

Análisis estructural de una plataforma giratoria para vivienda modular en contenedores mediante simulación CAE

Structural analysis of a rotating platform for modular housing in containers using CAE simulation

Recibido: 30 de abril de 2025

Aceptado: 1 de agosto de 2025

Alberto Ramírez Márquez

Instituto Tecnológico de
Durango/Tecnológico Nacional de México
aramirez@itdurango.edu.mx

Carlos Omar Ríos Orozco

Instituto Tecnológico de
Durango/Tecnológico Nacional de México

Elio Eduardo Monreal Carrillo

Instituto Tecnológico de
Durango/Tecnológico Nacional de México

Norma Patricia Sarmiento Acosta

Instituto Tecnológico de
Durango/Tecnológico Nacional de México

RESUMEN

La conciencia que los seres humanos tienen sobre su impacto negativo en su medio ambiente ha propiciado que en las últimas décadas se busque que en el desarrollo de diferentes productos y servicios se tengan un impacto negativo menor en nuestro planeta, uno de ellos es el desarrollo de viviendas más amigables con el medio ambiente. Por lo que en este estudio se analiza por medio del uso de software de Ingeniería Asistida por Computadora CAE, una plataforma giratoria sobre la cual se instala una vivienda a base de contenedores marítimos para optimizar el asoleamiento, analizando tres formas de aplicación de la carga sobre la plataforma: uniformemente distribuida, en las esquinas de los contenedores y perimetralmente en los contenedores, la carga corresponde al peso total de la vivienda, con lo cual se determina la forma de contacto más adecuado entre los contenedores que conforman la vivienda y la plataforma. Después analizar tres tipos de aplicación de la carga, se propone que el contacto del contenedor con la estructura giratoria sea perimetral, pero agregando más soportes de respaldo en la sección perimetral de la plataforma, con la intención principal de que se reducirá el valor de la deformación y ésta sea más homogénea en toda la plataforma.

Palabras clave: análisis estructural, plataforma giratoria, vivienda- contenedor, CAE, carga estática.

Abstract

Human beings' awareness of their negative impact on the environment has led to efforts in recent decades to develop products and services that have less of a negative impact on our planet, one of which is the development of more environmentally friendly housing. This study uses computer-aided engineering (CAE) software to analyze a rotating platform on which a home made from shipping containers is installed to optimize sunlight exposure, analyzing three ways of applying the load to the platform: evenly distributed, at the corners of the containers, and around the perimeter of the containers. The load corresponds to the total weight of the house, which determines the most appropriate form of contact between the containers that make up the house and the platform. After analyzing three types of load application, it is proposed that the container's contact with the rotating structure be perimeter-based, but with the addition of more support brackets in the perimeter section of the platform, with the main intention of reducing the value of deformation and making it more homogeneous across the entire platform.

Keywords: structural analysis, rotating platform, container housing, CAE, static load.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha generado una preocupación por el medio ambiente, por lo que se busca alternativas para reducir el impacto medioambiental negativo, estas pueden ser desde ahorro de energía y agua, reducción en el consumo de combustibles fósiles, manejo adecuado de residuos, hasta el reciclaje de materiales en la industria de la construcción, entre otros.

El diseño de viviendas enfrenta el desafío constante de optimizar el asoleamiento, un factor crucial para el confort térmico, la estética y la eficiencia energética. Lograr un asoleamiento óptimo, que maximice la luz natural y el calor solar, reduce significativamente la dependencia de sistemas de climatización artificial, contribuyendo a la sostenibilidad. Sin embargo, las viviendas convencionales suelen tener un asoleamiento limitado, restringido a ciertas horas del día y áreas específicas.

La presente investigación innova en el diseño de una estructura giratoria, en la cual se realiza la instalación de una casa habitación, construida a base de contenedores marítimos, la cual dará dinamismo y versatilidad al asoleamiento y confort. La estructura giratoria permite prolongar la exposición solar, adaptándose a la trayectoria del sol a lo largo del día. El sistema de automatización, basado en horarios predefinidos, asegura que cada área de la vivienda reciba la cantidad óptima de luz solar, maximizando el confort térmico y reduciendo el consumo energético.

Planteamiento del problema

Los sistemas de construcción tradicionales de viviendas generan estructuras estáticas, las cuales presentan un soleamiento limitado por su ubicación y orientación geográfica; por lo cual, en cada estación del año no puede aprovecharse un asoleamiento y ventilación durante todas las horas del día. Lo cual genera dependencia de sistemas de acondicionamiento de aire tanto para condiciones de verano como para invierno, así mismo aumentando el consumo de energía eléctrica.

Aunado a lo anterior, se tienen cada año aumento en las temperaturas de verano así como descenso en las temperaturas en invierno, como se menciona en la publicación “Calentamiento global, los acechos para 2025”¹.

Los modelos estacionales que pronostican la temperatura prevén que en 2025 la probabilidad de que la primavera será más cálida en comparación con años anteriores es de un 60 %, superando los parámetros normales, asegura Graciela Binimelis de Raga, investigadora del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM.

“Respecto a las lluvias, en el noroeste de México, donde la precipitación invernal es característica, el pronóstico indica que hasta marzo las lluvias serán menos probables. Sin embargo, este hecho no excluye la posibilidad de que algunos frentes fríos ocasionen nevadas en las sierras más altas de dicha región”, refiere.

Objetivo

Evaluar, mediante análisis estático lineal en SolidWorks Simulation, la respuesta esfuerzo-deformación de una plataforma giratoria para vivienda contenedor bajo tres esquemas de aplicación de carga.

Justificación

El contar con una vivienda de contenedores que pueda girar para el uso o no de asoleamiento, permitirá aumentar o disminuir la cantidad de energía solar que ingresa a la vivienda, con lo cual se reducirá el uso de los sistemas de acondicionamiento de aire para condiciones de verano

e invierno, teniendo un impacto positivo en el consumo de energía.

Al realizar el análisis de esfuerzo-deformación de la plataforma propuesta, considerando diferentes aplicaciones de la carga, la cual representa el peso total de la vivienda, permitirá determinar la mejor forma de contacto y transferencia de carga de los contenedores que conforman la vivienda hacia la base giratoria.

Limitaciones

- Software SolidWorks 2024 versión educativa.
- Equipo de cómputo marca DELL, procesador: 12th Gen Intel(R) Core (TM) i7-1255U 1.70 GHz, RAM instalada: 16.0 GB (15.7 GB usable).

METODOLOGÍA

Diseño de investigación

La CAE o ingeniería asistida por ordenador, es el uso de software en una amplia gama de industrias para simular un rendimiento basado en la física con el fin de mejorar el diseño de productos o ayudar en la resolución de problemas de ingeniería. Incluye la simulación, la validación y la optimización de productos, procesos y herramientas de fabricación.

Un proceso típico de CAE consta de una serie de pasos de preprocesamiento, resolución y posprocesamiento. En la fase de preprocesamiento, los ingenieros modelan la geometría (o una representación del sistema) y las propiedades físicas del diseño, así como el entorno en forma de cargas o limitaciones aplicadas. A continuación, el modelo se resuelve aplicando una fórmula matemática adecuada de la física subyacente. En la fase de posprocesamiento, los resultados se presentan al ingeniero para su revisión.

Partiendo de esa base, los procesos de certificación y verificación de las herramientas CAE están bien establecidos. Seguirán siendo esenciales para el progreso de la CAE, su fiabilidad y confianza en los gemelos digitales y su establecimiento en ámbitos novedosos. Aunque la simulación predictiva reducirá siempre la necesidad de mediciones y prototipos costosos, seguirá necesitando métodos de CAE rigurosos y la validación de buenas prácticas mediante la experimentación.²

El procedimiento general es el siguiente:

- Preproceso
 - Elaboración de modelo CAD, con las especificaciones del departamento de arquitectura
- Resolución
 - Asignación de material
 - Asignación de sujeciones
 - Asignación de carga
 - Asignación de malla
 - Estándar
 - Basada en curvatura
 - Basada en curvatura de campo combinado
 - Ejecución
- Postproceso
 - Análisis de los resultados de esfuerzo, deformación y factor de seguridad

Para cada tipo de malla se recomienda ejecutar el estudio con varios parámetros de mallado

(tamaño máximo y mínimo de elemento) a lo que generalmente se le conoce como malla gruesa o fina, con la finalidad de determinar la convergencia de los resultados. También es recomendable aplicar control de malla en especial en las zonas de mayor concentración de esfuerzo.

Muestra

En la Tabla 1, se presenta el desglose de la masa de la vivienda, que incluye la totalidad de la carga muerta y la carga viva considerada, las cuales son necesarias para poder determinar el valor de la carga total. La carga total es de 29,862.0 kg, lo que equivale a 292.846 kN, considerando la constante de la aceleración de la gravedad estándar como 9.80665 m/s^2 .

Tabla 1

Desglose de las masas que integran la vivienda

Elemento	Masa	Cantidad	Unidades	Subtotal (kg)
Contenedor marítimo de 20ft	2,500.0	4	Piezas	10,000.0
Carga viva en planta alta y baja (kg/m ²)	130.0	70.0	m ²	9,100.0
Carga viva en azotea (kg/m ²)	70.0	40.5	m ²	2,835.0
Recubrimiento y aislante térmico en contenedores, en piso techo y paneles	15.0	300.0	Piezas	4,500.0
Muro de durok en fachadas y ambos baños (doble cara) (kg/m ²)	30.0	44.0	m ²	1,320.0
Recubrimientos de cerámica en ambas regaderas	18.0	13.0	Piezas	234.0
Falso plafón en techo de cocina	9.0	4.5	Piezas	40.5
Muretes de tabla roca en vestidores de ambas recamaras (dos caras) (kg/m ²)	18.0	8.6	m ²	155.5
Techumbre entre contenedores, consiste en lámina multipanel, incluye bastidores de PTR	22.0	13.5	Piezas	297.0
Calentadores solares de 120lt cada uno (incluye 240lt de agua para ambos)	380.0	1.0	Piezas	380.0
Celdas solares (kg/m ²)	17.5	28.0	m ²	490.0
Escalera (escalones de madera apoyados en estructura metálica) (lote)	510.0	1.0	Piezas	510.0
Total				29,862.0

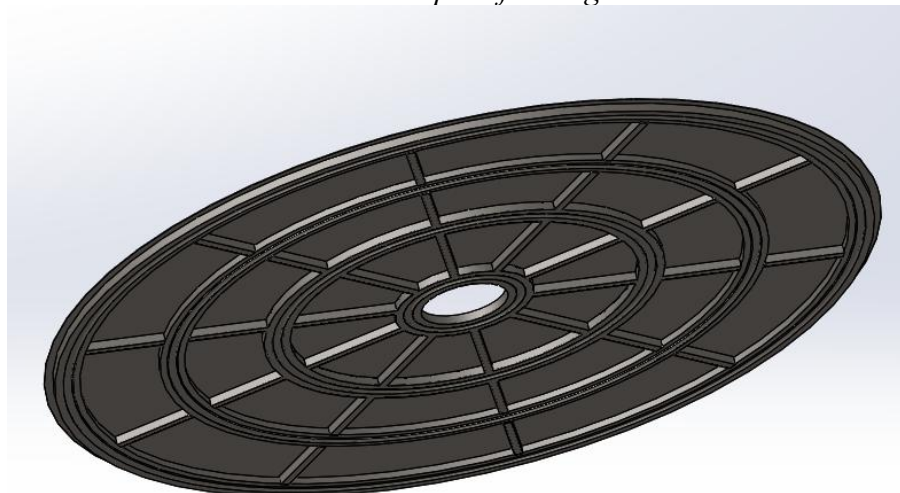
Fuente: Propia.

En la Figura 1, se muestra la etapa de preprocesamiento, en la cual se presenta el modelo de plataforma giratoria a la cual se le aplicara el análisis, la cual consiste en una placa de acero al

carbono 1023 de ¼ pulg. de espesor y 9600 mm de diámetro, los segmentos de refuerzo en la parte inferior son de perfil rectangular de 100 mm de lado y 10 mm de espesor. En la parte inferior también cuenta con anillos (carriles circulares) de 100 mm de diámetro y 10mm de espesor.

Figura 1

Modelo CAD de plataforma giratoria



Nota: En la presente figura se muestra el diseño CAD de la plataforma giratoria con las especificaciones solicitadas por el departamento de arquitectura

Fuente: Propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dentro de la etapa de resolución se realizó un estudio estático, para los tres tipos de aplicación de la carga, con malla estándar, malla basada en curvatura y con malla basada en curvatura de combinado, sin embargo, las dos primeras marcaron falla en la ejecución de esta, incluso variando el grueso de la malla, esto puede suceder en algunas ocasiones, como se menciona en la descripción de los parámetros de mallado del software: “*Activa la malla basada en curvatura de combinado*. Este mallador adapta automáticamente el tamaño del elemento a la curvatura local de la geometría para crear una matriz de malla suave. Utilice el mallador basado en curvatura de combinado para modelos en los que no se pudo crear la malla con un mallador estándar o basado en curvatura”. Con la malla basada en curvatura de combinado, solo permitió el mallado con los parámetros que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Parámetros de mallado por tipo de aplicación de la carga

Aplicación de la carga	Tamaño máximo de elemento (mm)	Tamaño mínimo de elemento (mm)	Número de elementos	Número de nodos
Uniformemente distribuida	299.542	19.1342	93618	178442
Esquinas de los contenedores	299.542	19.1342	85350	167022
Perimetral de los	299.54	19.13	79340	158809

contenedores

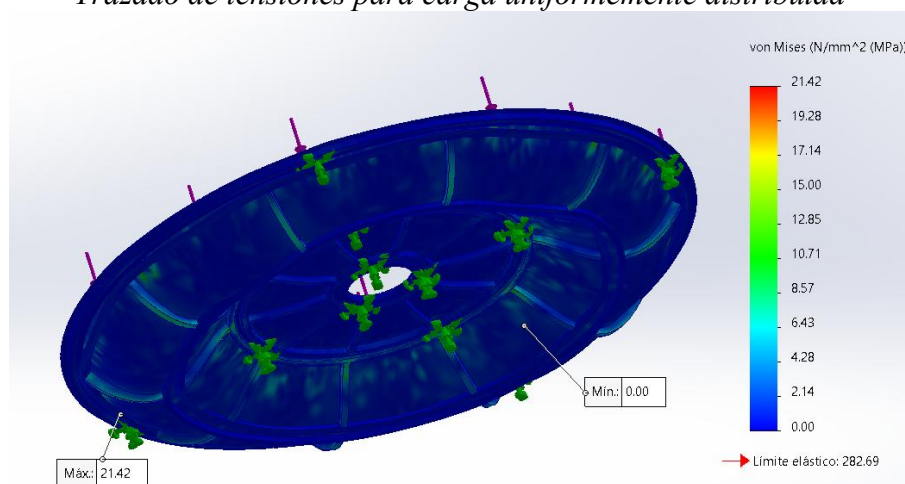
Fuente: Propia.

Que corresponden a límite de elementos que el software permitió generar bajo las condiciones en las que se realiza el análisis, por lo anterior no fue posible repetir el estudio para diferentes densidades de la malla, pasando de mallas gruesas a mallas finas, con lo cual se podrían tener resultados de convergencia. Sin embargo, el software permitió realizar un control de malla, con la configuración más fina permitida, este control se aplicó en las secciones de mayor concentración de esfuerzos, las cuales corresponden a los canales de la plataforma.

Para la primera opción de aplicación de la carga, de forma uniformemente distribuida en toda la plataforma giratoria, se puede observar en la Figura 2, que el esfuerzo máximo es de 21.42 MPa., y se concentra en el perímetro exterior de la plataforma, que corresponde a donde los segmentos de placa delimitada por los soportes inferiores, tienen la superficie mayor, mientras que el esfuerzo mínimo se concentra en el tercer anillo de soporte (contados del interior al exterior), además se muestra el límite elástico del material, el cual tiene un valor de 282.69 MPa.

Figura 2

Trazado de tensiones para carga uniformemente distribuida



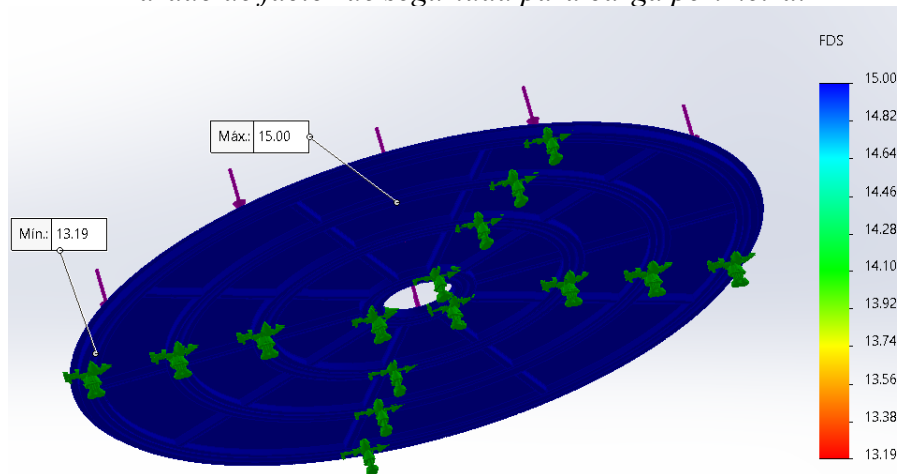
Nota: En la presente figura se muestra el trazado de tensiones para carga uniformemente distribuida de la plataforma giratoria, así como las secciones de mayor y menor concentración.

Fuente: Propia.

En la Figura 3, se puede apreciar que el factor de seguridad mínimo es de 13.19, lo podemos verificar obtenido el cociente entre el límite elástico y el esfuerzo máximo.

Figura 3

Trazado de factor de seguridad para carga perimetral



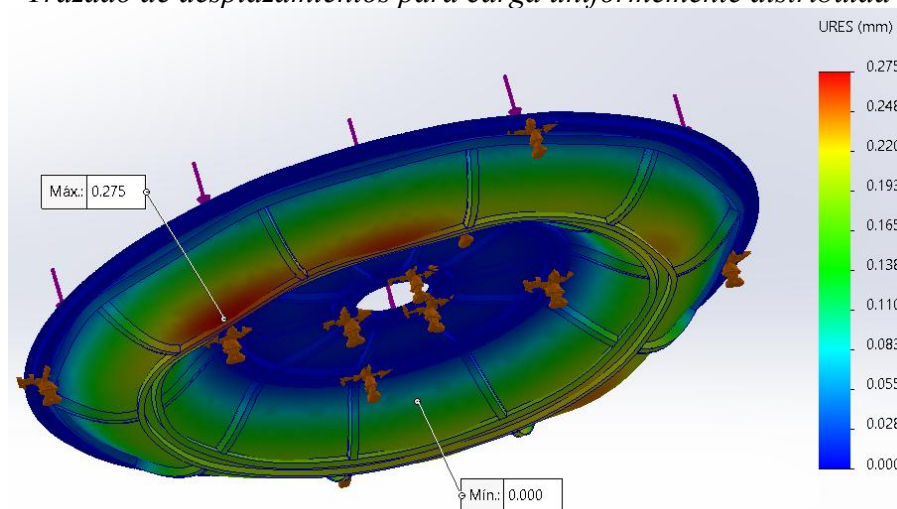
Nota: En la presente figura se muestra el trazado de factor de seguridad, así como las secciones de mayor y menor valor.

Fuente: Propia.

En la Figura 4, se puede apreciar que la deformación máxima en las secciones externas de 0.275 mm lo que representa un 4.44 % del espesor de la plataforma, sin embargo, en las secciones centrales de la plataforma la deformación es de 0.00 mm.

Figura 4

Trazado de desplazamientos para carga uniformemente distribuida



Nota: En la presente figura se muestra el trazado de desplazamientos para carga uniformemente distribuida, así como las secciones de mayor y menor valor.

Fuente: Propia.

En la Tabla 3, se muestran los resultados de obtenidos para las tres formas de aplicación de la carga.

Tabla 3

Resultados de la aplicación de los tres tipos de carga

Aplicación de la carga	Esfuerzo máximo (MPa)	Factor de Seguridad	Deformación máxima (mm)
Uniformemente distribuida	21.42	13.19	0.275
Esquinas de los contenedores	387.83	0.73	6.395
Perimetral de los contenedores	42.01	6.73	0.918

Fuente: Propia.

En la Tabla 4, se pueden observar que después de aplicar el control de malla a las secciones de mayor concentración de esfuerzo, en el análisis con carga perimetral, el esfuerzo máximo aumento de 42.01 a 48.42 MPa., sin embargo, aunque el factor de seguridad se ve disminuido de 6.73 a 5.54, aún tiene un valor aceptable, dado que algunas organizaciones recomiendan para elementos estructurales de edificios factores de seguridad de 5, como lo son Mecánicos Valencia y Padua Materiales.

Tabla 4

Resultados de la aplicación de control de malla para la carga perimetral

Tamaño máximo de elemento (mm)	Tamaño mínimo de elemento (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Factor de Seguridad	Deformación máxima (mm)
74.88	38.26	48.42	5.54	0.838

Fuente: Propia.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

La plataforma con la aplicación de la carga uniformemente distribuida soporta de mejor manera las cargas, con el factor de seguridad más alto de los tres casos analizados y la menor deformación, pero dadas las condiciones reales de los contenedores, es una condición difícil de lograr.

La plataforma con la aplicación de la carga en las esquinas de los contenedores no soporta la carga, generando un factor de seguridad menor a uno, por lo cual para poder usarlo en condiciones reales se deberá de modificar la geometría de la plataforma: más estructuras de respaldo, aumentar espesores o cambiar de material.

La plataforma con aplicación de carga perimetral de los contenedores, sin y con control de malla presenta un factor de seguridad de 6.73 y 5.54 respectivamente, ambos valores están por encima de las recomendaciones para el diseño de estructuras, el cual es de 5, además de que es una condición real que se puede lograr, sin embargo, aunque el valor de la deformación es pequeño (0.918 mm y 0.838), representa un porcentaje alto 14.45 y 13.19% respectivamente, en comparación con el espesor de la plataforma.

En función de los resultados obtenidos, se cumple con el objetivo de la investigación y se recomienda usar para el análisis una aplicación de carga perimetral a los contenedores.

Se recomienda considerar para estudios futuros:

- Analizar la base giratoria agregando más soportes de respaldo en la sección perimetral de la plataforma con la intención principal de que se reducirá el valor de la deformación y ésta sea más homogénea en toda la plataforma.
- Analizar la base giratoria agregando condiciones de temperatura de operación, con la intención principal de analizar el impacto en la tensión, deformación y factor de seguridad.
- Analizar la posibilidad de realizarlos en un equipo de cómputo de mayor capacidad, para verificar si es posible aplicar otros tipos de malla y analizar la convergencia.
- Analizar la posibilidad del uso de otros softwares CAE para verificar y validar los resultados.
- Analizar otros tipos de configuración geométrica de la plataforma.

REFERENCIAS

1. Paz, R. y Chávez, P., (2025, 13 de enero). Calentamiento global, los acechos para 2025. Gaceta UNAM. <https://www.gaceta.unam.mx/?p=154617>
2. SIEMENS. (2025, 31 de marzo). Ingeniería asistida por ordenador (CAE). <https://www.sw.siemens.com/es-ES/technology/computer-aided-engineering-cae/>
3. Gómez González, S. (2010). SolidWorks Simulation. México. Alfaomega.
4. Norton, R. (1999). Diseño de máquinas. México. Editorial Pearson. 1a edición.
5. Mott, R. (1995). Diseño de elementos de máquinas. México: Editorial Pearson. 2a edición.
6. Mecánicos Valencia. (2022, 10 de agosto). Factores de seguridad en diseño mecánico. <https://mecanicosvalencia.es/factor-de-seguridad-diseno-mecanico/>
7. Padua Materiales. (2017, 15 de febrero). Coeficientes de seguridad para diseño mecánico. <https://paduamateriales.com/coeficiente-de-seguridad/>
8. Javierre Lardiés, C. y Fernández Cuello, A. (2012). Criterios de diseño mecánico en tecnologías industriales. España. Prensa universitaria de Zaragoza.