

Equipo didáctico para la comprobación de la inestabilidad elástica en columnas

Teaching equipment for checking elastic instability in columns

DURAN-SOSA, Ismael†, MORALES-HERNÁNDEZ, Daniela, VELÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, Francisco Javier y VÁZQUEZ-ROSAS, Sergio*

Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Av. Universidad 350, Cuitlahuac, C.P. 94910, Veracruz, México

ID 1^{er} Autor: *Ismael, Duran-Sosa* / ORC ID: 0000-0002-0731-1210, Researcher ID Thomson: P-7729-2018, CVU CONACYT ID: 937016

ID 1^{er} Coautor: *Daniela, Morales-Hernández* / ORC ID: 0000-0002-2739-552X, Researcher ID Thomson: P-8121-2018, CVU CONACYT ID: 937247

ID 2^{do} Coautor: *Francisco Javier, Velázquez-Rodríguez* / ORC ID: 0000-0002-7860-3210, Researcher ID Thomson: P-5392-2018, CVU CONACYT ID: 935265

ID 3^{er} Coautor: *Sergio, Vázquez-Rosas* / ORC ID: 0000-0002-3259-382X, Researcher ID Thomson: P-8011-2018, CVU CONACYT ID: 857794

Recibido 25 de Enero, 2018; Aceptado 30 Marzo, 2018

Resumen

Actualmente se aplica en la educación superior el modelo basado en competencias, por lo que la función del instructor es facilitar el conocimiento hacia los alumnos, los cuales buscan aplicarlo de acuerdo al ámbito de su profesión. Esta aplicación generalmente se presenta mediante prototipos, los cuales, pueden ser dispositivos semejantes a modelos originales, su función es la de generar un complemento en el proceso de enseñanza y que permita la comprobación de sustentos teóricos, por esta razón, los alumnos buscan ampliar la perspectiva de las situaciones que se susciten en un contexto diferente a un aula. El objetivo del presente trabajo es construir un equipo didáctico para la comprobación del fenómeno de inestabilidad elástica en materiales, el cual se puede replicar en laboratorios de materiales, específicamente en el área de mecánica. Se logró el diseño y puesta en marcha de un equipo didáctico para realizar la comprobación de la inestabilidad elástica en columnas de aluminio 6061, a partir de las cuatro diferentes estructuras para la comprobación de dicho fenómeno.

Inestabilidad elástica, Equipo didáctico, Columnas

Abstract

Currently, the competency-based model is applied at the undergraduate, for this reason, the instructor's function is to facilitate knowledge to students, who seek to apply it according to the scope of its application. This application is generally presented through prototypes, which can be devices similar to original models, their function is to generate a complement in the teaching process and that allows the verification of theoretical foundations, for this reason, students seek to expand the respective situations that can be solved in a context different from a classroom. The objective of this work is to build a didactic equipment for the verification of the phenomenon of elastic instability in materials, which can be replicated in materials laboratories, specifically in the area of mechanics. The design and commissioning of a didactic equipment to carry out the elastic instability test on 6061 aluminium columns was achieved, based on the four different structures for the testing of this phenomenon.

Elastic instability, Didactic equipment, Columns

Citación: DURAN-SOSA, Ismael, MORALES-HERNÁNDEZ, Daniela, VELÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, Francisco Javier y VÁZQUEZ-ROSAS, Sergio. Equipo didáctico para la comprobación de la inestabilidad elástica en columnas. Revista de Ingeniería Industrial. 2018. 2-3: 23-27.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (Sergio.vazquez@utcv.edu.mx)

Introducción

Desde tiempos muy remotos la ingeniería ha sido unas de las carreras más demandadas a nivel nacional, de acuerdo a datos de la Dirección General de Educación Superior (2015) de un total de 3, 882, 625 alumnos el 35.8% de estudiantes en educación superior se encontraba cursando una ingeniería, por lo tanto, 1,389,980 están inscritos en un programa educativo en el área de ingeniería.

Dentro de los conocimientos que necesita un estudiante de ingeniería es el conocer las propiedades mecánicas de diversos materiales, debido a que cada objeto de nuestro alrededor está fabricado con diferentes materiales, que previamente se ha analizado tomando en cuenta sus características mecánicas, física y químicas. Dichas propiedades son empleadas en diseños de ingeniería, que se determinan por lo general mediante pruebas destructivas, no destructivas. Los resultados de estas pruebas son una ayuda para que los diseñadores puedan determinar el uso apropiado de los materiales. La educación anteriormente se enfocaba solo a transmitir conocimientos, actualmente la necesidad han provocado un cambio en el cual, además de lo anterior se proporcionan herramientas necesarias para que los alumnos construyan su propio aprendizaje (Ruiz, Uribe y Phillips, 2005).

La utilización de materiales compuestos es cada vez más aplicada en la ingeniería actual, en donde tienen mayor aplicación en proyectos que requieran alta resistencia, una mayor durabilidad y bajo peso. Al realizar un adecuado diseño de las estructuras geométricas, la selección de los materiales y el proceso de fabricación, identifican los elementos que pueden afectar su comportamiento mecánico (Sánchez, De Almeida y Carrillo, 2015).

El fenómeno de pandeo es el esfuerzo que relaciona la compresión del material (la cantidad de fuerza suministrada al material) a lo largo de su eje vertical con respecto a su eje transversal, cuando al aplicar una carga axial su estructura se ve alterada al deformar el centro de gravedad que se aleja del eje longitudinal (Hibbeler, 2011; Gere y Goodno, 2009; Beer, Johnston, DeWolf y Mazurek, 2013). Uno de los conceptos básicos para la inestabilidad elástica es el concepto de Euler [1] qué es la carga axial máxima con la que una viga o columna pueda mantenerse sin llegar al punto de pandeo o de quiebre.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{k l^2} \quad (1)$$

Uno de los conceptos básicos para el estudio de pandeo es el conocimiento de la carga crítica de Euler que es la carga axial máxima con la que una “viga o columna” pueda mantenerse sin llegar al punto de pandeo. Al agregar una carga mayor el material sufrirá una deflexión lateral evitando que llegue al punto de equilibrio. La idea es trabajar con una pieza estructural sin imperfecciones (eje recto, material sin defectos puntuales), que cuente con una longitud “L”, un eje de inercia “I”, un tipo de apoyo (con empotramiento, articulado o libre), una sección transversal conformada por un material lineal elástico cuyo módulo de elasticidad es E (Beer et al. 2013).

El principio de Euler busca ubicar un punto entre la directriz geométrica y mecánica de una columna esbelta, teniendo una demanda axial ya establecida, además de asumir un comportamiento no lineal de los materiales y teniendo una demanda axial conocida, en consecuencia, se determina el momento máximo generado por la inestabilidad, sin la necesidad de construir un diagrama de interacción de la columna (Moscoco, Alvarez y Argudo, 2014). De acuerdo con Agüero y Atienza (2015) existen sistemas susceptibles a pandeo inducido por compresión en donde las imperfecciones geométricas influyen de acuerdo a imperfecciones globales o locales, por otra parte, presenta un inconveniente para aquel que desee localizar la combinación de ambas para determinar la de mayor afectación a la estructura.

Los problemas más comunes relacionados con el fenómeno de inestabilidad elástica o pandeo en las estructuras de acero son, algunas veces, las causas de la presencia de un fallo mecánico. Para poder determinar la inestabilidad de una estructura se requiere un basto conocimiento matemático, aun, cuando se conozca con exactitud los valores de referencia crítica, y que pueda obtener resultados más confiables (Cacho-Pérez y Lorenza 2017). Se dice que la deformación en un material se presenta cuando el límite elástico es excedido, por tanto, el esfuerzo y la deformación unitaria disminuyen de una manera lineal al ser retirada la carga y la deformación unitaria es diferente a cero, por tanto, se indica que se ha presentado un deformación permanente o parcial en el material (Matar, Parodi, Repetto y Roatta, 2018).

Un material es elástico si las deformaciones causadas en una probeta por la aplicación de una carga dada desaparecen cuando la carga se retira, se dice que el material se comporta elásticamente, es decir, el material de la probeta se comporta elástica y linealmente mientras el esfuerzo se mantenga bajo un determinado parámetro (Beer et al., 2013). El objetivo del presente trabajo es construir un equipo didáctico para la comprobación del fenómeno de inestabilidad elástica en materiales, el cual se puede replicar en laboratorios de materiales, específicamente en el área de mecánica. El trabajo de su elaboración se presenta en la sección de metodología, en la sección de resultados y discusión se muestran casos prácticos que se realizaron con el equipo y por último en la sección de conclusiones se detallan las aportaciones del equipo.

Metodología a desarrollar

Se desarrolló el presente trabajo de investigación eligiendo un enfoque cualitativo debido se quiere recolectar información para poder comprobar una hipótesis a partir de una medición que se someta a un análisis estadístico. El tipo de investigación que presenta es descriptiva, en donde se busca especificar las propiedades, dimensiones, aspectos, componentes y características de los materiales que son sometidos a la inestabilidad elástica, por consiguiente, los alumnos puedan comprender este concepto con mayor facilidad (Hernández, Fernández y Baptista, 2006). El diseño de investigación hace referencia al desarrollo de un plan de trabajo para recabar la información que se requiere, y poder dar respuesta a la pregunta de investigación planteada, el presente trabajo se sustenta en un diseño pre-experimental; puesto que, para poder obtener resultados del prototipo se tienen que manipular la compresión de diversos materiales, lo cual permitirá un acercamiento a la realidad del fenómeno y la realización de pruebas piloto (Hernández et al., 2006).

Todos los equipos que se utilicen en un estudio de inestabilidad elástica o pandeo sirven para medir, analizar y demostrar el fenómeno que se presenta en columnas, las cuales están expuestas a los efectos de las fuerzas de compresión, que, al aumentar las cargas, el eje de simetría perteneciente a la barra perderá su linealidad hasta que ceda su forma y posteriormente alcance el pandeo.

Para la construcción del equipo didáctico que permita la comprobación de la inestabilidad elástica, fue necesario una investigación previa sobre los diferentes principios que analizan para conocer determinar la mecánica de los materiales.

Diseño del equipo

El presente proyecto se inició con el diseño de la base de lo que será la estructura del equipo didáctico, una de las características del prototipo es contar con un cuerpo que facilite su transporte y que presente resistencia a las pruebas que se realizarán, cuenta con un cuerpo metálico de 2 pulgadas de ancho por 1 pulgada de altura como se observa en la imagen 1 las dimensiones de la base son: altura de 50 cm, la base de 70 cm.

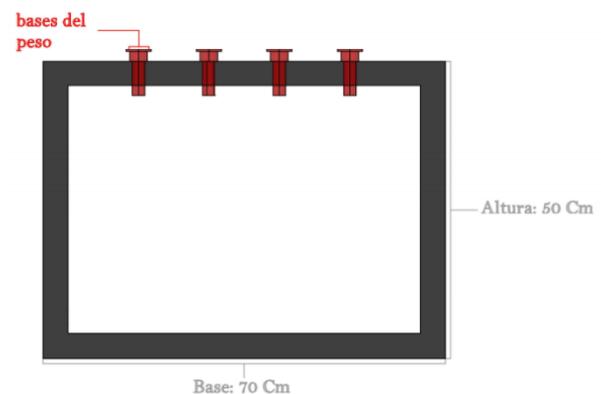


Figura 1 Estructura del equipo

Para realizar pruebas demostrativas se aplicaron plantillas de aluminio en las que se puso a prueba columnas del material y dadas las características de las estructuras; Articulada-articulada se dice que gira libre en ambos extremos y presenta una longitud de pandeo igual a la altura total de la columna, empotrada-empotrada en donde los giros se encuentran impedidos en ambos extremos y el pandeo es igual a la mitad de la longitud de la parte media de la barra, articulada-empotrada cuando presenta una deformación libre desde el extremo articulado y la longitud de pandeo es las dos terceras partes superiores, articulada deslizable empotrada cuando el pandeo adquiere una conformación de longitud doble de su altura (Rai, 2002).

El equipo didáctico cuenta con un sistema neumático que se compone de un manómetro el cual indica la presión a la que es sometido el material durante la prueba, un pistón que al accionarse sirve de apoyo para unos acoplamientos que se empotran en las columnas a someter, de esta manera fijan el material durante la prueba. Cuenta con unos barrenos de posición los cuales sirven para determinar la altura de la probeta, la cual puede ser desde los 5 cm hasta los 50 cm. Para determinar la deformación de la barra se ha instalado un sensor ultrasónico colocado a un costado del pistón, su función consiste en emitir una señal que inicia en un tiempo cero, este sonido al llegar a la barra rebota y regresa al receptor el cual da una diferencia de distancia de la deformación que sufre la barra. La señales analógicas que se emiten en el sensor son enviadas a un microprocesador el cual realiza una conversión a señal digital para poder ser tratada y visualizada mediante una pantalla.

Resultados

Se logró el diseño y puesta en marcha del equipo didáctico para poder realizar la comprobación de la inestabilidad elástica o pandeo, para poder comprobar su funcionamiento se realizaron pruebas en donde se utilizaron probetas de acuerdo a la tabla 1, se observan las características del material para dicho ensayo, se usó una barra de aluminio 6061 y se replicó en las cuatro diferentes estructuras que puede presentarse; articulada-articulada, empotrada-empotrada, articulada-empotrada y articulada deslizante empotrada.

Datos	Unidades
Módulo de Young	6.9×10^{10}
Base	.001 m
Altura	.01 m
Longitud	.40 m

Tabla 1 Características de probetas

El módulo de Young es una característica de los materiales que se relaciona al comportamiento elástico de los mismoa, para poder calcularlo se desarrolló la ecuación 2 y 3 para los ejes en X y Y respectivamente, se buscó que el eje fuerte de la sección sea el que tenga mayor momento de inercia. Sin embargo para realizar los se ocupa el menor momento de inercia, con respecto de Y, y se sustituye en la ecuación 1 y de esta manera se pueden comparar los resultados obtenidos con el equipo. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

$$I_x = \frac{1}{12} B * H^3 \quad (2)$$

$$I_x = \frac{1}{12} H * B^3 \quad (3)$$

Tipo de apoyo	Carga axial
Articulada - Articulada	3.59 N
Empotrada - Articulada	5.14 N
Empotrada - Empotrada	7.19 N
Libre - Empotrada	3.59 N

Tabla 2 Características de probetas

Para validar los resultados obtenidos por el prototipo se sometieron a un proceso de simulación mediante el software Inventor, en la imagen 2 se pueden observar los análisis que reflejan la prueba realizada a una probeta libre empotrada, en la tabla de trazado de convergencia que va desde 0.198 la mínima tensión hasta 0.395 la máxima tensión de von Mises (Mpa) en donde se le aplica una magnitud de 3.59 N.



Figura 2 Trazado de convergencia

La segunda prueba recae en la interpretación de la misma, aunque esta depende de la magnitud ejercida, para este caso fue de 7.19 N en donde según los niveles de tensión tiene su recorrido de 0 como mínima a 5.282×10^{-4} como máxima. En la simulación de una probeta articulada empotrada a la que se somete a una prueba de pandeo se aprecia que el posible grado de ruptura se encuentra en los puntos de 3.072×10^{-5} .

Conclusiones

Los elementos fallan debido a diversos motivos los cuales pueden ser, por haber suministrado un material inadecuado, estudio incorrecto de carga y mal manejo de apoyos. Estos fallos se pueden evitar haciendo un correcto análisis estructural.

Los análisis de pandeo son un tipo de estudio estructural que sirve para poder identificar cómo se comporta un material al suministrarle una carga axial, el comportamiento dependerá totalmente de los parámetros a los que está sujetas las columnas. El resultado del estudio es un coeficiente de la carga crítica. Sin embargo, no podemos tomar como referencia el valor de la carga crítica para diseño de columna ya que las deformaciones a causa de pandeo pueden provocar la ruptura estructural. Por lo que el diseño de una columna debe ser sujeta a un parámetro menor que el establecido en la carga crítica.

Se realizaron 4 análisis de comportamiento, con 4 probetas de iguales medidas y 4 casos diferentes de pandeo sin embargo las fuerzas de compresión variaron en los 4 estudios, en el primer análisis de la columna articulada-articulada la fuerza requerida para pandeo fue muy ligera con respecto a las otras, en el caso de la columna articulada empotrada soportó un poco más de fuerza comparada con el primer caso sin embargo la columna doblemente empotrada soportó más fuerza que en los casos anteriores y por la empotrada libre fue la que soportó menor carga.

La fórmula de Euler demuestra que la carga crítica que puede producir el pandeo no depende de la resistencia del material, sino de sus dimensiones y el módulo de elasticidad. Y en dimensiones se refiere a que mientras más larga es una columna, para la misma sección transversal, mayor es su tendencia al pandeo y menor su capacidad de carga., por lo que el análisis de pandeo se trabaja en conjunto con el análisis de esbeltez, cuando se va a diseñar una columna se necesita seleccionar una sección transversal adecuada con apoyo que soporte las cargas axiales.

Referencias

- Agüero, A., & Atienza, J. R. (2014). Diseño de estructuras metálicas esbeltas susceptibles de pandear. Definición de la imperfección geométrica. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 31 (1), 65-70.
- Beer, F. P., Johnston, R. E., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2013). *Mecánica de materiales* (6 ed.). México: Mcgraw Hill Education.
- Cacho-Perez, M., & Lorenzana Iban, A. (2017). Pandeo 3D de estructuras de barras de sección de tipo doble-T. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 33 (1-2), 1-9.
- Dirección General de Educación Superior Universitaria. (2015). *La educación superior en cifras 2013-2014*. México D.F. : SEP.
- Gere, J. G., & Goodno, B. J. (2009). *Mecánica de materiales*. México, México: Cengage Learning Editores.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación*. México D.F., México: McGraw-Hill.
- Hibbeler, R. C. (2011). *Ingeniería mecánica estática*. México: Pearson Educación.
- Matar, M., Parodi, M. A., Repetto, C. E., & Roatta, A. (2018). Modelización lineal de un sistema masa-resorte real. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40 (2), e2306.
- Moscoso Fernández Salvador, J. F., Alvarez Ruilova, J., & Argudo Sánchez, G. (2014). Análisis no lineal del pandeo de columnas esbeltas para cargas estáticas. *Maskana. Revista científica*, 5, 47-58.
- Rai, D. C. (2002). Inelastic Cyclic Buckling of Aluminum Shear Panels. *Journal of Engineering Mechanics*, 128 (11), 1233–1237.
- Ruiz, D., Uribe, E. J., & Phillips, C. (2005). Modelos estructurales: Gran incentivo para aprender el comportamiento estructural. *XXV reunión nacional de facultades de ingeniería "el impacto de las reformas de la educación superior en la formación de ingenieros"*.
- Sánchez, M. L., De Almeida, S. F., & Carrillo, J. (2017). Evaluación del efecto de las tensiones térmicas residuales en el pandeo y post-pandeo de placas compuestas con refuerzos laterales. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 37 (1), 45-59.