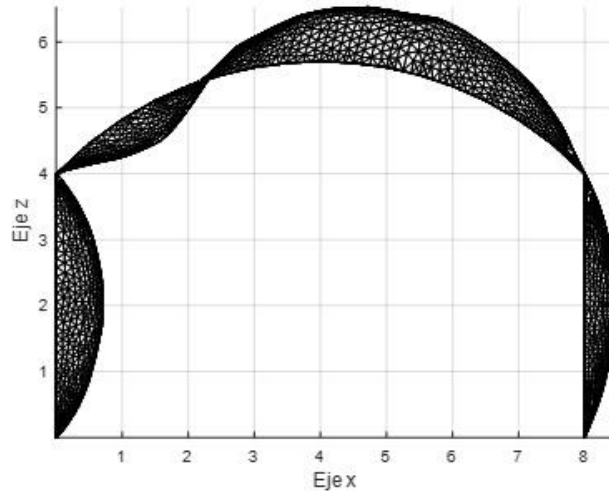


Figura 6. Malla de la geometría deformada vista frontal.

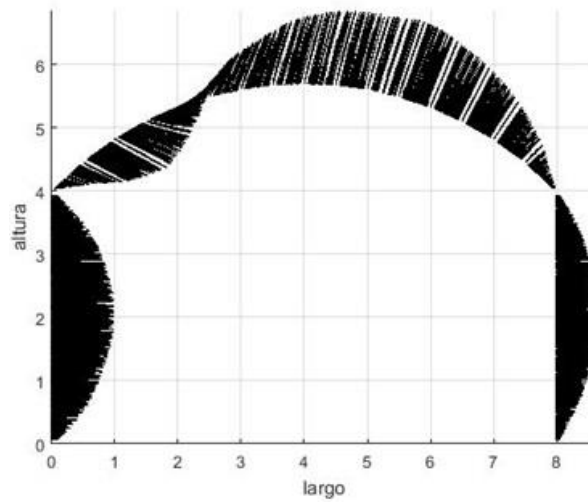


Figura 7. Vectores de deformación, vista frontal.

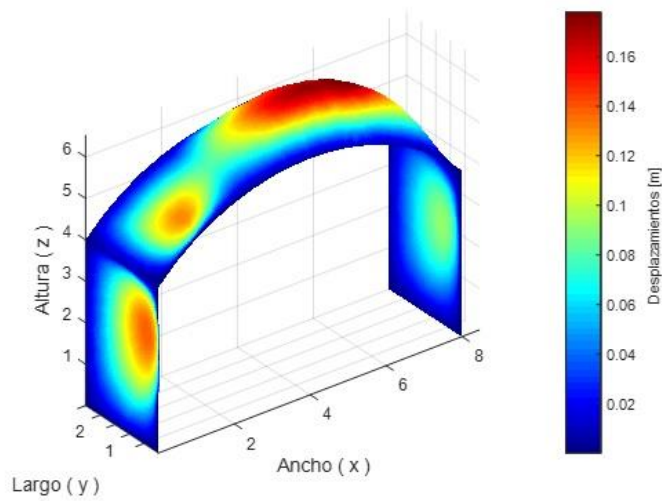
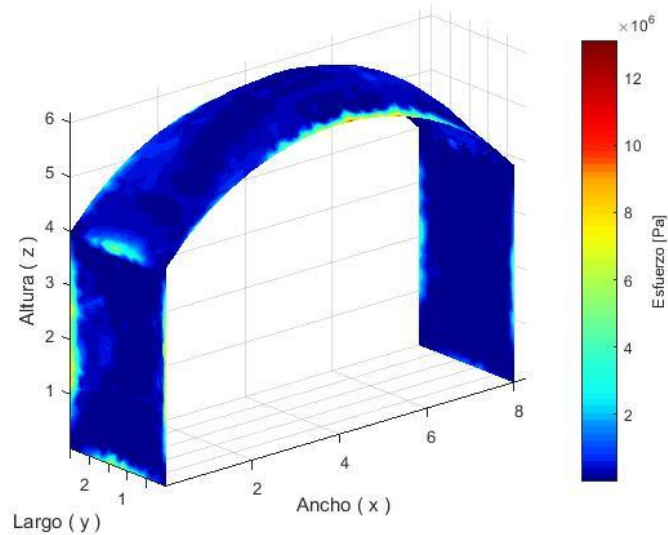
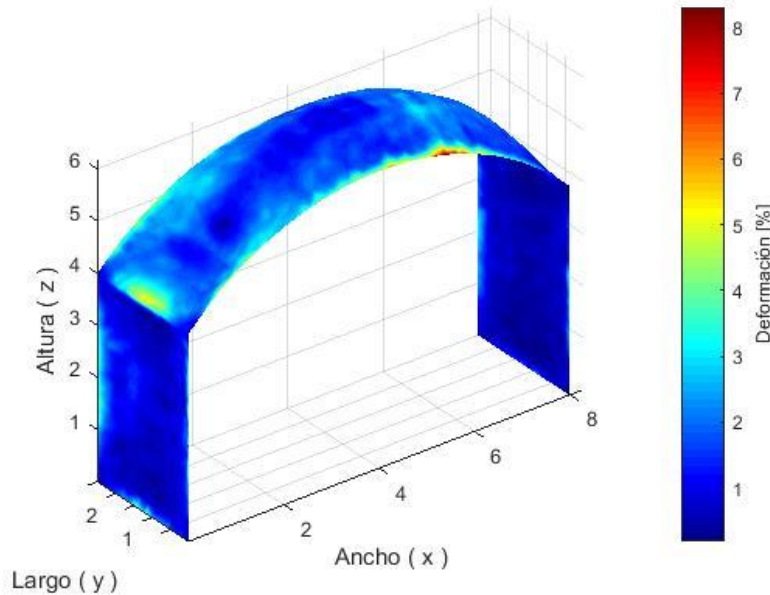


Figura 8. Desplazamientos en el cuerpo, vista isométrica.



**Figura 9.** Esfuerzos en el cuerpo vista isométrica.



**Figura 10.** Deformación en el cuerpo vista isométrica.

## Discusión

Las figuras 2 y 3 muestran el comportamiento del esfuerzo y de la deformación a lo largo de las iteraciones, se puede notar el comportamiento no lineal.

La figura 4 muestra un resultado que presenta el comportamiento del esfuerzo-deformación no lineal obtenido de los desplazamientos, se puede notar que es una curva típica para la no linealidad material hiperelástico, se sobrepone el resultado lineal a manera de comparación para notar que en efecto las deformaciones sufridas no pueden considerarse pequeñas.



Las figuras 5 y 6 muestran la malla de la geometría aplicando los desplazamientos obtenido, en la cual se puede ver como el cuerpo cambia de forma, esto tiene especial importancia ya que es una forma de comprobar que el resultado tenga un sentido físico, ya que como se mencionó en un principio, el problema no lineal no posee una sola solución.

Las figuras 7, muestran los vectores de desplazamientos en cada nodo, es una forma también de corroborar que el resultado tiene un sentido físico correcto.

La figura 8 muestran el valor el desplazamiento interpolado en toda la geometría, se puede ver los lugares de máximos desplazamientos así como los lugares donde este es cero, se presentas diferentes vistas para que su visualización sea completa, a la par la geometría muestra deformación la cual tiene concordancia con los colores presentados, la parte del barlovento y del arco superior son las zonas donde se presentan los valores máximos de desplazamiento, esto es obvio al tratarse, el primero, de la zona donde el viento impacta y la parte del arco donde hay mayor área de contacto.

La figura 9 muestran el valor del esfuerzo interpolado en la geometría, nos podemos dar cuenta que los mayores esfuerzos se localizan en los bordes donde se restringe el desplazamiento, esto es algo que al no haber desplazamiento se genera un concentrador de esfuerzo y se ve reflejado tanto en la zona del barlovento y del arco superior donde se registraron los desplazamientos mayores.

La figuras10 muestra el valor de la deformación interpolada en la geometría, al observar las diferentes vistas se nota que las zonas de mayor deformación coinciden relativamente con las zonas de máximo esfuerzo, ya que el esfuerzo está relacionado directamente con la deformación.

## **Conclusiones**

A través del método del elemento finito se puede realizar una simulación del comportamiento mecánico de la cubierta plástica de un invernadero con geometría túnel.

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

Para las cargas calculadas, el material supera el esfuerzo de fluencia en algunas zonas, por lo tanto las deformaciones correspondientes son irreversibles, la geometría se ve deformada de forma permanente, este situación indica que la 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.





## Referencias Bibliográficas

- Castilla, N., & Prados, N. C. (2007). *Invernaderos de plástico: tecnología y manejo*: Mundi-Prensa Libros.
- Briassoulis, D. (2004). Mechanical Design Requirements for Low Tunnel Biodegradable and Conventional Films. *Biosystems Engineering*, 87(2), 209-223. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.10.013>
- Dilara, P. A., & Briassoulis, D. (2000). Degradation and Stabilization of Low-density Polyethylene Films used as Greenhouse Covering Materials. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(4), 309-321. doi: <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.1999.0513>
- Tidjani, A. (2000). Comparison of formation of oxidation products during photo-oxidation of linear low density polyethylene under different natural and accelerated weathering conditions. *Polymer Degradation and Stability*, 68(3), 465-469. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910\(00\)00039-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910(00)00039-2)
- on Elsner, B., Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Mistriotis, A., von Zabeltitz, C., Gratraud, J., . . . Suay-Cortes, R. (2000). Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 75(1), 1-16. doi: <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.1999.0502>