

## BANCO DE ENSAYOS MECÁNICOS PARA TANQUES DE COMBUSTIBLE DE LANZADORES ESPACIALES

Aldana Ferreyra Bossi<sup>1</sup>, Bautista Saraví Gamboa<sup>1</sup>, Catalina Martín<sup>1</sup>, Hernán Vilaseca<sup>2</sup>, José Alberro<sup>1</sup> y Sofía Brown<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados (UID GEMA), Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata  
116 e/ 47 y 48, Argentina.

<sup>2</sup> Vehículos Espaciales de Nueva Generación (VENG) SA  
Paseo Colon 505, Ciudad autónoma de Buenos Aires, Argentina  
Email: jose.alberro@ing.unlp.edu.ar

### RESUMEN

*El diseño del Banco de Ensayos Mecánicos forma parte de las diferentes facilidades de ensayos de estructuras que se requieren para el desarrollo de proyectos de Lanzadores Espaciales. Se llevó a cabo la ingeniería de detalle del banco que tiene como objetivo realizar los ensayos mecánicos a los prototipos que se desarrollan en el marco del proyecto Tanques All-Composite, los cuales tienen la función de demostrador tecnológico. Los resultados de los ensayos serán de utilidad para la realimentación de modelos de cálculo, por lo que se realizarán ensayos de cargas mecánicas representativas de las cargas en el vuelo, y en casos combinados de presión interna y temperaturas criogénicas. En el trabajo actual se presenta el diseño y análisis estructural del banco de ensayos capaz de someter a los diferentes tanques a las cargas descritas anteriormente. El análisis estructural por el método de los elementos finitos permitió simular el comportamiento del banco para los diferentes esfuerzos y realizar la verificación de acuerdo a las especificaciones de VENG S.A. y los lineamientos provistos por las normas CIRSOC 301 y 304.*

**Palabras clave:** ESTRUCTURAS, BANCO DE ENSAYOS, TANQUES, LANZADORES ESPACIALES, SIMULACIÓN.

### INTRODUCCIÓN

En el trabajo actual se presenta el diseño, estudio y análisis estructural del banco de ensayos mecánicos (BEM) capaz de someter a los diferentes tanques a las condiciones de cargas a las que estarán expuestos en el vuelo. Las cargas son mecánicas en combinación con presión interna y temperaturas criogénicas. Respecto de las cargas mecánicas, se deben aplicar cargas de compresión, lateral, momento flector y combinación de las anteriores. El propósito del ensayo es evaluar la resistencia de los tanques para las cargas de vuelo y para algunos casos establecer cuáles son las cargas máximas que producen el colapso de los mismos.

Los requerimientos que debe cumplir el diseño del banco de ensayos fueron dispuestos por VENG S.A, entre ellos se mencionan los siguientes:

1. El banco de ensayos deberá ser capaz de soportar un espécimen de ensayo de hasta 250Kg, incluyendo todos sus accesorios y fluidos relevantes para las condiciones de ensayo.
2. El banco de ensayo deberá ser capaz de ensayar una estructura de un diámetro ecuatorial máximo de 500 mm, con la aplicación simultánea de presión interna ya sea a temperatura ambiente o criogénica.
3. El banco de ensayo deberá ser capaz de ensayar una estructura de un diámetro ecuatorial máximo de 700 mm (únicamente cargas mecánicas).
4. En cuanto a las dimensiones, el banco tiene que tener la particularidad de ser trasladable y poseer las dimensiones de la base de ambos módulos compatibles con pallets estándar de madera de 1,2m por 1,0m.
5. Verificar para las tensiones máximas admisibles tanto del material como de las uniones soldadas y atornilladas.

- Cumplir con los requisitos de flecha máxima para minimizar errores en la medición y en la transmisión de las cargas.

## DISEÑO

El diseño del banco consta principalmente de cuatro estructuras de acero soldadas y 5 actuadores. Las estructuras se denominan “bastidor principal”, “banco de elevación” y “estructura de aplicación de carga (EAC)”. Las mencionadas estructuras se pueden trasladar por separado y cumplen con el requerimiento de contar con dimensiones compatibles con pallets estándar. En las figuras a continuación se muestran las distintas partes del banco.

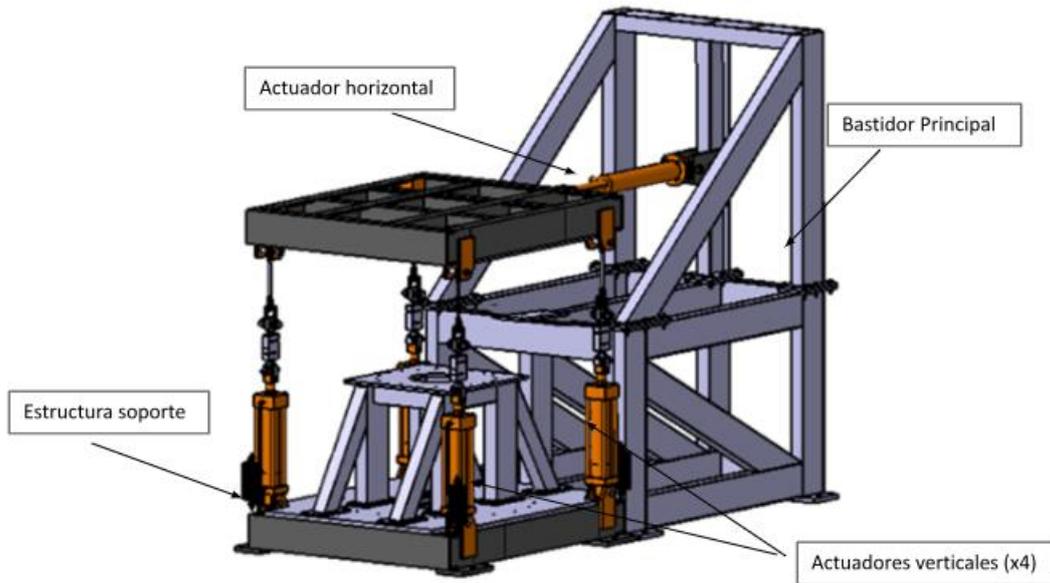


Figura 1. Banco de Ensayos

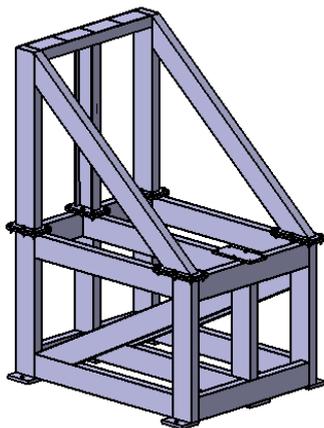


Figura 2. Bastidor Principal

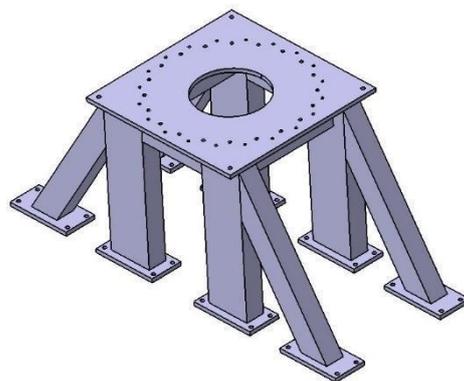


Figura 3. Banco de Elevación

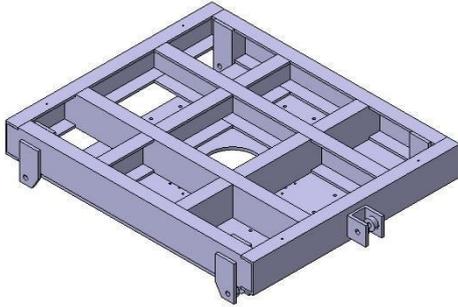


Figura 4. EAC Superior

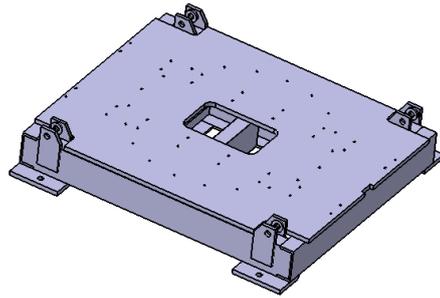


Figura 5. EAC Inferior

Las funciones de las diferentes estructuras se exponen en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Funciones de los componentes del BEM

Componente	Función
<i>Bastidor</i>	Permitir la aplicación de la carga lateral a distintas alturas según el espécimen a ensayar.
<i>Banco de elevación</i>	Elevar los tanques y facilitar el ingreso de los elementos necesarios para los ensayos de presión interna y temperatura criogénica.
<i>EAC</i>	Permitir la aplicación de la carga de compresión y de flexión en el espécimen a ensayar.

Para el diseño se empleó perfilera comercial, por lo que el material utilizado es acero IRAM-IAS-U-500-F-24, cuyas propiedades se especifican a continuación:

**Tabla 2.** Propiedades del material

Material	Módulo de Elasticidad [GPa]	Coefficiente de Poisson	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Tensión de Fluencia [MPa]
Acero F-24	210	0,3	7850	240

## ESPECIFICACIONES DE CARGA

Los especímenes serán sometidos a los siguientes esfuerzos:

- Fuerza axial máxima de 120 kN: se accionan los cuatro actuadores verticales con una carga de 30 kN cada uno.
- Fuerza lateral máxima de 27 kN: se acciona el actuador horizontal con una carga de 27 kN.
- Momento flector máximo de 16 kNm: se accionan los dos actuadores horizontales del extremo izquierdo para aplicar el momento.
- Estado combinado: se accionan en simultáneo los cuatro actuadores verticales y el actuador horizontal.

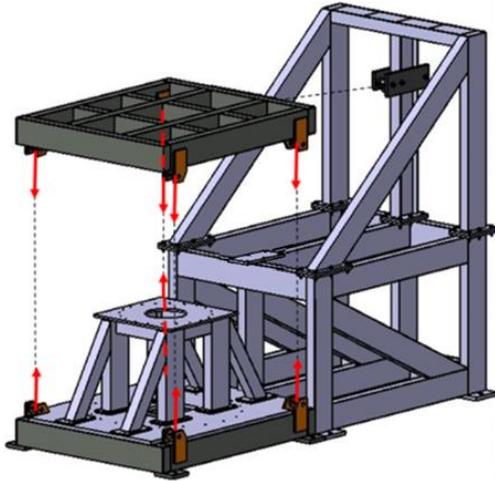


Figura 6. Aplicación de carga axial

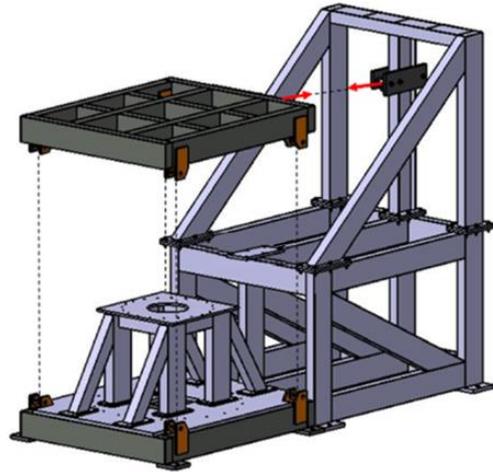


Figura 7. Aplicación de carga lateral

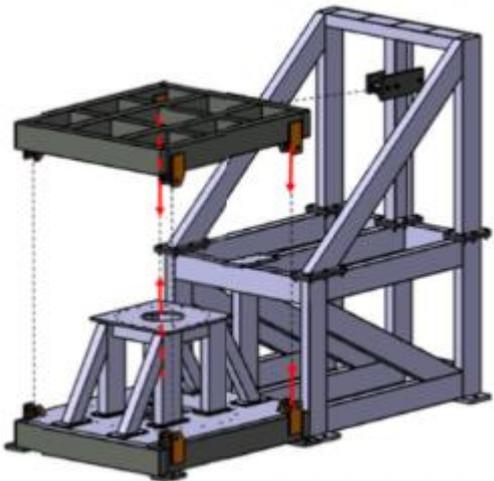


Figura 8. Aplicación de momento flector

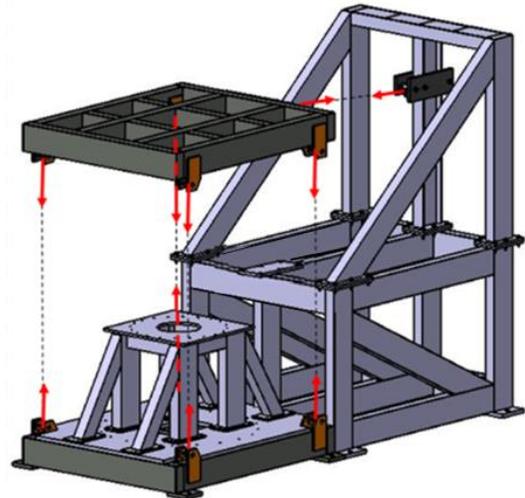
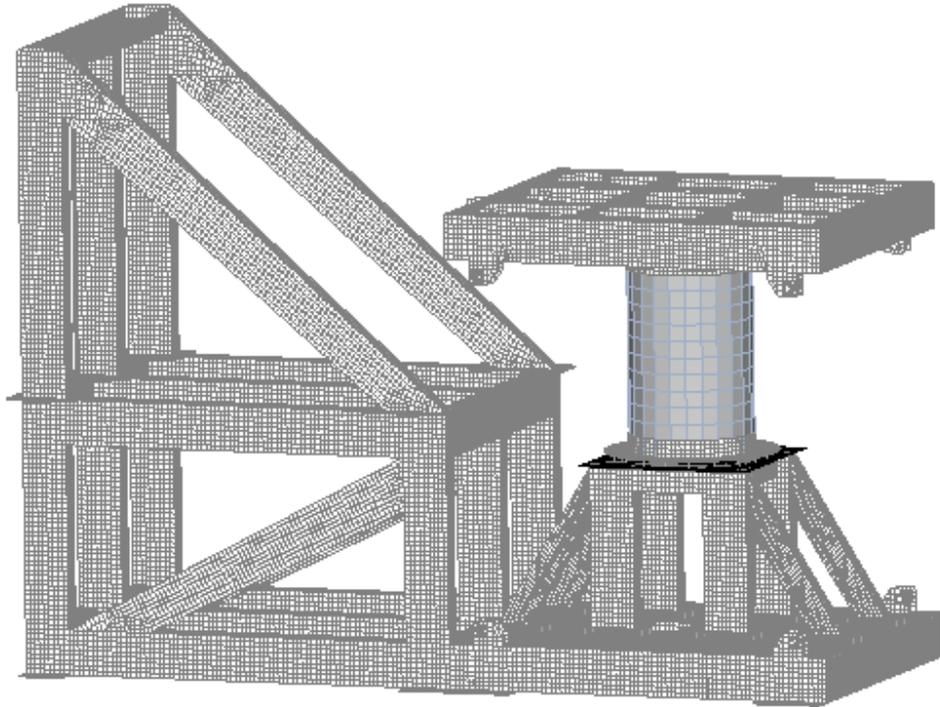


Figura 9. Aplicación de estado combinado

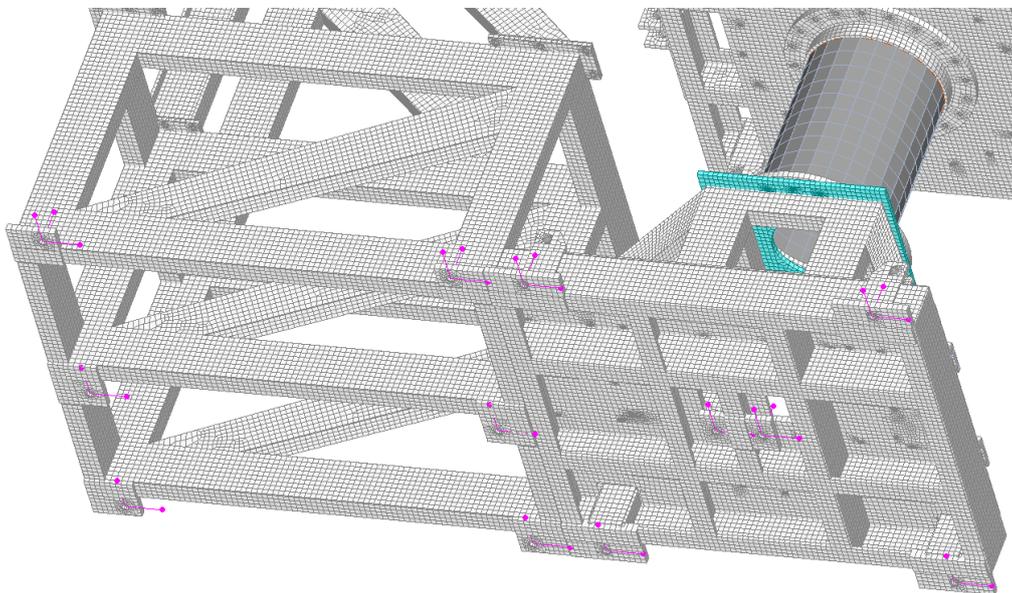
## MODELO NUMÉRICO

Para la etapa de ingeniería en detalle se generó un modelo de elementos finitos del banco completo, previamente, y a fines prácticos, se generaron modelos de los componentes principales por separado. Los modelos fueron realizados con elementos de placa (2D) con seis grados de libertad por nodo y tienen en cuenta el espesor de los distintos componentes y las propiedades del material. Para modelar cada unión atornillada se utiliza un elemento de viga que representa el bulón y elementos rígidos en sus extremos que lo conectan a cada agujero.



**Figura 12.** Modelo de elementos finitos del BEM

El banco de ensayos, en su emplazamiento final, deberá estar rígidamente solidario a la plataforma o base de hormigón. Se diseñó una configuración de 12 anclajes, los cuales se muestran en la siguiente figura. Para el análisis se consideró que los puntos de anclaje están articulados.



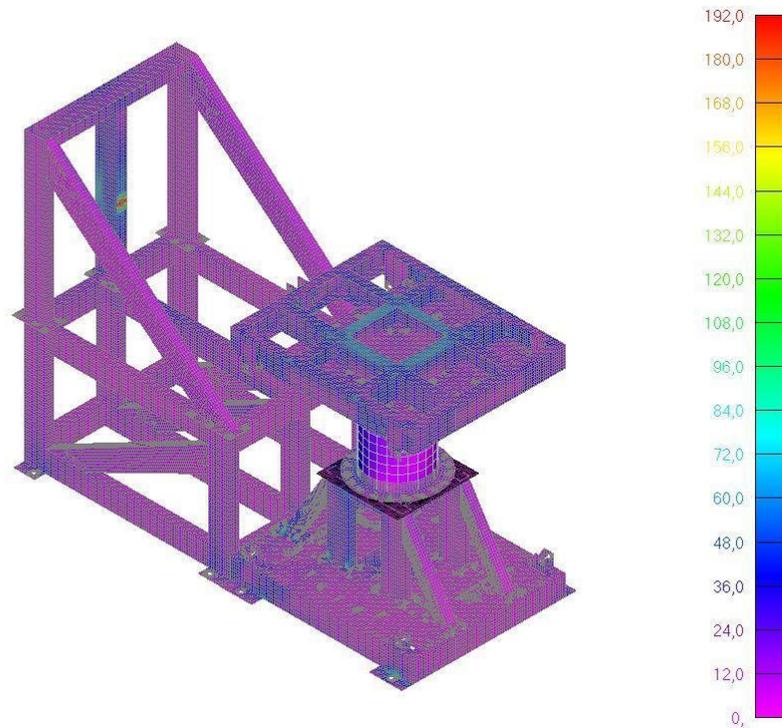
**Figura 13.** Restricciones del modelo del BEM

## RESULTADOS

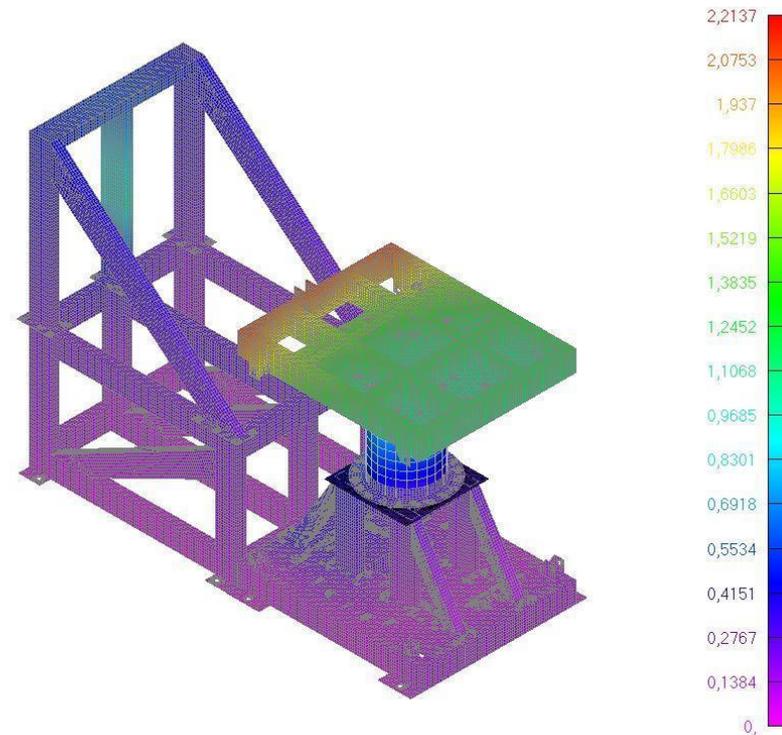
Se aplicaron las cargas en el modelo numérico, como se mencionó previamente, cargas axial, lateral, momento flector y estado combinado.

Se obtuvieron los estados tensionales y los desplazamientos para todos los casos de carga. La tensión máxima (Von Mises) resultó en 192 MPa y la misma se encuentra por debajo de la tensión admisible y también por debajo de la tensión de fluencia del material (240 MPa). El desplazamiento máximo es de 2.2 mm y cumple con el requisito de flecha máxima que permite minimizar errores en la medición y en la transmisión de las cargas.

Los resultados de tensiones y desplazamientos se muestran en las figuras a continuación:



**Figura 14.** Tensiones de Von Mises [MPa] – Caso de carga combinado



**Figura 15.** Desplazamientos [mm] – Caso de carga combinado

### Uniones soldadas:

Las soldaduras son del tipo de penetración total a tope y de filete. Los caños rectangulares y los perfiles se diseñan con soldaduras a tope. Las bridas del bastidor principal también se diseñan con soldaduras a tope. Las chapas unidas a los EACs se sueldan con filete.

Los valores de las tensiones en las soldaduras se extraen del modelo numérico y se comparan con las tensiones admisibles obtenidas del reglamento [2], teniendo en cuenta el material de aporte, cuya resistencia se obtiene de la norma [3]. Todas las soldaduras verifican bajo los límites admisibles.

### Uniones atornilladas:

Las uniones atornilladas para fijar los componentes estructurales del BEM se diseñaron con tornillos de acero de calidad 8.8.

Las cargas que actúan sobre los tornillos se obtienen del modelo de elementos finitos para la carga más desfavorable.

La verificación de las uniones se efectúa con la normativa [4] en el caso de uniones pretensadas y con el reglamento [1] para las uniones de los actuadores. Todas las uniones verifican.

### Pandeo:

De las estructuras que componen el BEM, el banco de elevación es el que está sometido a la mayor fuerza de compresión, y dada la longitud de sus caños verticales y diagonales, surge la necesidad de realizar el estudio correspondiente a la inestabilidad al pandeo.

Para realizar la verificación se procedió a aplicar sobre el modelo numérico del banco de elevación la carga de compresión máxima (120 KN) y solicitar el cálculo de los primeros modos de pandeo utilizando el Método de Extracción de Valores Propios de Lanczos.

La carga crítica de pandeo lineal es igual a 3360 KN, la cual supera ampliamente la carga de compresión. De acuerdo al resultado obtenido el colapso de la estructura estará dado por la rotura plástica en las zonas de máximas tensiones. A continuación, se muestra el primer modo de pandeo.

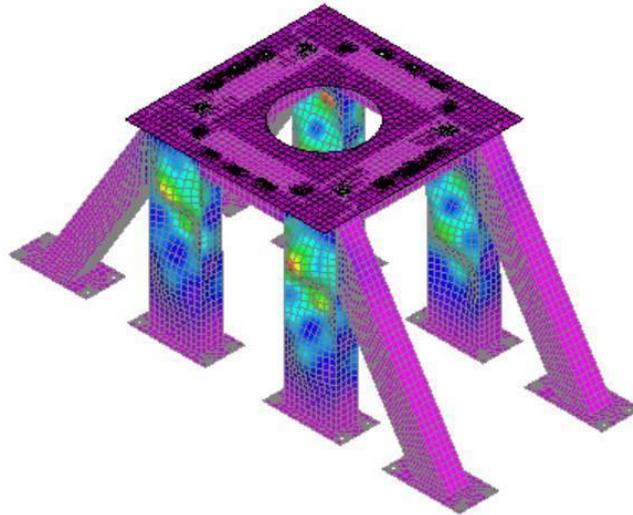


Figura 16. Primer modo de pandeo

## CONCLUSIONES

Se presentó el diseño y el análisis estructural del Banco de Ensayos Mecánicos de Tanques All-Composite prototipos, en conformidad con las especificaciones. En el análisis del BEM se realizó la verificación estructural de acuerdo con los lineamientos de los reglamentos [1,2]. Los niveles de tensiones y desplazamientos fueron determinados mediante modelos numéricos efectuados por el método de elementos finitos.

En el análisis estructural se verificó que los elementos estructurales, las uniones soldadas y atornilladas del BEM cumplen con los requisitos. Por lo tanto, desde el punto de vista estructural, se verifica la

viabilidad de la estructura del banco que permitirá efectuar los ensayos mecánicos a los tanques correspondientes a los diferentes proyectos de Lanzadores Espaciales.

## **REFERENCIAS**

1. Reglamento CIRSOC 301: “Reglamento argentino de estructuras de acero para edificios”; 2005, INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL.
2. Reglamento CIRSOC 304 – “Reglamento argentino para la soldadura de estructuras de acero”; 2007, INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL.
3. AWS D1.1: “Design of welded connections”; 2000, American Welding Society.
4. NASA Technical Memorandum 106943: “Preloaded joint Analysis Methodology for Space Flight System”; 1995, NASA.