

# Análisis de la estructura metálica de un invernadero destinado a la agricultura vertical automatizada



<https://cu-id.com/2177/v32n4e11>

## Analysis of the Metal Structure of a Greenhouse Intended for Automated Vertical Agriculture

<sup>✉</sup>María Victoria Gómez-Águila<sup>1\*</sup>, <sup>✉</sup>Luis Tonatiuh Castellanos-Serrano<sup>1</sup>,  
<sup>✉</sup>José Alfredo Castellanos-Suárez<sup>1</sup>, <sup>✉</sup>Marcelino Aurelio Pérez-Vivar<sup>1</sup>, <sup>✉</sup>Arturo Martínez Rodríguez<sup>II</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura, Texcoco. Estado de México, México.

<sup>II</sup>Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

**RESUMEN:** En el presente trabajo se realiza el análisis de la estructura metálica que conforma un invernadero destinado a la producción de hortalizas, empleando tecnología de agricultura vertical y que será instalado en la Comunidad San Juan Raboso, perteneciente al Municipio Izúcar de Matamoros, Estado de Puebla, México, en respuesta a las necesidades de alimentación de la comunidad y como parte del proyecto estratégico que desarrolla el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura (CIISCINASyC). El análisis de la estructura metálica que conforma el invernadero se realizó aplicando el Método de los Elementos Finitos. El objetivo del trabajo consistió en evaluar la capacidad de resistencia y funcionalidad del invernadero mediante la determinación del sistema de cargas que actúa sobre el invernadero, así como de la distribución de tensiones y desplazamientos en la estructura.

**Palabras clave:** casa-alimentos-análisis-seguridad.

**ABSTRACT:** The analysis of the metal structure of a greenhouse intended for the production of vegetables, using vertical agriculture technology, is carried out in the present work. The greenhouse will be installed in "San Juan Raboso" Community, belonging to Izúcar de Matamoros Municipality, State of Puebla, Mexico, in response to the community need of food and as part of the strategic project developed by the Center for Interdisciplinary Research and Service in Science, Nature, Society and Culture (CIISCINASyC). The analysis of the metal structure of the greenhouse was carried out applying the Finite Element Method. The objective of the work was to evaluate the resistance capacity and functionality of the greenhouse, by determining the load system that acts on the greenhouse, as well as the distribution of stresses and displacements in the structure.

**Keywords:** Home-Food-Analysis-Safety.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 30 años en México, la política económica hegemónica a nivel mundial y su implementación, agudizó el problema de la soberanía y la seguridad alimentaria, acentuados por la recesión económica que ha ocasionado la pandemia de

Covid19. Una alternativa de solución a esta problemática, se apoya en la producción de vegetales y hortalizas para el autoabastecimiento familiar urbano-periurbano, empleando módulos de agricultura vertical automatizados, los cuales son objeto de aplicación en la comunidad San Juan Raboso, Municipio Izúcar de Matamoros, Puebla.

\*Author for correspondence: María Victoria Gómez-Águila, e-mail: [mvaguila@hotmail.com](mailto:mvaguila@hotmail.com), [mgomez@chapingo.mx](mailto:mgomez@chapingo.mx)

Recibido: 10/04/2023

Aceptado: 01/09/2023

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), anualmente se desperdicia aproximadamente un tercio de los alimentos producidos a nivel mundial para consumo humano (Kosai, 2013; FAO, FIDA, OPS, WFP y UNICEF, 2018; Banco Interamericano de Desarrollo, 2020). Como vía para reducir las consecuencias de los desperdicios de recursos, se creó una nueva forma de cultivo agrícola, consistente en módulos verticales automatizados, que son colocados dentro de invernaderos y que deben ser diseñados garantizando su funcionalidad. Estos módulos requieren de lámparas eléctricas o de diodo (LED), acondicionadores de aire, ventiladores, unidades de suministro de CO<sub>2</sub> y nutrientes (Kosai, 2013), siendo necesario garantizar la integridad física, tanto de estos componentes, como de la estructura y cubierta del propio invernadero, considerando la diversidad de las cargas a que estará sometida, compuesta por el peso propio de la estructura y sus componentes, el posible azote de vientos de alta intensidad y el peso del cultivo, entre otras.

Es en este sentido que se plantea como objetivo de este trabajo, efectuar un análisis de esfuerzos y deformaciones que se producen sobre este tipo de estructura, con vistas a evaluar su resistencia al sistema de carga Paas al que puede estar sometido.

Para el análisis se emplea el Método de los Elementos Finitos (MEF), de amplia aplicación en el análisis estructural (Agudelo-Manrique *et al.*, 2015; Toledo-Freire, 2015; Besa-González y Chuliá, 2016; CFE-México, 2017; González *et al.*, 2017; Faires, 2018; Ortiz-Domínguez *et al.*, 2018; Vanegas-Useche, 2018).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de trabajo para el análisis de la estructura, consta de tres pasos fundamentales: elaboración del modelo tridimensional digitalizado de la estructura, determinación de las cargas y aplicación del Método de Elementos Finitos a partir de la aplicación de las cargas sobre el modelo digitalizado.

Las cargas a aplicar se componen de:

- Las cargas asociadas al peso propio de la estructura metálica de la casa de cultivo.
- Las cargas producidas por las cubiertas plásticas y los elementos de protección antiáfidos.
- Las cargas producidas por las condiciones meteorológicas (vientos, granizos).
- Las cargas asociadas al peso propio del cultivo, objeto de producción en el invernadero.

### Peso de la estructura metálica (P<sub>EM</sub>)

El cálculo del peso del objeto de estudio, se determina como:

$$P_{EM} = M_{EM} \cdot g, N \quad (1)$$

donde:

*g*: aceleración de la gravedad (*g*): 9.81 m/s<sup>2</sup>

*M<sub>EM</sub>*: masa de la estructura metálica, la cual está dada por

$$M_{EM} = \gamma_{Ac} \cdot V_{EM}, kg \quad (2)$$

siendo:

*V<sub>EM</sub>*: volumen de la estructura metálica, m<sup>3</sup>

*γ<sub>Ac</sub>*: densidad del acero, *γ<sub>Ac</sub>*, kg/ m<sup>3</sup>

El volumen de la estructura es obtenido automáticamente del software utilizado en su digitalización (SolidWorks), mientras que el valor de la densidad es tomado de la biblioteca de materiales del propio software.

### Peso de cubiertas y mallas (F<sub>CM</sub>)

El peso de la cubierta y mallas contempla: el peso del plástico que cubre la ventana cenital (P<sub>PVC</sub>), el peso del plástico del arco superior a la izquierda (P<sub>ASIZQ</sub>), el peso del plástico del arco menor a la derecha (P<sub>AMDER</sub>), el peso del plástico de las cortinas laterales (P<sub>PCL</sub>), el peso del plástico que cubre la parte frontal (P<sub>PEP</sub>) y el peso de la malla antiáfidos (P<sub>MAA</sub>).

Para la determinación del peso de las cubiertas de plástico se utilizan las especificaciones técnicas (Tabla 1) establecidas por la Comunidad Izúcar de Matamoros.

**TABLA 1.** Especificaciones técnicas

Tipo	Descripción
Plástico	blanco lechoso
Calibre	720
Densidad	$\gamma_p = 0.19 \text{ kg/m}^2$
Porcentaje de sombra	30 %
Protección	UV

El **peso del plástico que cubre la ventana cenital** (P<sub>PVC</sub>) se determina según la expresión:

$$P_{PVC} = M_{(T)} \cdot g, N \quad (3)$$

Siendo:

$$M_{(T)} = \gamma \cdot A, kg \quad (4)$$

donde:

*M<sub>(T)</sub>*: masa del plástico de la ventana cenital, kg.

*A*: área de la sección transversal de la ventana cenital, m<sup>2</sup>.

*γ<sub>π</sub>*: densidad por unidad de área del plástico, kg/m<sup>2</sup>.

*g*: aceleración de la gravedad; *g* = 9.81 m/s<sup>2</sup>.

El área de la ventana cenital se determina mediante la expresión:

$$A = L \cdot B, m^2 \quad (5)$$

donde:

L: longitud de la ventana cenital; L = 50 m,

B: ancho de la ventana cenital; B = 1.43 m

El **peso del plástico del arco superior a la derecha** ( $P_{ASder}$ ) se determina según las expresiones:

$$P_{ASder} = M_{(T)} \cdot g, N \quad (6)$$

$$M_{(T)} = \gamma \cdot A_{ASder}, kg \quad (7)$$

donde:

$A_{AS Izq}$  : área del arco superior a la derecha, dada por:

$$A_{ASder} = L_{ASder} \cdot L_{inv}, m^2 \quad (8)$$

donde:

$L_{AS Izq}$ : longitud del arco superior a la derecha;  $L_{ASder} = 4.99m$   $L_{inv}$ : largo del invernadero;  $L_{inv} = 50m$

El **peso del plástico que cubre la parte frontal** ( $P_{Pcp}$ ) se determina según la [ecuación \(9\)](#) y depende de la cantidad de estructurales metálicos del invernadero. El diseño del invernadero lo componen 6 columnas y 10 postes de carga.

$$P_{Pcp} = \frac{P_{Pcf} + P_{PDA}}{16}, N \quad (9)$$

donde:

$P_{Pcf}$ : peso del plástico de la cortina frontal, N

$P_{PDA}$ : peso del plástico por debajo de los arcos hasta la barra de tutoreo, N.

El **peso de la malla antiáfidos** ( $P_{MAA}$ ) se determina mediante la [ecuación \(10\)](#).

$$P_{MAA} = (\gamma_{MAA})(A_{MAA})g, N \quad (10)$$

donde:

$\gamma_{MAA}$ : densidad por unidad de superficie del material de la malla antiáfidos;  $\gamma_{MAA} = 0,123 \frac{kg}{m^2}$  g: aceleración de la gravedad;  $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$   $A_{MAA}$ : área de la malla antiáfidos:

$$A_{MAA} = (L_{MAA})(h_{MAA}), m^2 \quad (11)$$

donde:

$L_{MAA}$ : largo malla antiáfidos;  $L_{MAA} = 50 m$   $h_{MAA}$ : ancho malla antiáfidos;  $h_{MAA} = 4.20m$

Las cargas aerodinámicas producidas por el viento se determinaron teniendo en cuenta las normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones: ([ASCE, 2005](#); [NIFED-México, 2011](#); [NMX-E-255-CNCP-2013, 2013](#); [INIFED-México, 2017](#)).

La carga de los efectos del viento ( $q_i$ ), sobre la sección de la estructura metálica o componente de la misma, objeto de análisis, se determina mediante la expresión general:

$$q_i = (q_{10} * C_t * C_s * C_h * C_r * C_{ra}) * C_f \quad (12)$$

donde:

$q_{10}$ : presión básica del viento, kN/m<sup>2</sup>.

$C_t$ : coeficiente de recurrencia.

$C_s$ : coeficiente de topografía o sitio.

$C_h$ : coeficiente de altura.

$C_r$ : coeficiente de ráfaga.

$C_{ra}$ : coeficiente de reducción por área expuesta.

$C_f$ : coeficiente de forma o aerodinámico.

La presión básica del viento, se determina por:

$$q_{10} = \frac{V_{10}^2}{1.6 * 10^3} \quad (13)$$

donde:

$V_{10}$ : velocidad regional, que se define como la velocidad máxima del viento que se presenta a una altura de 10 m sobre el lugar de desplante de la estructura, para condiciones de terreno plano con obstáculos aislados (m/s).

Las cargas  $q_i$  (kN/m<sup>2</sup>), se determinan en las diferentes secciones del invernadero, tales como: la estructura lateral a la izquierda ( $q_{3izq}$ ); la estructura lateral a la derecha ( $q_{3der}$ ); la porción de la estructura izquierda del arco inferior ( $q_{1i}$ ); la porción de la estructura derecha del arco inferior ( $q_{2i}$ ) y la porción de la estructura del arco superior ( $q_{1sup}$ ).

Las fuerzas  $F_i$  (kN) resultantes en cada sección del invernadero producto de la acción aerodinámica del viento, se determinan en función de las cargas  $q_i$ , considerando las áreas correspondientes  $A_i$  (m<sup>2</sup>) de cada sección.

La fuerza  $F_{gr}$  (kN) debido a la masa del granizo en los canalones, se determina de acuerdo a la NORMA MEXICANA [NMX-E-255-CNCP-2013 \(2013\)](#), que establece como base 30 kg por metro lineal en el canalón.

Para el cálculo de la **Fuerza aplicada sobre la estructura debido al peso del cultivo  $P_c$  (kN)**, se selecciona el jitomate y se determina de acuerdo a la norma Mexicana [NMX-E-255-CNCP-2013 \(2013\)](#), según la cual, el cultivo del jitomate es considerado de carga pesada, equivalente a 35 kg/m<sup>2</sup>.

Para la modelación digitalizada en 3D de la estructura del invernadero se emplea el programa SolidWorks 2018, así como para la realización del análisis de tensiones y deformaciones mediante el método de los elementos finitos. Como material de la estructura se declara acero ASTM A-36 con densidad  $\gamma_{Ac} = 7850 kg/m^3$  y límite elástico  $\sigma_e = 250 MPa$ .

Para efectuar el análisis de resistencia y deformaciones se somete el modelo digitalizado de la estructura objeto de estudio, al sistema de cargas calculado, aplicándose el Método de los Elementos

Finitos (MEF) para la determinación de la distribución de tensiones y deformaciones. El cálculo se efectúa sobre una sección transversal del túnel de la estructura metálica, ubicada en una esquina del invernadero, considerando que esta sección está sometida a las condiciones más severas de carga.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 1 y 2 se muestran el modelo tridimensional de la estructura metálica del invernadero, así como la sección del módulo básico.

Las principales características geométricas del invernadero se brindan en la Tabla 2.

### Cargas asociadas al peso propio de la estructura metálica de la casa de cultivo

El peso de la estructura metálica ( $P_{EM}$ ) se determinó mediante la ecuación (1), obteniéndose el volumen de la sección de estructura objeto de análisis, directamente como salida del programa SolidWorks y asimismo, la densidad del material fue tomada de la biblioteca de materiales del propio software. Como resultado se obtienen los siguientes valores:

$$V_{EM} = 0.0229\text{m}^3$$

$$\gamma_{Ac} = 7850\text{kg/m}^3$$

$$P_{EM} = 1,76\text{kN}$$

### Cargas producidas por las cubiertas plásticas y los elementos de protección antiáfidos.

El resultado del cálculo de las diferentes cargas debido al peso de las cubiertas y mallas que actúan sobre la estructura del invernadero se muestra en la tabla 3.

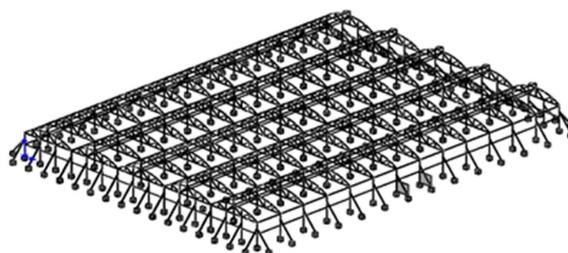


FIGURA 1. Estructura metálica del invernadero.

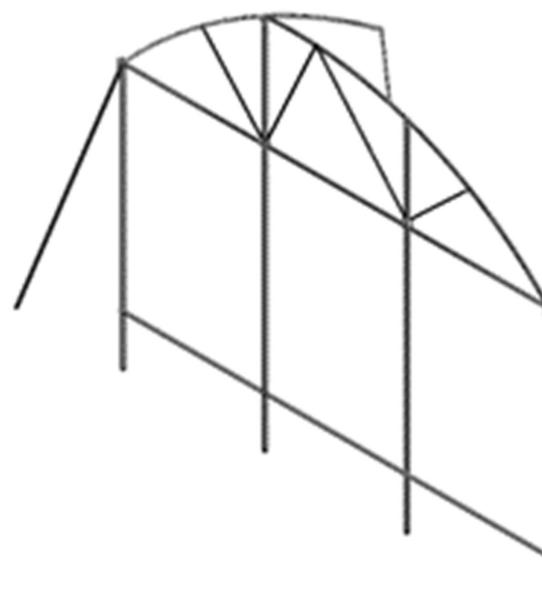


FIGURA 2. Modelo digitalizado del módulo básico de la estructura.

TABLA 2. Características geométricas del invernadero

Especificaciones	Magnitudes
Ancho del invernadero	40 m
Profundidad	50 m
Altura hasta la base del arco inferior	5 m
Altura hasta la base de la ventana cenital	8 m
Ángulo hasta la línea media del arco inferior	35°
Ángulo hasta la línea media del arco de la ventana cenital	60°

TABLA 3. Cargas que actúan sobre el invernadero producto del peso de las cubiertas y mallas

Denominación	Símbolo	Unidad	Valor	Observaciones
Peso del plástico ventana cenital	$P_{PVC}$	N	9 519,0	Expresiones 3, 4 y 5
Peso del plástico del arco menor a la derecha	$P_{AMder}$	N	37,9	Expresiones 6, 7 y 8
Peso del plástico de cortinas laterales	$P_{PCL}$	N	34,6	
Peso del plástico de la cortina frontal	$P_{Pcf}$	N	402,0	
Peso del plástico por debajo de los arcos hasta la barra de tutoreo	$P_{PDA}$	N	21,9	
Peso del plástico que cubre la parte frontal	$P_{cP}$	N	26,5	Expresión 9
Peso de la malla antiáfidos	$P_{MAA}$	N	18,1	

De la tabla se aprecia que el peso correspondiente al plástico de la ventana cenital es el de mayor significación, seguido del de la cortina frontal, mientras que el resto presentan valores mucho menores.

### Cargas producidas por las condiciones meteorológicas (vientos, granizos)

Para el cálculo de las cargas aerodinámicas, fue necesario previamente determinar los coeficientes contenidos en la [expresión \(12\)](#). En la [Tabla 4](#) se

muestra el resultado de la determinación, según las normas, de los coeficientes requeridos para la determinación de las cargas aerodinámicas

El resultado del cálculo de las cargas aerodinámicas que actúan sobre el invernadero se muestra en la [Tabla 5](#).

Para el cálculo de la carga originada por el granizo, se tiene en cuenta la Norma Mexicana [NMX-E-255-CNCP-2013 \(2013\)](#), que establece para propósitos de cálculo, tomar como base 30 kg por metro lineal en el canalón, En la [Tabla 6](#) se detallan las especificaciones tomadas en consideración y los resultados del cálculo.

**TABLA 4.** Valores de los coeficientes para la determinación de las cargas aerodinámicas

Denominación	Símbolo	Valor	Observaciones
Coeficiente de recurrencia	$C_t$	1,0	Vida útil: 10 años Recurrencia: 50 años
Coeficiente de topografía o sitio	$C_s$	1,10	Condiciones severas
Coeficiente de altura	$C_h$	1,0	Terreno abierto Altura invernadero $\leq 10$ m
Coeficiente de ráfaga.	$C_r$	1,20	Altura invernadero $\leq 10$ m
Coeficiente de reducción por área expuesta.	$C_{ra}$	0,90	Área de exposición $\leq 50$ m <sup>2</sup>
Coeficiente de forma o aerodinámico..	$C_f$		<a href="#">NMX-E-255-CNCP (2013)</a>
Coef de forma estructura lateral izquierda	$C_{\beta_{izq}}$	0,80	<a href="#">NMX-E-255-CNCP (2013)</a>
Coef de forma estructura lateral derecha	$C_{\beta_{der}}$	-0,43	<a href="#">NMX-E-255-CNCP (2013)</a>
Coef de forma porción izquierda arco inferior	$C_{\beta_1}$	-0,325	<a href="#">NMX-E-255-CNCP (2013)</a>
Coef de forma porción derecha arco inferior	$C_{\beta_2}$	-0,40	<a href="#">NMX-E-255-CNCP (2013)</a>
Coef de forma porción arco superior	$C_{\beta_{sup}}$	0,30	<a href="#">NMX-E-255-CNCP (2013)</a>

**TABLA 5.** Cargas aerodinámicas que actúan sobre el invernadero

Denominación	Símbolo	Unidad	Valor	Observaciones
Presión básica del viento	$q_{10}$	kN/m <sup>2</sup>	0,694	<a href="#">Expresión 13</a> . Se toma $V_{10}=120$ km/h (33,3 m/s)
Carga de la estructura lateral a la izquierda	$q_{\beta_{izq}}$	kN/m <sup>2</sup>	0,659	<a href="#">Expresión 13</a> ; Coeficientes de <a href="#">Tabla 3</a> .
Carga de la estructura lateral a la derecha	$q_{\beta_{der}}$	kN/m <sup>2</sup>	-0,354	“
Carga en la porción de la estructura izquierda del arco inferior	$q_1$	kN/m <sup>2</sup>	-0,267	“
Carga en la porción de la estructura derecha del arco inferior	$q_2$	kN/m <sup>2</sup>	-0,329	“
Carga en la porción de la estructura del arco superior	$q_{\beta_{sup}}$	kN/m <sup>2</sup>	0,247	“
Fuerza en la porción de la estructura del arco superior	$F_{VC}$	kN	14,498	
Fuerza del viento en el arco inferior	$F_{V1}$	kN	-2,932	
Fuerza en la porción derecha del arco inferior	$F_{V2}$	kN	-35,153	
Fuerza lateral en la columna izquierda	$F_{V2IZQ}$	kN	5,794	
Fuerza lateral en la columna derecha	$F_{V2DER}$	kN	2,382	

**TABLA 6.** Especificaciones para el cálculo de la carga originada por el granizo

Especificaciones	Magnitudes
Distancia entre columnas; $D_c$	3.57 m
Masa del granizo, entre dos columnas; $M_{GRC}$	107.1 kg
Peso del granizo en canalón distribuidos en los dos canalones; $P_{GRC}$	525.32 N
Carga unitaria del granizo en el canalón; $C_c$	30 kg/m

### Cargas asociadas al peso propio del cultivo

Para el cálculo del peso propio del cultivo, objeto de producción en el invernadero, se selecciona el jitomate, que de acuerdo a la Norma Mexicana [NMX-E-255-CNCP-2013 \(2013\)](#), es considerado de carga pesada, equivalente a 35 kg/m<sup>2</sup>. El peso del cultivo afecta a la estructura metálica del invernadero ya que está fijado a la barra de tutorado. El área disponible entre 4 columnas del túnel, es igual a 32 m<sup>2</sup>, aproximadamente por lo que la carga total del cultivo, incluyendo sus frutos, y el resto de la planta será igual a 1120 kg.

### Análisis de tensiones y deformaciones

Una vez determinado el sistema de cargas a que estará sometida la estructura del invernadero, se procede a realizar un análisis de tensiones y deformaciones con vistas a evaluar la capacidad de resistencia de la estructura ante el sistema de caras aplicado. A los efectos, se somete el modelo digitalizado de la estructura objeto de estudio a un análisis estático, mediante el Método de los Elementos Finitos, empleando el programa SolidWorks.

Una vez aplicadas las cargas, restricciones, opciones de contacto y el mallado de la estructura, se obtiene como resultado, las distribuciones de tensiones ([Fig.3](#)), coeficiente de seguridad ([Fig. 4](#)) y desplazamientos ([Fig. 4](#)) en el módulo de la estructura objeto de estudio.

En la [Figura 3](#) se observa que la tensión normal máxima asciende a 95,2 MPa, estando ubicado en la intersección entre el extremo inferior del bastón de la ventana cenital y el arco inferior del túnel, mientras que el esfuerzo normal mínimo (0,2 MPa) se registra próximo al nodo de intersección entre la barra de carga y el poste de carga a la derecha del túnel.

Asimismo se comprueba que esta tensión es inferior al límite elástico del material (250 MPa), obteniéndose un coeficiente de seguridad mínimo de 2,63, lo cual se verifica en la [Figura 4](#). Este coeficiente de seguridad a la resistencia se encuentra en el rango permisible establecido por el usuario (entre 2,5 y 3,0), corroborándose que la estructura es funcional y segura.

En cuanto a los desplazamientos, puede apreciarse ([Figura 5](#)), que el máximo desplazamiento alcanza 46,11 mm, el cual, teniendo en cuenta que la longitud del elemento donde se produce es del orden de los 8000 mm, puede considerarse poco significativo, garantizándose que no provocará afectaciones físico-estructurales en la estructura del invernadero, que limiten su funcionalidad.

### CONCLUSIONES

Como resultado de la determinación del sistema de cargas que actúa sobre la estructura de un invernadero,

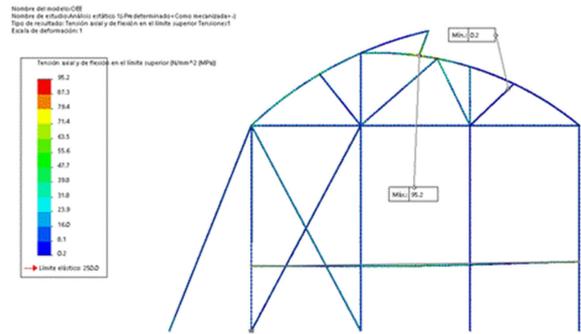


FIGURA 3. Distribución de tensiones normales en la estructura objeto de estudio.

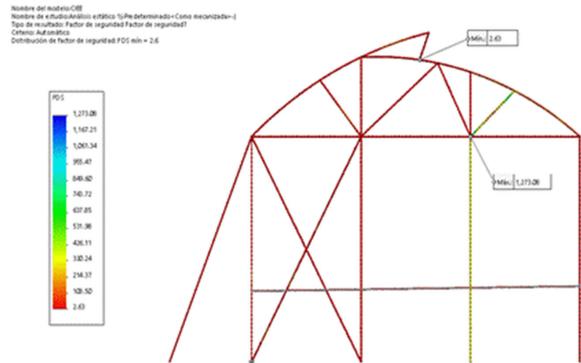


FIGURA 4. Distribución del coeficiente de seguridad.

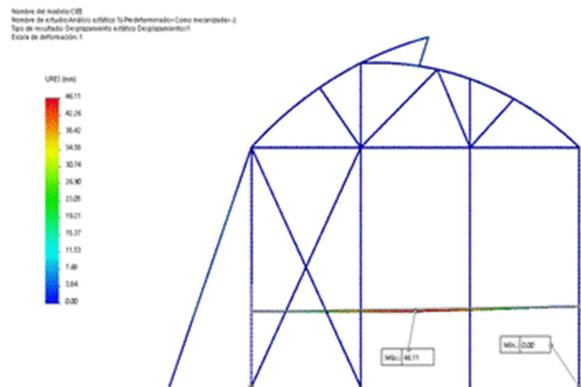


FIGURA 5. Distribución de los desplazamientos.

considerando tanto las cargas del peso propio de la estructura, como de las cubiertas, el peso del propio cultivo y los efectos del viento y granizos, se determina, aplicando estas cargas a un modelo digitalizado del invernadero mediante el Método de los Elementos Finitos, que las tensiones normales máximas, sobre la estructura, alcanzan 95,2 MPa, para un coeficiente de seguridad mínimo de 2,63 con relación al límite de elasticidad del material que compone la estructura metálica del invernadero. Asimismo, se determina un nivel máximo de desplazamientos de 46,11 mm, lo que se considera que no limita la funcionalidad de la estructura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUDELO-MANRIQUE, D.A.; ARMAS-RÍOS, V.S.; RADILLO-LÓPEZ, J.M.; TORREBLANCA-IRIARTE, E.: “Diseño de un sistema para el monitoreo de un invernadero”, 2015.
- ASCE: “Minimum design loads for buildings and other structures: SEI/ASCE 7-05”, En: Ed. ASCE Reston, Va, 2005.
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO: *Panorama de las administraciones públicas América Latina y el Caribe 2020*, Ed. Inter-American Development Bank, 2020, ISBN: 92-64-87463-1.
- BESA-GONZÁLVEZ, A.; CHULIÁ, F.J.: *Diseño de máquinas*, Ed. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2016, ISBN: 84-9048-530-5.
- CFE-MÉXICO: *Manual De Diseño De Obras Civiles. Diseño Por Viento*, Inst. Comisión Federal De Electricidad (CFE), México D. F., 2017.
- FAIRES, M.V.: *Diseño de elementos de máquinas*, Ed. Editorial Limusa, 4ta ed., México D. F., 2018, ISBN: 968-18-4207-3.
- FAO, FIDA, OPS, WFP Y UNICEF, O.: *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe*, Ed. Country/Territory: Latin America and the Caribbean, Licencia: CC BY-NC-SA, N.13, ed., Santiago de Chile, Chile, 150 p., 2018, ISBN: 978-92-5-133665-6.
- GONZÁLEZ, M.H.; RODRÍGUEZ-MUÑOZ, N.A.; ESCOBEDO-BRETADO, J.; MARTÍN-DOMÍNGUEZ, I.: “Diseño y simulación de un invernadero asistido con energía renovable para Durango”, *Revista de Innovación Sistemática*, 1(1): 33-45, 2017.
- INIFED-MÉXICO: *Normas y Especificaciones para Estudios Proyectos, Construcción e Instalaciones*, Ed. Instituto Nacional De La Infraestructura Física Educativa (INIFED), vol. 4 Tomo III, Diseño Por Viento, Seguridad Estructural, México D. F., 2017.
- KOSAI, T.: “Eficiencia en el uso de recursos del sistema de producción de planta cerrada con luz artificial: concepto, estimación y aplicación a la planta de fábrica”, 447-461, pp.446-461, 2013, DOI: <http://dx.doi.org/10.2183>.
- NIFED-MÉXICO: “Normas y especificaciones para estudios proyectos construcción e instalaciones”, *Habilidad y funcionamiento*, 4, 2011.
- NMX-E-255-CNCP-2013: *Minimum Desing Loads for Buildings and other Structures (SEI/ASCE 7-05)*, México D. F., 2013.
- ORTIZ-DOMÍNGUEZ, M.; CRUZ-AVILÉS, A.; MUÑOS-SÁNCHEZ, Y.: “Diseño de máquinas”, *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 5(9), 2018, ISSN: 2007-784X.
- TOLEDO-FREIRE, A.: “Diseño de edificios altos por cargas de viento”, Publisher: Quito/PUCE/2015, 2015.
- VANEGAS-USECHE, L.V.: *Diseño de elementos de máquinas*, Ed. Universidad Tecnológica de Pereira, Publisher: Universidad Tecnológica de Pereira p., 2018, ISBN: 958-722-301-2.

María Victoria Gómez-Águila, Profesora e Investigadora, Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura, Texcoco de Mora. Estado de México, México, e-mail: [mvaguila@hotmail.com](mailto:mvaguila@hotmail.com), [mgomeza@chapingo.mx](mailto:mgomeza@chapingo.mx)

Luis Tonatiuh Castellanos-Serrano, Profesor e Investigador, Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura, Texcoco de Mora. Estado de México, México, e-mail: [lcastellanoss@chapingo](mailto:lcastellanoss@chapingo).

José Alfredo Castellanos-Suárez, Profesor, Investigador, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. CP 56200. Texcoco de Mora. Estado de México, México. [jcastellanoss@chapingo.mx](mailto:jcastellanoss@chapingo.mx).

Marcelino Aurelio Pérez-Vivar, Profesor e Investigador, Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura, Texcoco de Mora. Estado de México, México, e-mail: [mperezv@chapingo.mx](mailto:mperezv@chapingo.mx).

Arturo Martínez-Rodríguez, Dr.Cs. Prof. Titular e Inv. Titular, Prof. de Mérito. Universidad Agraria de La Habana (UNAH). Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [armaro646@gmail.com](mailto:armaro646@gmail.com).

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflictos de interés

**CONTRIBUCIONES DE AUTOR:** **Conceptualización:** M. V. Gómez, A. Martínez **Curación de datos:** M. V. Gómez, L. Castellanos, **Análisis formal:** M. V. Gómez, J. Catellanaos, **Investigación:** M. V. Gómez, L. Castellanos, J. Catellanaos, M. Pérez, **Metodología:** M. V. Gómez, **Software:** M. V. Gómez, **Supervisión:** M. V. Gómez, L. Castellanos, **Validación:** M. V. Gómez, J. Catellanaos, **Visualización:** M. V. Gómez, **Redacción-borrador original:** M. V. Gómez, L. Castellanos, M. Pérez. **Redacción-revisión y edición:** M. V. Gómez, L. Castellanos, J. Catellanaos

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.