

# Análisis Estructural de Tanque Cisterna Semirremolque Fabricado en Aleación de Aluminio para Transporte de Combustibles Líquidos

---

Pablo A. *HORMAZABAL*<sup>(1)</sup>, Bruno E. *GARCIA*<sup>(1)</sup>, Cristian P. *DOMINGUEZ*<sup>(1)</sup>, Germán *FRANCO*<sup>(1)</sup>, Walter F. *GIORDANO*<sup>(1-2)</sup>, Rodrigo *PAZ*<sup>(1-3)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional, Colón 332 – San Nicolás – Buenos Aires – Argentina.

<sup>(2)</sup> Tanques Fangio S.A., Ruta 32, km 2.2 – Pergamino – Buenos Aires – Argentina.

<sup>(3)</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina (CONICET). Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC). Centro Internacional de Métodos Computacionales en Ingeniería (CIMEC) – Güemes 3450, Santa Fe, Argentina. Livermore Software Technology Corp. (California, USA).

E-mail de contacto: gemeco@frsn.utn.edu.ar

## Resumen

---

En este trabajo se estudia el comportamiento estructural de un tanque cisterna semirremolque de aleación de aluminio, fabricado por la firma Tanques Fangio S.A. de la ciudad de Pergamino, provincia de Buenos Aires.

Mediante modelización y análisis a través del método de elementos finitos (FEM), se estudia el diseño 'A' (modelo clásico), para compararlo luego con un diseño 'B' (modelo americano). En ambos casos se estiman los esfuerzos estáticos internos a los cuales se encuentran sometidos los distintos componentes de la estructura del tanque semirremolque, respetando las cargas impuestas por las especificaciones DOT.

La modelización, discretización tridimensional y cálculo FEM permiten abordar a los valores de tensiones y deformaciones presentes en ambos modelos. Se concluye que el modelo 'B' presenta mejor comportamiento estructural lográndose una mejor relación costo-beneficio.

**Palabras Claves:** Análisis Estructural, FEM, Tanque Cisterna, Semirremolque, Especificaciones DOT.

## Abstract

---

The purpose of this project is to analyze the structural behavior of an aluminum alloy cargo tank, manufactured by Tanques Fangio S.A. This company is located in Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

Using 3D modeling and FEM (Finite Elements Method) analysis, two kinds of design were studied, the original design called "A" and a new proposal called "B" (American design). In this research, the static loads over the cargo tank structure were calculated using DOT Code.

The stress level obtained on this analysis has shown a better structural behavior for the design called "B", and a higher cost-benefit ratio.

**Keywords:** Structural Behavior, FEM, Cargo Tank, DOT Specification.

## 1. Introducción y Objetivos

Como antecedente a este proyecto se estudió previamente el comportamiento de la estructura de adaptación del tercer eje en unidades tractoras empleadas en los semirremolques que realiza la empresa “Tanques Fangio S.A.” de la ciudad de Pergamino. Este estudio se cita en las Referencias de este trabajo y fue presentado oportunamente en distintos congresos.

Con el fin de continuar trabajando conjuntamente con la empresa, se decidió estudiar el comportamiento de los tanques cisterna a raíz del surgimiento de una oportunidad de mejora de su diseño. Basándose en el análisis de proyectos similares, citados al final de este trabajo, se comenzó el desarrollo de esta investigación.

El proyecto consiste en la modelización de un tanque semirremolque de aluminio para transporte de combustibles líquidos (nafta, gasoil).

El objetivo que se busca es modelizarlo mediante un software comercial paramétrico para luego someterlo a condiciones de carga similares a las reales, y de esta manera analizar el estado tensional y de deformaciones resultante, que servirá para tomar decisiones en cuanto a la mejora y optimización del diseño.

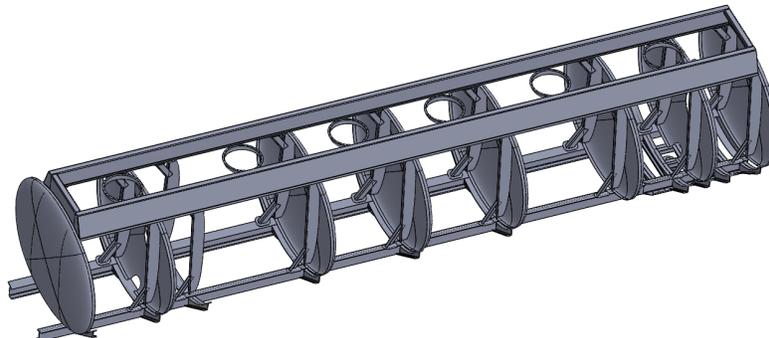
El modelo fue realizado utilizando el software SolidWorks Professional en base a planos constructivos provistos por la empresa Tanques Fangio S.A.. El mismo se aprecia en la figura 1.



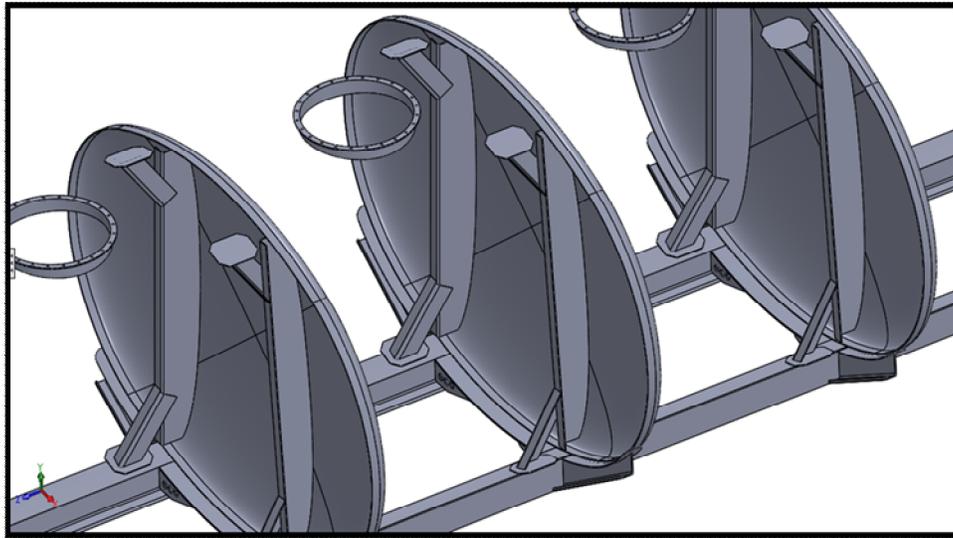
**Figura 1.** Modelo elaborado en SolidWorks

Se tomaron dos modelos que difieren en algunos aspectos constructivos. Se denominará diseño A al modelo original de la empresa (figuras 2 y 3), y diseño B (figura 4) al segundo modelo.

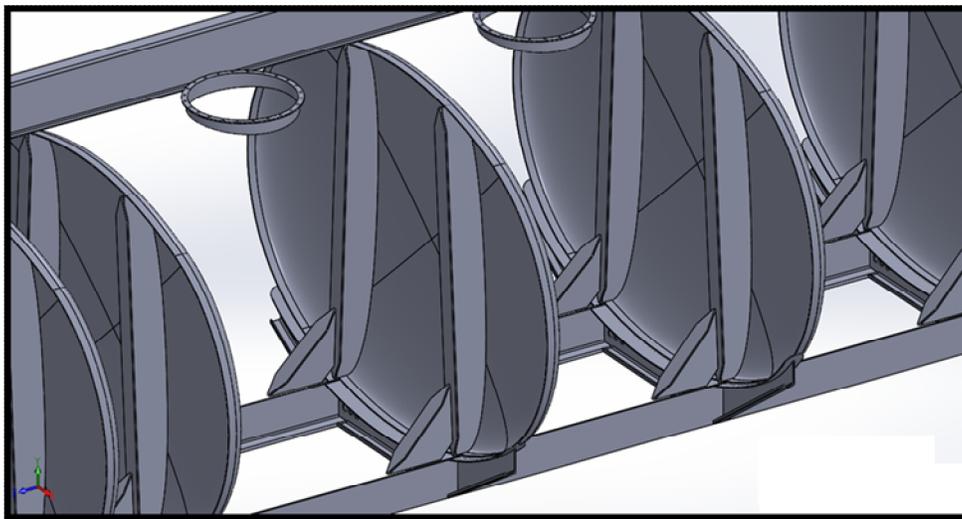
La diferencia entre ambos diseños radica en los rigidizadores de los cabezales, tabiques separadores y rompeolas del tanque, así como en el perfil del falso chasis y refuerzos.



**Figura 2.** Diseño A – Envoltura oculta para apreciación de tabiques y rigidizadores



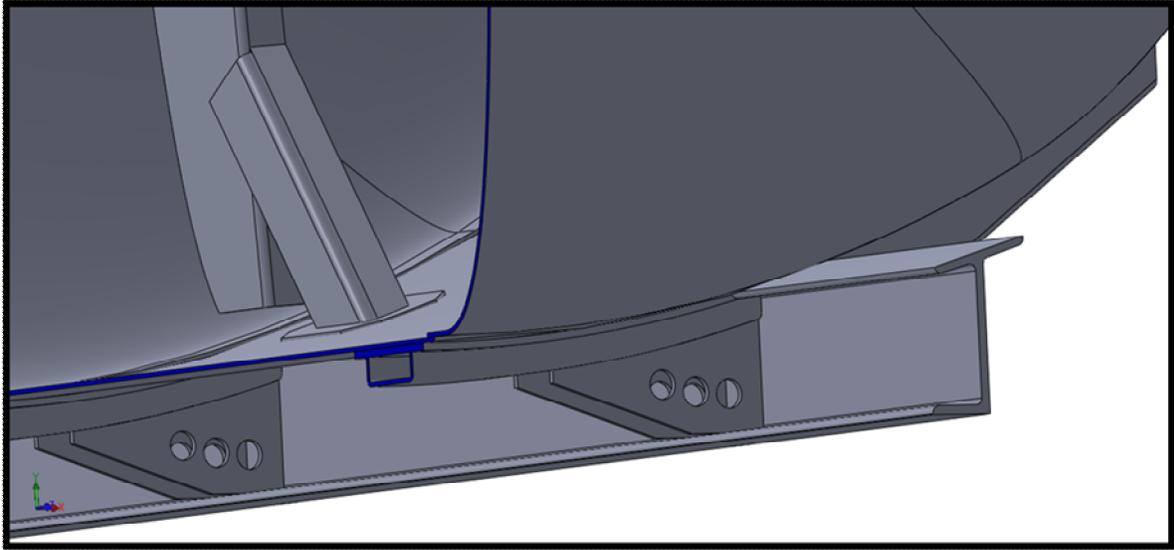
**Figura 3.** Diseño A – Rigidizadores de tabiques



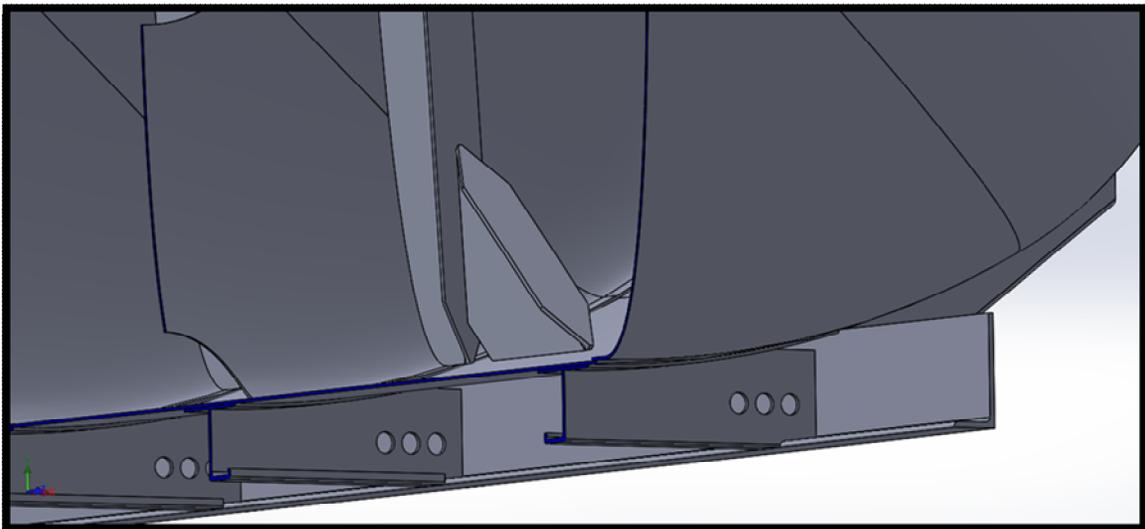
**Figura 4.** Diseño B – Rigidizadores de tabiques

En el diseño A (figura 5), los rigidizadores de tabiques construidos de chapa plegada transmiten el esfuerzo al falso chasis de la estructura (perfil L con apoyo) a través de puntales también conformados en chapa plegada, vinculándose con la envolvente por medio de placas de apoyo (pads).

En el diseño B (figura 6) aquella función es efectuada mediante escudras que apoyan directamente contra la envolvente en la misma línea de acción del falso chasis (perfil L sin apoyo).



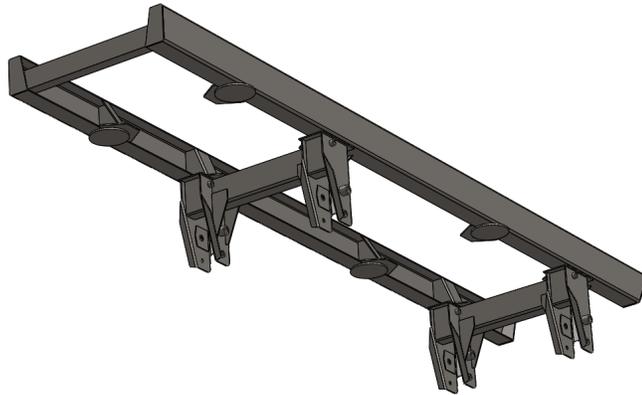
**Figura 5.** Diseño A - Detalle corte longitudinal – Apreciación de falso chasis, escuadras y refuerzos.



**Figura 6.** Diseño B - Detalle corte longitudinal – Apreciación de falso chasis, escuadras y refuerzos.

En la figura 5, diseño A y figura 6, diseño B se observa que los travesaños de refuerzos de falso chasis son diferentes.

Además de modelizar el tanque, se procedió a la modelización del chasis que lo soporta (bogie), a fin de posibilitar luego la colocación de las condiciones de borde correspondientes (figura 7).



**Figura 7.** Chasis semirremolque

## 2. Metodología

Para la modelización por elementos finitos (FEM) se procedió a la discretización de ambos modelos descritos anteriormente, definiendo para ello elementos cuadráticos de alto orden.

Las cargas y condiciones de borde para ambos modelos fueron exactamente las mismas, basándose en los valores recomendados en las especificaciones DOT.

### 2.1. Materiales

El material constitutivo de los tanques es una aleación de aluminio cuya especificación se basa en la EN 5083, mientras que el chasis y planchón de apoyo de la quinta rueda está formado por chapa de acero al carbono IRAM-IAS-U500-42-F-24. Las propiedades mecánicas de la aleación se resumen como sigue: Densidad =2,66 gr/cm<sup>3</sup>; Módulo elástico = 71.000 MPa; Tensión de límite elástico =145 MPa; Valor último de tensión =300 MPa.

### 2.2. Cargas

Las cargas empleadas se basaron en los siguientes datos:

- Peso propio de estructura (tanque de aluminio + chasis de acero).
- Peso debido al combustible contenido en los 6 compartimientos.

Estas cargas, determinadas automáticamente por el software en función de su densidad, fueron afectadas de coeficientes de aceleración dinámica basados en las especificaciones DOT, dados de la siguiente manera (figura 8):

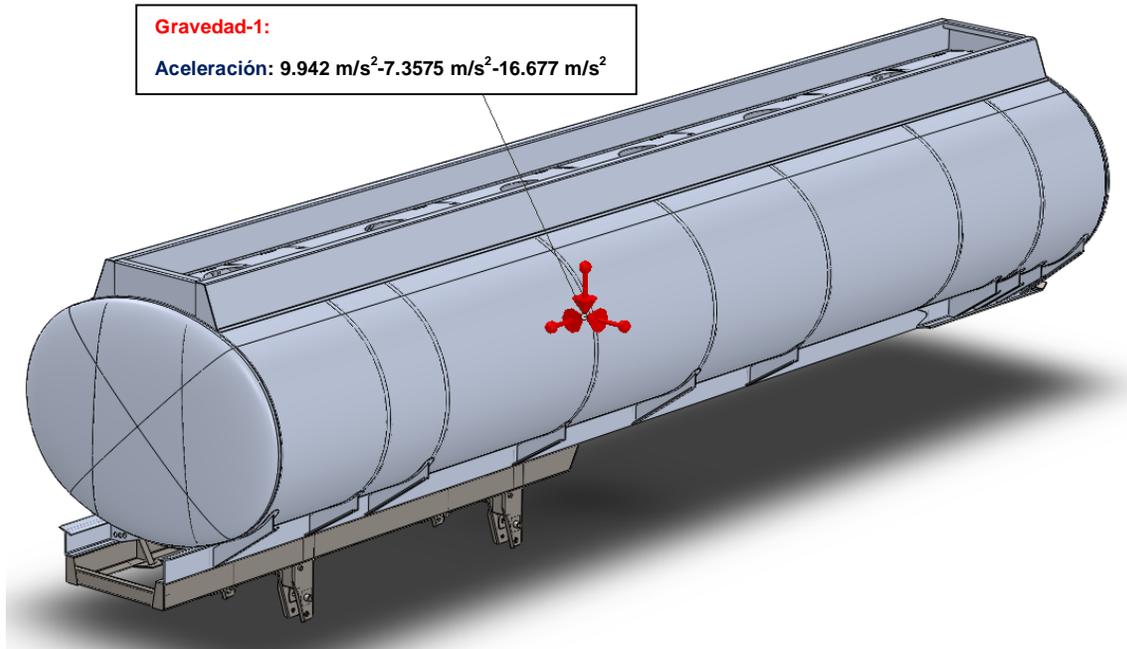
Sentido vertical → 1,7g

Sentido longitudinal → 0,75g

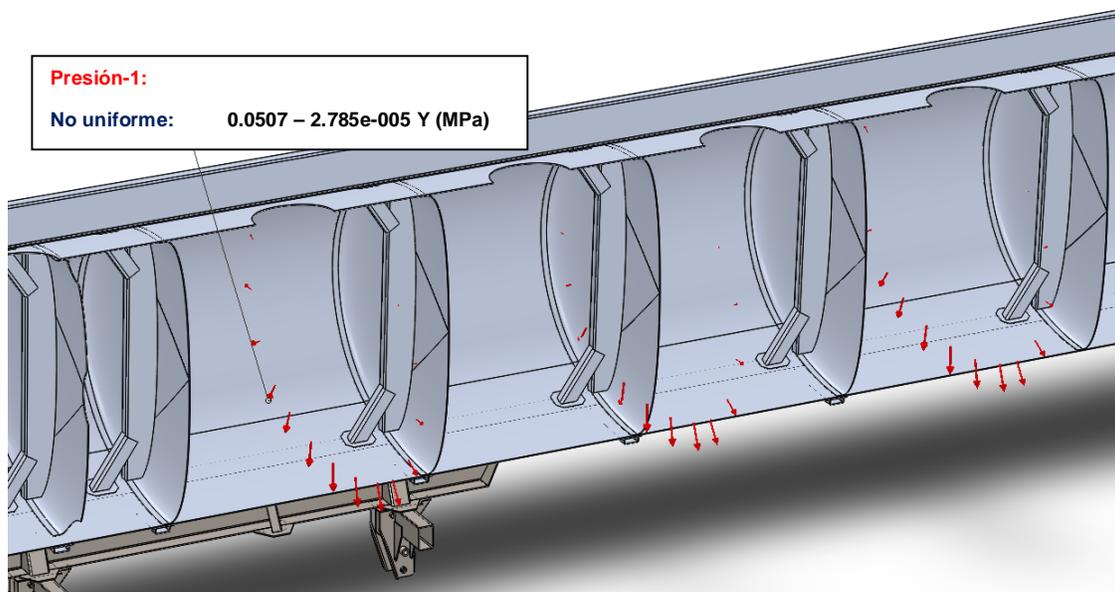
Sentido transversal → 0,4g

Por medio del software SolidWorks se modelizó esta situación a través de cargas inerciales (carga de gravedad), las cuales se fijaron en función de estos coeficientes. Como estas cargas sólo contemplan a la parte estructural, se tuvieron que agregar cargas de presión que simulan la presencia del combustible líquido contenido.

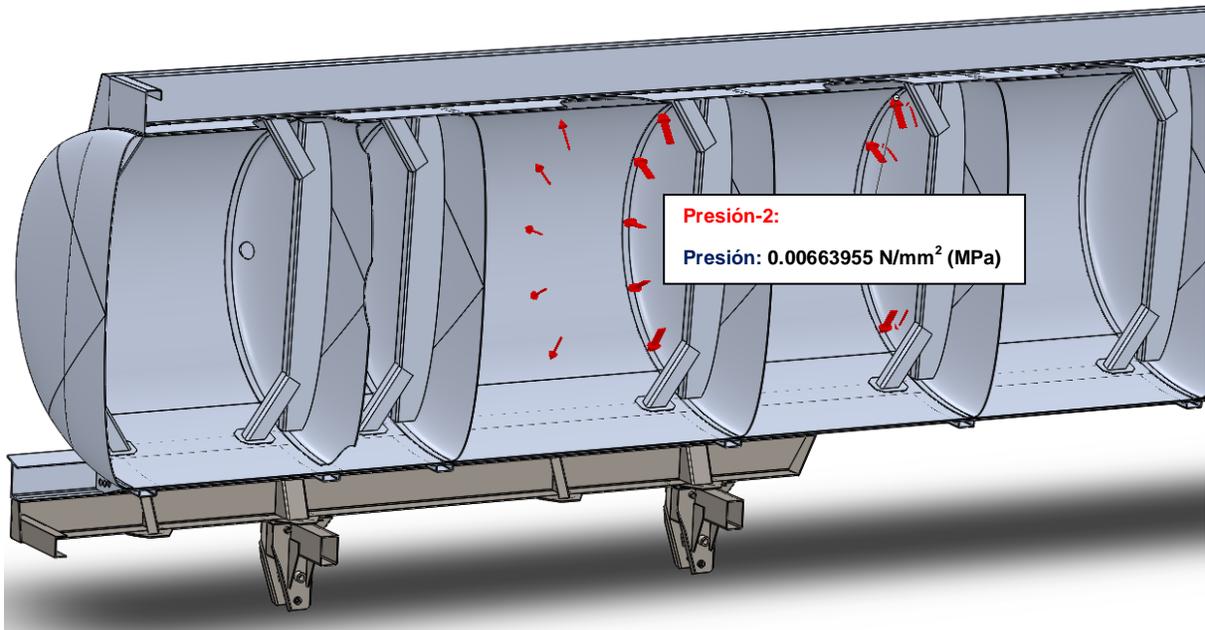
Las cargas se aprecian en las figuras 8, 9, 10 y 11.



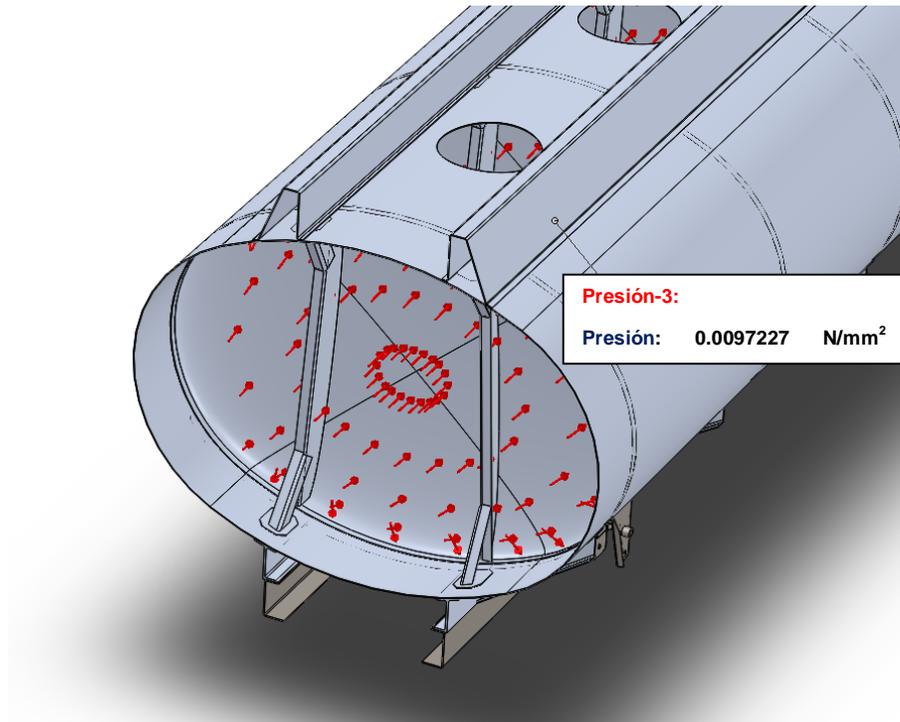
**Figura 8.** Fuerzas inerciales aplicadas a la estructura



**Figura 9.** Fuerza inercial ejercida por el combustible en sentido vertical (1,7g)



**Figura 10.** Fuerza inercial ejercida por el líquido en sentido transversal (0,4 g)



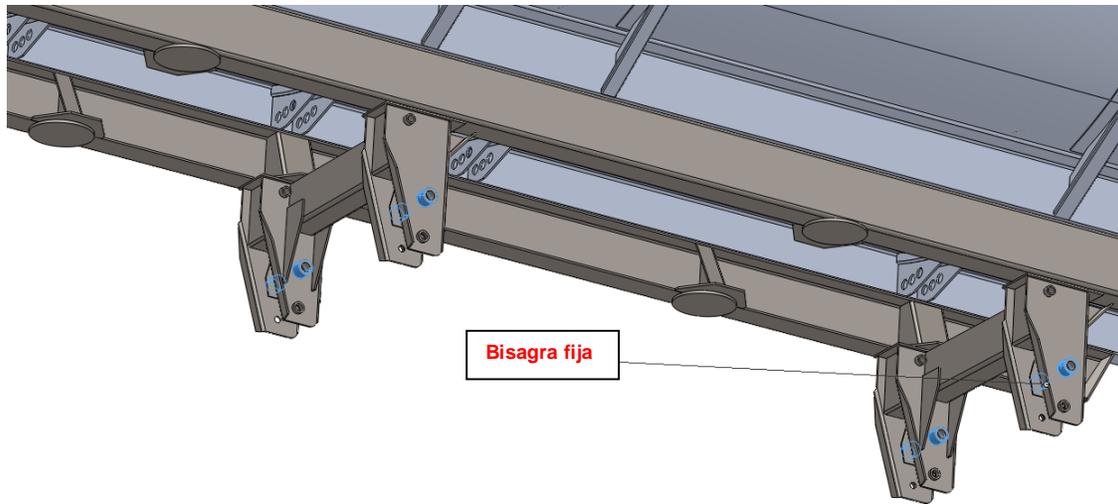
**Figura 11.** Fuerza inercial ejercida por el líquido en sentido longitudinal (0,75 g)

Para la determinación de las cargas de presión se tuvo en cuenta la densidad del combustible líquido y los coeficientes inerciales ya mencionados, así como el volumen de cada compartimento y los valores de área de las secciones afectadas por la presión del fluido.

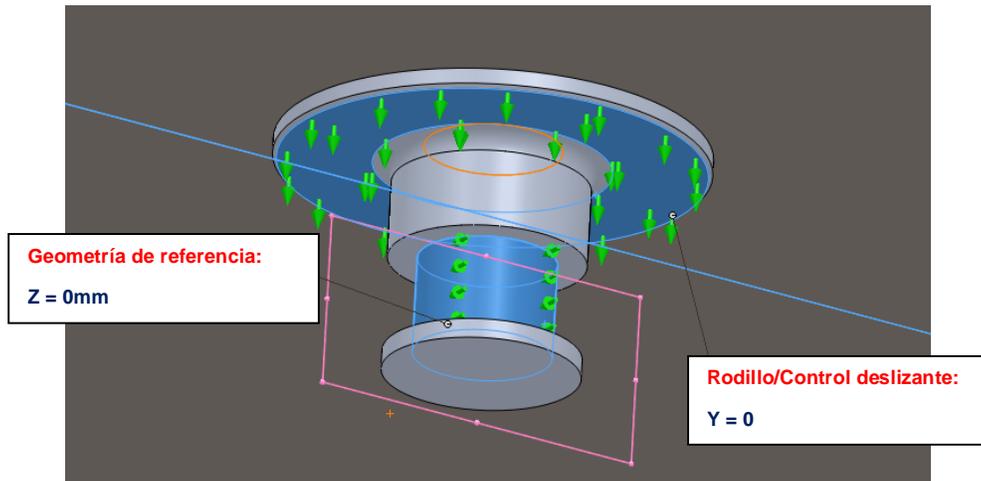
Para el caso de la figura 9 se consideró el gradiente de presión debido a la altura de presión del líquido. Para ello se fijó un sistema coordinado con su origen en el fondo del recipiente. De esta forma la presión es máxima en su origen, decreciendo su valor hasta la superficie, donde éste se anula.

### 2.3. Condiciones de borde

Las condiciones de borde se fijaron según se muestra en las siguientes figuras, estableciéndose restricciones del tipo bisagra fija en los puntos de articulación de las manotas del chasis, donde se vincula con las ballestas (figura 12). En la zona delantera del tanque (perno rey y planchón de arrastre) se fijó una restricción vertical del planchón, otorgándole además al perno rey un solo grado de libertad en sentido longitudinal (figura 13).



**Figura 12.** Restricción de bisagra fija en ejes de articulación con ballestas del chasis

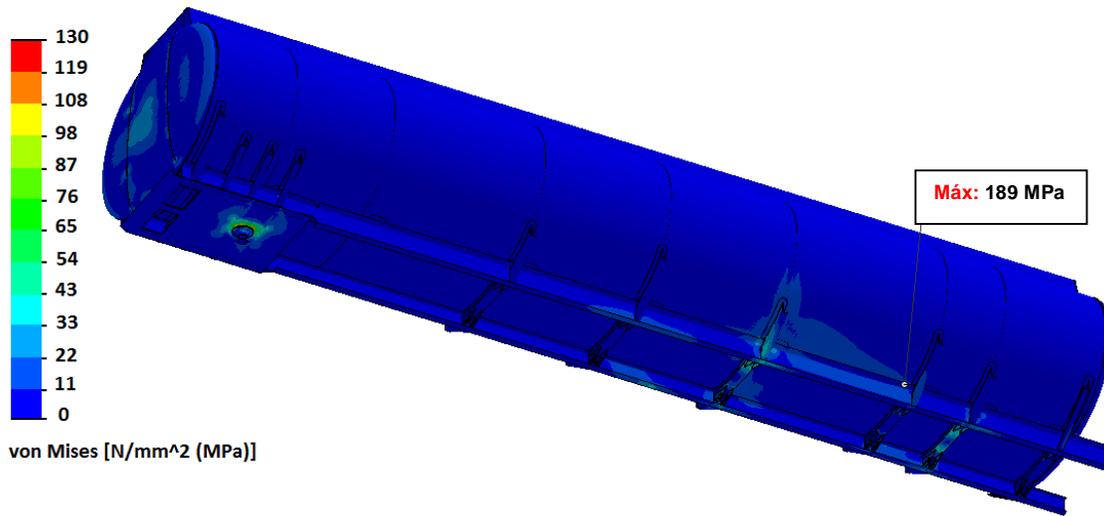


**Figura 13.** Restricción vertical del planchón y restricción transversal del perno

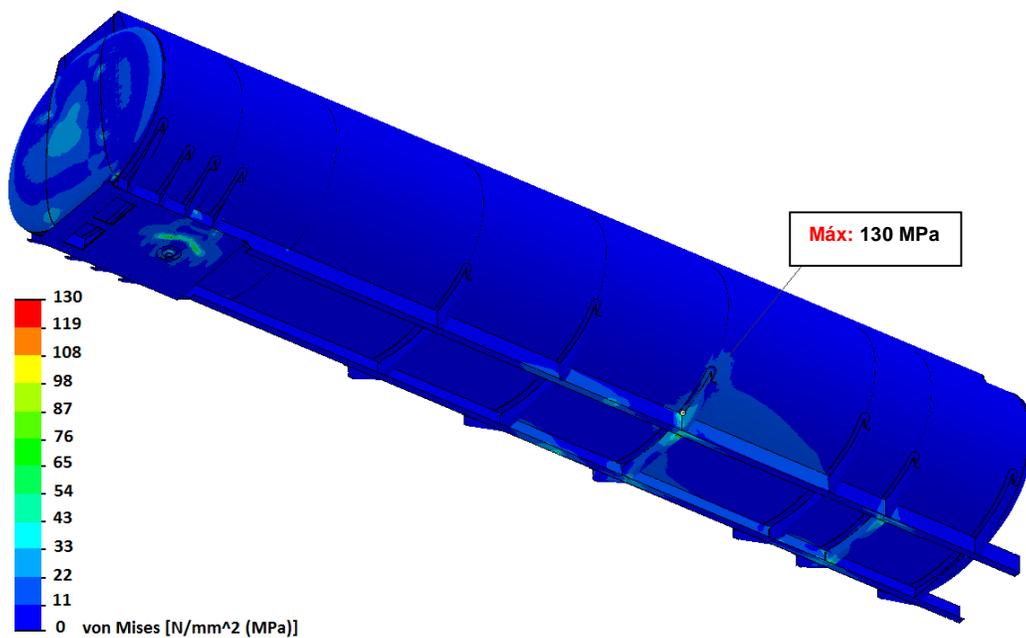
### 3. Resultados y Discusión

Se utilizó un solver del tipo iterativo para la simulación de los estados tensionales y de deformación.

Los resultados se aprecian en las siguientes figuras:

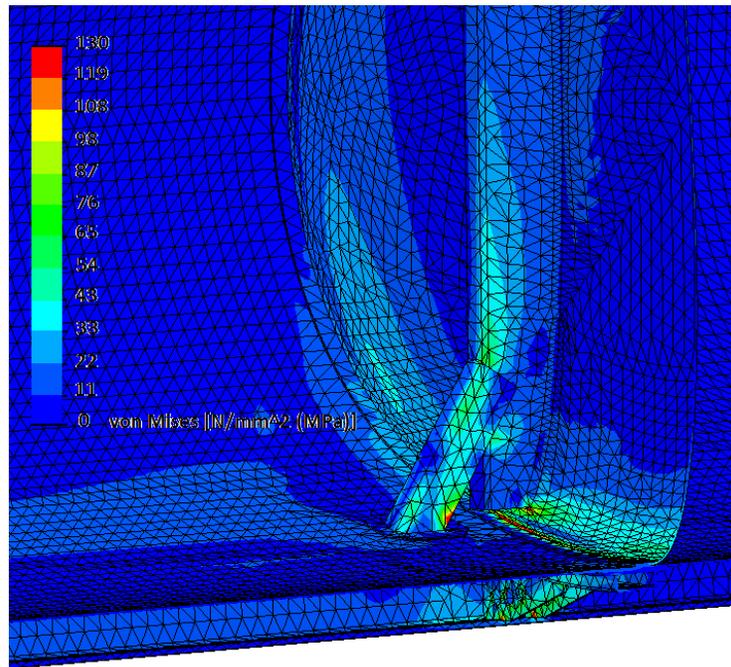


**Figura 14.** Distribución de tensiones de Von Mises – Diseño ‘A’

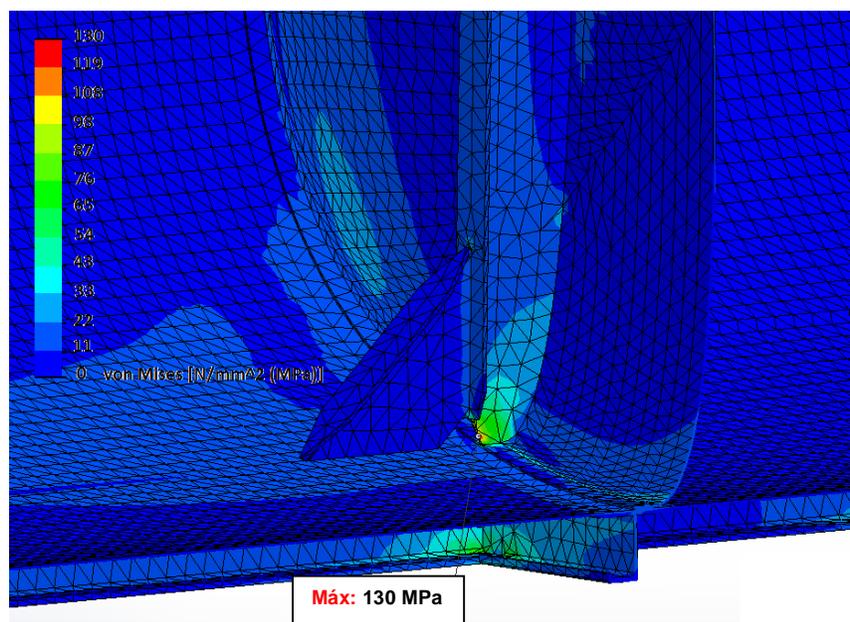


**Figura 15.** Distribución de tensiones de Von Mises – Diseño ‘B’

Se utilizó la misma escala de colores a fin de facilitar la comparación de ambos estados tensionales. Los resultados favorecen al diseño 'B', donde se ha alcanzado una tensión máxima de 130 MPa, mientras que en el diseño 'A' el valor máximo fue de 189 MPa. Respecto a los máximos valores de tensión en las envolventes, se obtuvo que el valor máximo en el diseño 'A' fue de 50 MPa, mientras que en el diseño 'B' fue de 44 MPa. En las siguientes imágenes se aprecia, a través de cortes longitudinales, la distribución de tensiones en sus componentes internos:



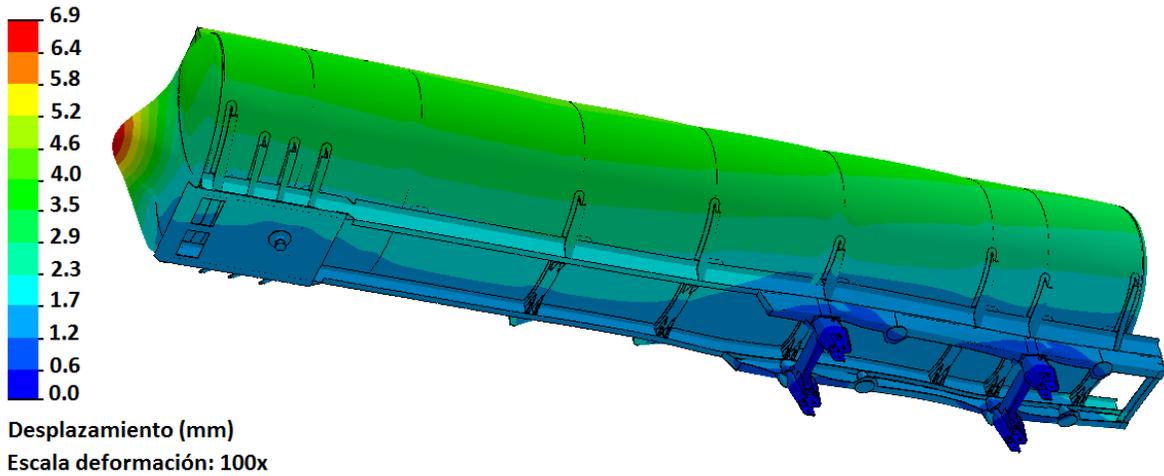
**Figura 16.** Distribución de tensiones en componentes internos – Diseño 'A'



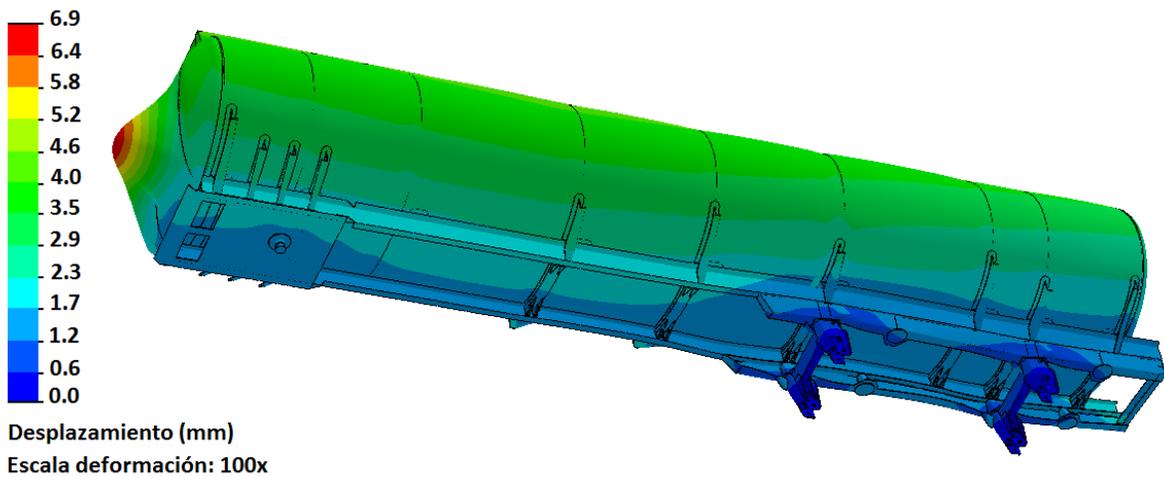
**Figura 17.** Distribución de tensiones en componentes internos – Diseño 'B'

A partir de los resultados anteriores puede concluirse que en el diseño 'A' hay mayores efectos de concentración de tensión respecto al diseño 'B', lo que podría llegar a otorgarle mayor resistencia a la fatiga a éste último respecto al primero.

La distribución de desplazamientos en ambos diseños se aprecia en las siguientes figuras:



**Figura 18.** Distribución de desplazamientos - Diseño 'A'



**Figura 19.** Distribución de desplazamientos – Diseño 'B'

Aquí se hace la observación que en el diseño 'B' los desplazamientos han sido mayores que en el diseño 'A'. La mayor flexibilidad del diseño mejorado respecto al clásico justifican los menores valores de tensión obtenidos.

#### 4. Conclusiones

Como conclusión, a través del estudio computacional de ambos modelos, se pudo determinar qué modelo es más apto para su construcción. El diseño 'B' obtuvo mejor comportamiento mecánico-estructural respecto al diseño clásico 'A' bajo idénticas condiciones de carga impuestas al tomar como referencia las indicadas en las especificaciones DOT.

Vale la aclaración de que las condiciones de carga impuestas en este estudio han resultado más conservadoras que las estipuladas en la normativa mencionada. Esto permite otorgar mayor confiabilidad a la vida útil de los tanques, ya que los resultados obtenidos fueron positivos aun habiéndose extremado las condiciones de carga.

#### Referencias

FRANCK Gerardo, GENNARO Sergio, LONARDI Bruno, EICHHORN José y BRUNO Alejandro (2009). Análisis Dinámico de un Chasis de Semirremolque de Servicio Pesado. Mecánica Computacional Vol XXVIII, págs. 503-517. Ciudad: Tandil, Argentina.

ENRÍQUEZ SÁNCHEZ Andrés Sebastián, SALVADOR RUMAZO Francisco Javier (2014). Diseño y Construcción de un Tanque para Crudo de 13000 litros, con Chasis. Latacunga, Ecuador.

DOMINGUEZ Cristian, FRANCO Neoren Germán, PALLANZA Daniel, GIORDANO Walter, PAZ Rodrigo (2012). Comportamiento de la Estructura de Adaptación del Tercer Eje, Instalada en los Tractores de Semirremolque (Estudio Estático).

DOMINGUEZ Cristian, PALMIERI Fernando, FRANCO Neoren Germán, PALLANZA Daniel, GIORDANO Walter, PAZ Rodrigo (2013). Comportamiento de la Estructura de Adaptación del Tercer Eje, Instalada en Tractores de Semirremolque (Estudio Dinámico). CIBIM 2013 - XI Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica - La Plata, Argentina. COCIM 2012. La Serena, Chile.

Especificaciones DOT: 49 CFR – EEUU: Apartado 178.345, Apartado 178.346, Apartado 178.347, Apartado 178.348.

BPVC Section XII – Rules for Construction and Continued Service of Transport Tanks

IRAM-IAS-U500-42-F-24.

EN 5083.