

# ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN UN ANUNCIO ESPECTACULAR MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTO FINITO PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES VIALES

Hernández Medrano Israel (1), Razón González Juan Pablo (2)

<sup>1</sup> [Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato] | [israelhernandezmedrano@gmail.com]

<sup>2</sup> [Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato] | [jurazon@itesi.edu.mx]

## Resumen

En el presente trabajo se propone analizar el diseño de un anuncio espectacular que se encuentra en la ciudad de Irapuato, Guanajuato, al que se le aplican las cargas eólicas que experimentaría al estar en la intemperie, además de las fuerzas que provoca el propio peso de la estructura superior del anuncio. Para la obtención de la presión neta que se le aplica al anuncio se toma en consideración el Manual de Diseño de obras civiles, Diseño por Viento de CFE, que también brinda otros datos sobre la ciudad de Irapuato que son necesarios para llevar a cabo los cálculos de los esfuerzos provocados por las ráfagas de viento en Km/h. El diseño y el análisis del espectacular se lleva a cabo con el programa SolidWorks que permite obtener los resultados de Tensiones, Desplazamientos y Deformaciones Unitarias de la estructura del caso de estudio ante la aplicación de los esfuerzos provocados por el viento. Finalmente, en base a los resultados obtenidos, se muestra el comportamiento del espectacular, pudiendo presentar alguna falla crítica debido a las condiciones planteadas en el análisis para la posible prevención de un accidente vial.

## Abstract

In the present work it is proposed to analyze the design of a spectacular advertisement that is located in the city of Irapuato, Guanajuato, which is applied the wind loads that would experience being in the open, in addition to the forces that causes the very weight of the top structure of the advertisement. In order to obtain the net pressure applied to the advertisement, the Civil Design Manual, Design by Wind of CFE is taken into account, which also provides other information about the city of Irapuato that are necessary to carry out the calculations of the efforts caused by wind gusts in km / h. The design and analysis of the spectacular is carried out with the program SolidWorks that allows to obtain the results of tensions, displacements and Unitary Deformations of the structure of the case of study before the application of the efforts caused by the wind. Finally, based on the results obtained, the behavior of the spectacular is shown, and may present some critical failure due to the conditions presented in the analysis for the possible prevention of a road accident.

## Palabras Clave

Anuncio espectacular; Método de Elemento Finito; SolidWorks; Esfuerzos mecánicos; Prevención de accidentes viales.

## INTRODUCCIÓN

Los anuncios elevados conocidos también como espectaculares o mamparas elevadas son estructuras relativamente comunes cuya construcción en general no está debidamente reglamentada en muchas partes México, por lo que en ocasiones esto provoca que al estar expuestos a ciertas ráfagas de viento, los espectaculares puedan causar accidentes viales debido también a que las magnitudes de las fuerzas que produce el viento no sean soportadas por el anuncio y lleven a la estructura a perder su equilibrio y estabilidad, por lo que termina presentando fallas [1]. En la mayoría de las ciudades de México se registran anualmente accidentes relacionados con anuncios espectaculares provocados por lluvias y ventarrones, la mayor parte de ellos es porque no cumplen con las normas necesarias como se menciona al principio de este párrafo, un accidente relacionado con esto ocurrió en León, Guanajuato, donde un espectacular se derrumbó desde su soporte y cayó encima de una camioneta que circulaba por la zona, sin dejar heridos en el incidente. Lo anterior se puede presentar alrededor de todo el país de México, porque cuenta con alrededor de 30 mil espectaculares, por lo que los anuncios de este tipo deben de diseñarse para que sean capaces de soportar los esfuerzos mecánicos que se presenten en ellos al estar en la intemperie [2].

## MATERIALES Y MÉTODOS

El Método del Elemento Finito (MEF en español o FEM en inglés) es un método numérico para la resolución de ecuaciones diferenciales, utilizado en diversos problemas de ingeniería y física. El método se basa en dividir el cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema, en una serie de subdominios no intersectantes entre sí denominados elementos finitos.

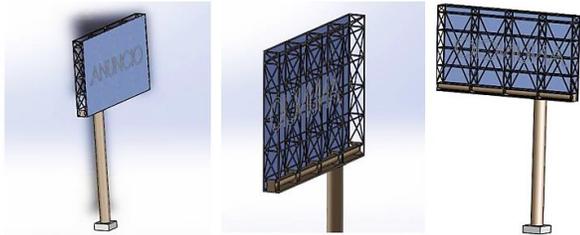
El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también llamada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados nodos. Dos nodos son adyacentes sí pertenecen al mismo elemento finito, además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. Los cálculos se realizan sobre una malla o discretización creada a partir del dominio con programas generadores de mallas, en una etapa previa a los cálculos que se denomina pre-proceso.

El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales (o linealizadas), la matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos. El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en dos o tres dimensiones).

La aplicación de MEF al anuncio espectacular del presente trabajo se realiza con la ayuda de SolidWorks que es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una subsidiaria de Dassault Systèmes (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Fue introducido en el mercado en 1995 para competir con otros programas CAD como Pro/ENGINEER, NX, Solid Edge, CATIA, y Autodesk Mechanical Desktop. Además, SolidWorks tiene soluciones para industrias de plásticos, lámina delgada, eléctrica, simulación y análisis por elementos finitos. A continuación, se presenta el caso de estudio con los parámetros principales para el análisis del anuncio espectacular.

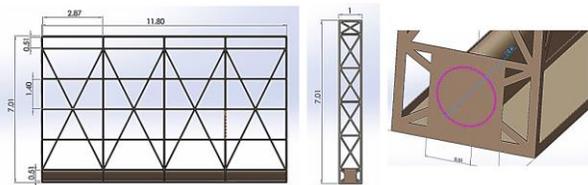
El anuncio espectacular propuesto se muestra en la IMAGEN 1, tomando en consideración algunos puntos del Manual de Diseño de Obras Civiles de Diseño por Viento de C.F.E., además de recibir información oportuna para el diseño del anuncio de una empresa de publicidad del municipio de Irapuato, que por razones de confidencialidad

queda en el anonimato. El diseño se realiza en el software SolidWorks, debido a que es relativamente sencillo el llevar a cabo este diseño del espectacular.



**IMAGEN 1: Diseño del anuncio espectacular en SolidWorks.**

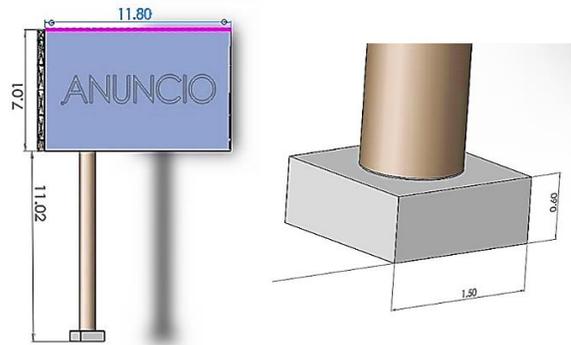
Algunas de las medidas más relevantes del diseño propuesto son las siguientes: la estructura superior tiene una extensión de aproximadamente 11.80 x 7.01 m dividida en secciones como se muestra en la IMAGEN 2. El ancho del anuncio es de 1 m, como lo muestra la imagen central de la IMAGEN 2. Además, el tubo superior de soporte de la estructura tiene un radio de 0.41 m con un espesor de aproximadamente 0.0127 m (media pulgada) por 11.80 m de largo.



**IMAGEN 2: Medidas relevantes de la estructura superior del anuncio espectacular.**

La altura del anuncio espectacular es de 18 metros aproximadamente, considerando la elevación de la zapata de concreto que sirve como anclaje de la estructura, el tubo mástil y la estructura superior donde se coloca la publicidad del espectacular. El radio del tubo mástil fue de 0.91 m de exterior con un espesor de aproximadamente 0.0127 m (media pulgada) por 10.4 m de alto, como se muestra en la IMAGEN 3. La zapata de concreto en la parte superior tiene las dimensiones de 1.5 por 1.5 m y 0.60 m de alto, aunque en la parte enterrada de la misma zapata llega a una profundidad de 3.50 m,

que para propósitos de este análisis estructural no se considera debido a que el estudio en cuestión solo abarca el comportamiento de la estructura superior ante la aplicación de presión provocadas por las ráfagas de viento. El material empleado en este anuncio espectacular, además del concreto para la zapata de anclaje del mismo, es de acero estructural para el tubo mástil, el tubo superior de soporte y la estructura superior. La lámina donde se coloca la publicidad es de aleación de aluminio 1060.

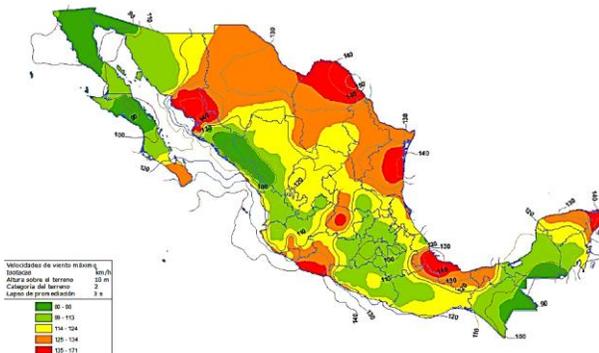


**IMAGEN 3: Medidas del tubo mástil del anuncio espectacular.**

El viento es un flujo de aire producto de la diferencia de presiones que surge del gradiente de temperatura entre masas de aire caliente y frío. La velocidad de ráfaga del viento para el diseño se puede determinar a partir de los datos mostrados en el Manual de Diseño de Obras Civiles de Diseño por Viento de C.F.E. La IMAGEN 4 muestra un mapa de la República Mexicana con las velocidades del viento en cada estado de México, con información recopilada durante 10 años, mostrando el comportamiento en general de las ráfagas de viento en México. Para este caso se utilizan los datos referentes al estado de Guanajuato, tomando velocidad promedio de 123 Km / h, proporcionada por el mismo manual mencionado.

El análisis estructural del anuncio utiliza el programa SolidWorks aplicando dos cargas a la estructura, una debida a la propia carga del peso del espectacular y la otra por la presión que ejerce el viento sobre el anuncio. En el caso de la carga producida por el propio peso del espectacular, se

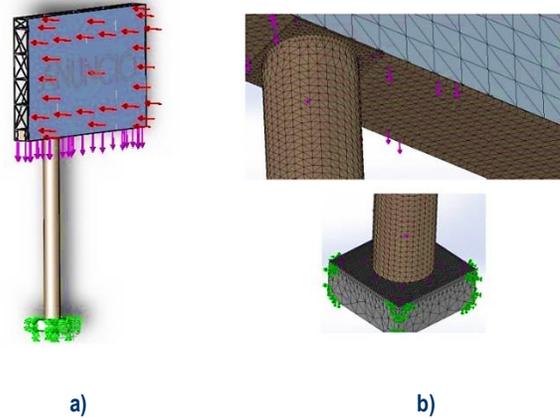
coloca en la parte inferior de la estructura donde se coloca la publicidad, como se muestra en la IMAGEN 5a). El peso de los anuncios espectaculares ronda entre las 5 y 10 toneladas, para este caso la masa de la parte superior del anuncio espectacular es de 6 314.60 kg, la cual es obtenida de SolidWorks y al multiplicarse por la constante de la fuerza de la gravedad, la carga aplicada al espectacular resulta de 61 946.26 N↓.



**IMAGEN 4:** Mapa de México que muestra las velocidades de las ráfagas de viento durante los últimos 10 años.

En el caso de la presión que ejerce el viento sobre el espectacular se calcula tomando las pautas que incluye el Manual de Diseño de Obras Civiles de Diseño por Viento de C.F.E. en la sección de Letreros y muros aislados, en la cual permite obtener la presión neta sobre letreros rectangulares al considerar los siguientes parámetros de la ciudad de Irapuato: longitud de  $-101.21$ , latitud de  $20.40$ , velocidad del viento promedio de  $123$  Km/h, los metros sobre el nivel del mar de  $1724$  m, la temperatura media anual de  $19.7$  °C y la presión barométrica de  $619.32$  mm de Hg. La presión neta producida por el viento sobre el anuncio espectacular correspondiente a una velocidad de  $123$  km/hr es de  $682.4167$  Pa, y se aplica sobre la cara frontal de la estructura superior con la ayuda del programa SolidWorks, como lo muestra la IMAGEN 5a). Además, se define la sección del anuncio que estará fija en el análisis, la cual se encuentra en la parte inferior del tubo mástil, como lo muestra la IMAGEN 5a). En la IMAGEN 5b) se muestra el proceso de discretización del anuncio, formando el mallado de los nodos que requiere el MEF para el análisis de la estructura. Los

resultados de la simulación que brinda el programa SolidWorks utilizado se explican en la siguiente sección.



**IMAGEN 5:** Análisis del anuncio con SolidWorks: a) Fuerzas aplicadas espectacular: debido al propio peso de la estructura y a la presión que ejerce el viento sobre el mismo. b) Mallado del anuncio espectacular.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que brinda SolidWorks después de terminar el análisis del anuncio espectacular se concentran en tres aspectos: esfuerzos, desplazamientos y deformaciones unitarias. Los resultados del análisis estructural para una velocidad de  $123$  km/hr bajo las consideraciones mencionadas en la sección anterior del Caso de Estudio se muestran en las Imágenes 6 a la 8, y la Tabla 1 muestra los valores máximos y mínimos de los 3 aspectos de los resultados que brinda SolidWorks. Además, se corrobora lo obtenido del Manual de Diseño de Obras Civiles de Diseño por Viento de C.F.E. con los resultados obtenidos.

**Tabla 1:** Valores máximos y mínimos de tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias con una velocidad del viento de  $123$  km/hr.

Resultados	Valor Mínimo	Valor Máximo
Esfuerzo	$4.112 \text{ e}+008 \text{ N/m}^2$	$3.427 \text{ e}+007 \text{ N/m}^2$
Desplazamientos	$3.333 \text{ e}+005 \text{ mm}$	$1.000 \text{ e}-030 \text{ mm}$
Deformaciones unitarias	$6.838 \text{ e}+001$	$6.586 \text{ e}-007$

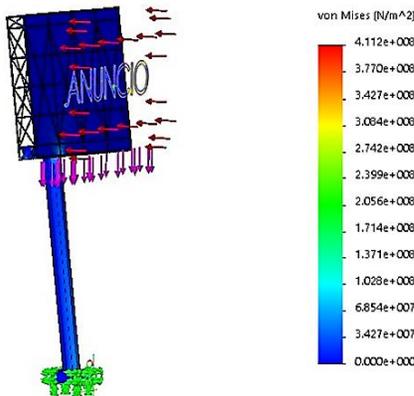


IMAGEN 6: Tensiones obtenidas con una velocidad de 123 km/hr.

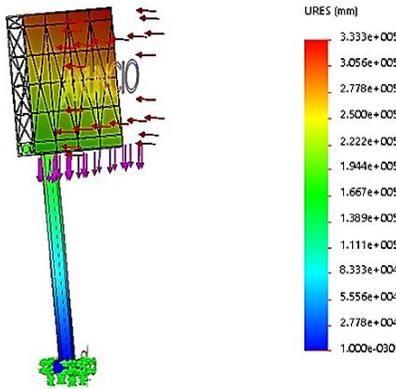


IMAGEN 7: Desplazamientos obtenidos con una velocidad de 123 km/hr.

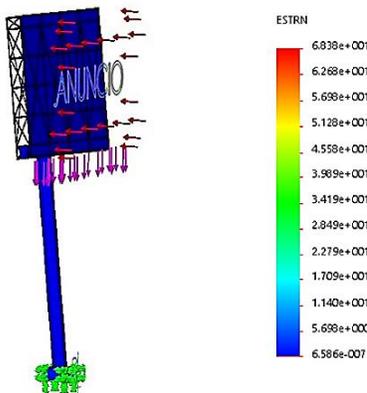


IMAGEN 8: Deformaciones unitarias obtenidas con una velocidad de 123 km/hr.

## CONCLUSIONES

Los resultados presentados en la sección anterior incluyen los tres aspectos que proporciona el análisis estático estructural del anuncio, los cuales son las tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias que se presentan en el espectacular tras aplicarle las cargas mencionadas. En este caso, los valores que se obtienen nos permiten darnos cuenta de cómo responde al estar en la intemperie con las condiciones de la ciudad de Irapuato, el cual presenta valores que no son críticos para llevarlo a una situación de falla en la estructura, por lo que al soportar las cargas que se ejercen sobre el espectacular no se corre el riesgo de una caída del mismo debido a las condiciones mencionadas, lo que repercute en que no podría ser la causa de un accidente vial en la zona en la que se encuentra el anuncio en la ciudad de Irapuato, que como se mencionó al principio del presente trabajo no se puede revelar la ubicación exacta del mismo por razones de confidencialidad con la empresa que brindó información muy importante para el diseño del anuncio en el programa de SolidWorks. El darse cuenta de que el anuncio analizado no puede ser un riesgo para los ciudadanos de Irapuato es de suma importancia, debido al flujo masivo de personas que circulan diariamente debajo del mismo, mediante un análisis del espectacular de manera práctica y sencilla con la ayuda de SolidWorks, lo que permite al alumno el aplicar lo visto en clase y llevarlo a la práctica para reforzar lo aprendido.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales al profesor M.C. Juan Pablo Razón González por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación, así como a mi compañero de carrera Alejandro Gabriel Pineda Martínez por su gran ayuda en darme las bases necesarias para utilizar SolidWorks, de igual manera agradecer al Instituto Tecnológico Superior de Irapuato por los servicios e instalaciones que se facilitaron durante la estancia necesaria para este proyecto.

## REFERENCIAS

[1] BAEZA, J. C., VARGAS, G., PEREZ, D., (2004). “La peligrosidad de las mamparas elevadas (anuncios espectaculares) ante viento huracanado” en Ingeniería 8-3 Artículo de divulgación, México - 2004, [pp. 47-57].

[2] Periódico AM, (2017). “Cae espectacular en camioneta”, Guanajuato, México: Periódico AM. Recuperado de: <https://www.am.com.mx/2017/07/20/leon/sucesos/cae-espectacular-en-camioneta-366425>

[3] CARDONA, A., FACHINOTTI, V., (2014). “Introducción al Método de los Elementos Finitos” en Cimec (UNL/Conicet), Santa Fe, Argentina – 2014, [pp. 1-23].

[4] Dassault Systemes SolidWorks Corporation, (2017). SolidWorks, Massachusetts, EE. UU: SolidWorks Corporation. Recuperado de: <http://www.solidworks.es/>

[5] C.F.E. Instituto de Investigaciones Eléctricas (1993), “Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento, tomos I, II, III”, México, D.F.