



ANALISIS ESTRUCTURAL DE BOGIE EN TANQUE CISTERNA SEMIRREMOLQUE

Julián Salafia¹, Pablo A. Hormazábal¹, Bruno E. García¹, Cristian Dominguez¹, Germán Franco¹, Walter Giordano^{*1-2} y Rodrigo Paz¹⁻³

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica - Facultad Regional San Nicolás
Universidad Tecnológica Nacional - Colon 332 - San Nicolás - Buenos Aires, Argentina
e-mail: gemeco@frsn.utn.edu.ar

² Tanque Fangio S.A - Ruta 32 Km. 2,2 Pergamino Buenos Aires Argentina.

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

RESUMEN

El Grupo de Estudio en Mecánica Computacional (GEMeCo) del Departamento Mecánica de la Facultad Regional San Nicolás dependiente de la Universidad Tecnológica Nacional mediante convenio de cooperación mutua con la empresa “Tanques Fangio SA”, dedicada a la fabricación de vehículos de carga para el transporte de combustibles líquidos; tomó como objetivo de trabajo evaluar el comportamiento de la estructura del bogie en tanque cisterna semirremolque.

Un equipo de trabajo de profesionales e investigadores de ambas instituciones, dan forma a este proyecto, que es fruto de trabajos sistemáticos basados en los conocimientos existentes, derivados de la experiencia práctica, aplicadas a necesidades locales de mejora de los bogies ya existentes.

Se estudia el diseño actual estimando los esfuerzos internos a los cuales se encuentran sometidos los distintos componentes, rediseñando, de ser necesario, piezas del equipo; a partir de una relación favorable costo beneficio.

El trabajo se inició analizando la información brindada por la empresa, la experiencia desarrollada por ésta y la búsqueda bibliográfica. Se procedió al análisis de cargas estáticas de la estructura, separando el bogie de sus componentes secundarios, y considerando la carga máxima transportada por el semirremolque.

La modelización y el mallado tridimensional permitieron estimar los esfuerzos internos a los cuales se encuentran sometidos los distintos componentes, mediante la simulación por cálculo de elementos finitos. El procesamiento y la obtención gráfica de resultados permitieron verificar que los valores de tensión se encuentran dentro de los límites permisibles.

Palabras Claves: *Bogie, Análisis Estructural, Semirremolque, Simulación, Elementos Finitos.*



1. INTRODUCCIÓN

Como antecedente a este proyecto se analizó el estado tensional y de deformaciones de dos diseños de tanques semirremolque de aleación de aluminio construidos por 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 un congreso reciente [5].

El bogie es la estructura de chasis que contiene los ejes y ruedas que permiten su traslación. Con el fin de continuar trabajando conjuntamente con la empresa, se decidió estudiar el comportamiento del mismo 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 [1, 2, 3, 4].

El proyecto consiste en la modelización del bogie 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 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. Los modelos del tanque y el bogie se aprecian en la figura 1.



Figura 1. Tanque de semirremolque y bogie

2. METODOLOGÍA

Para la modelización por elementos finitos (FEM) se procedió a la discretización del modelo mediante malla de sólidos, definiendo para ello elementos cuadráticos de alto orden.

En función del tipo de cargas se realizaron dos modelos de malla. Uno para el caso de cargas simétricas y otro modelo para cargas asimétricas (Figuras 2 y 3).



V CAIM 2016

V Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica

XXXIII Reunión Científica Académica Nacional FoDAMI

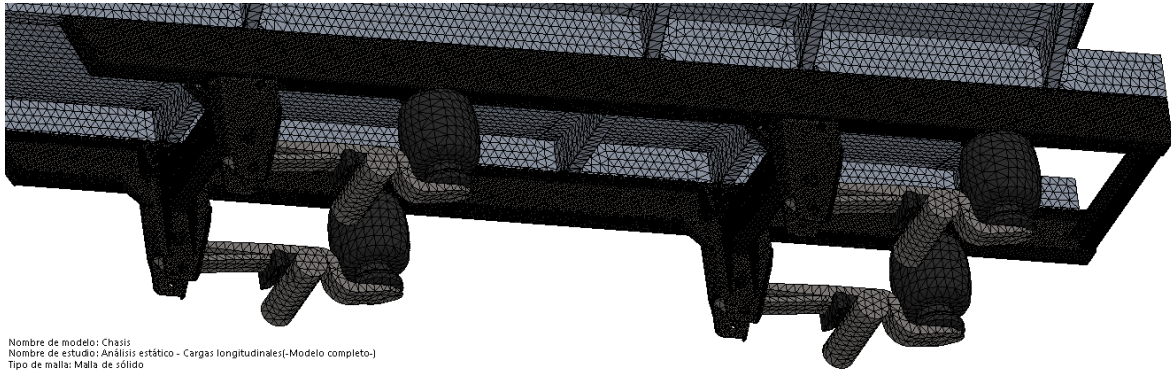
5 al 7 de Octubre de 2016

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



Universidad Nacional de
Santiago del Estero
Facultad de Ciencias
Exactas y Tecnologías
Santiago del Estero - República Argentina



Nombre de modelo: Chasis
Nombre de estudio: Análisis estático - Cargas longitudinales(-Modelo completo-)
Tipo de malla: Malla de sólido

Figura 2. Malla de sólido de modelo completo

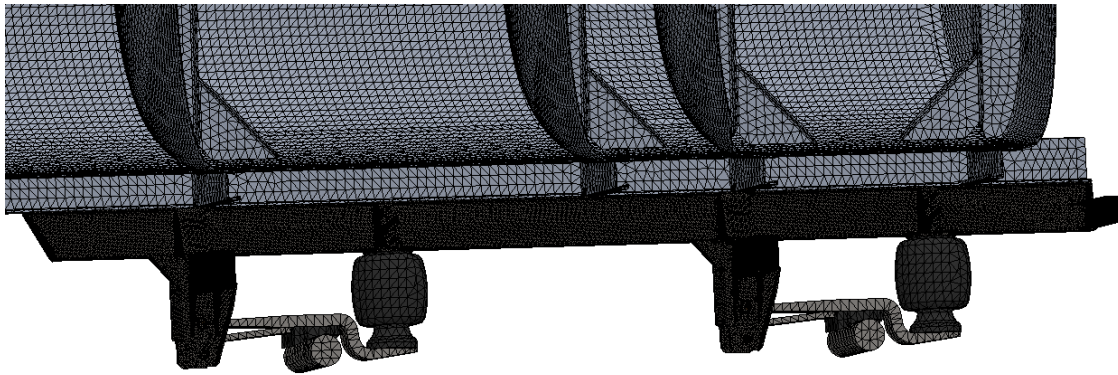


Figura 3. Malla de sólido de mitad simétrica del modelo

Las cargas y condiciones de borde para ambos modelos se colocaron basándose en los valores recomendados en las especificaciones DOT [6].

El mallado del tanque de aluminio propiamente dicho fue realizado únicamente a los fines de colocar las cargas, y sólo interesa el modo en que transmite las mismas al bogie, por lo que se utilizó un mallado relativamente grueso para el mismo (40mm) y se aplicó un control de mallado en el chasis (10mm) con un cociente de aspecto de sus elementos de 1,4 a fin de obtener valores de tensión precisos.

2.1. Materiales

El material constitutivo de los tanques es una aleación de aluminio cuya especificación se basa en la EN 5083 [9], mientras que el chasis y planchón de apoyo de la quinta rueda está formado por chapa de acero al carbono ASTM A-36 [8]. Las propiedades mecánicas del acero utilizado para el bogie se resumen como sigue: Densidad = 7,85 gr/cm³; Módulo elástico = 201 GPa; Tensión de límite elástico = 250 MPa; Tensión límite de rotura = 410 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 líquido 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 [6], 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.

Los tres estados de carga se simularon en tres situaciones diferentes.

A) Cargas verticales puras, incrementadas un 70%.

B) Cargas longitudinales, debido a cargas de desaceleración (0,75g) + cargas verticales por gravedad (1g).

C) Cargas transversales, debido a efectos dinámicos durante viraje del vehículo (0,4g) + cargas verticales por gravedad (1g).

Las cargas se aprecian en las figuras 4, 5, 6 y 7.

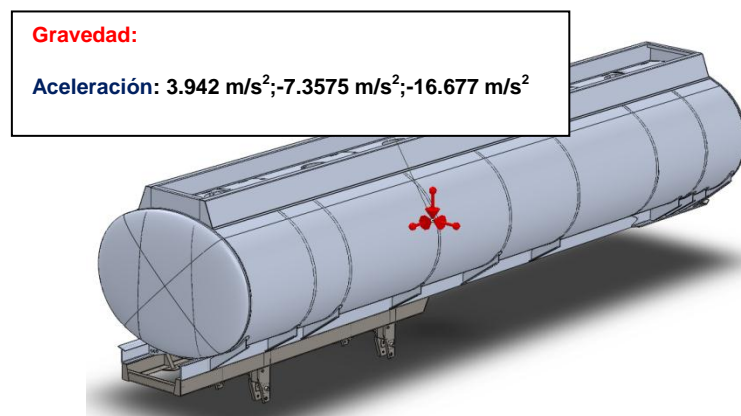


Figura 4. Fuerzas inerciales aplicadas a la estructura



V CAIM 2016

V Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica

XXXIII Reunión Científica Académica Nacional FoDAMI

5 al 7 de Octubre de 2016

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



Universidad Nacional de
Santiago del Estero
Facultad de Ciencias
Exactas y Tecnologías
Santiago del Estero - República Argentina

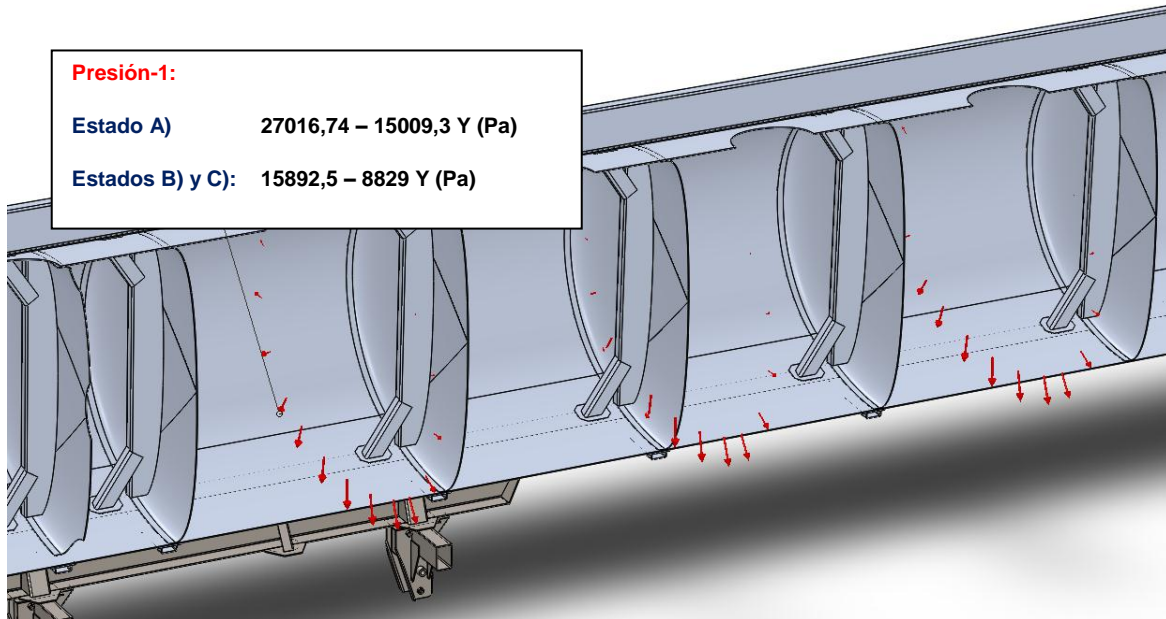


Figura 5. Fuerza inercial ejercida por el combustible en sentido vertical (1,7g)

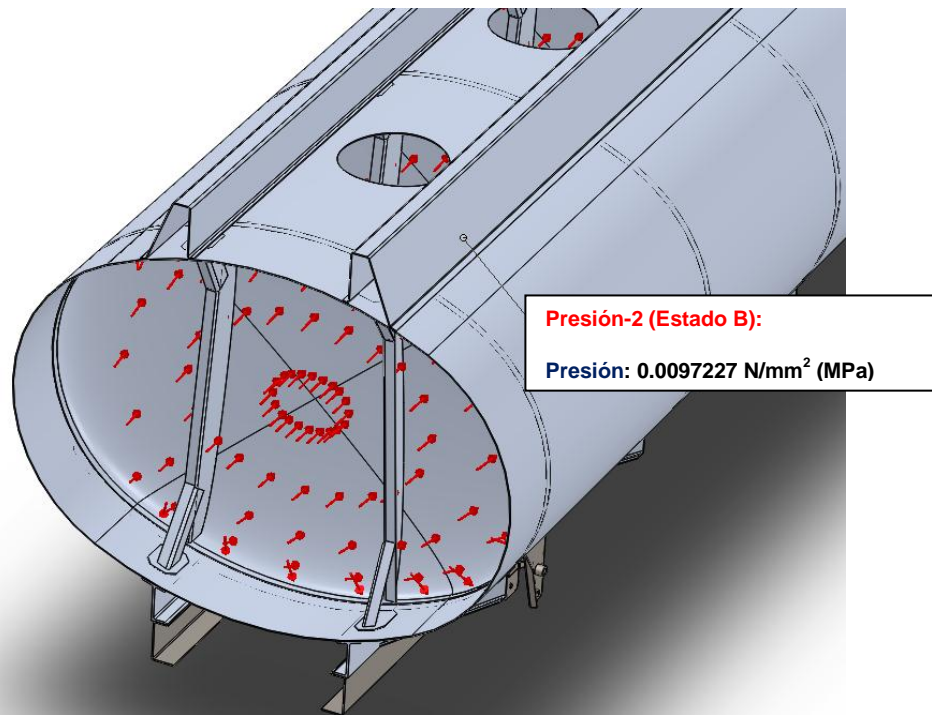


Figura 6. Fuerza inercial ejercida por el líquido en sentido longitudinal (0,75 g)



V CAIM 2016

V Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica

XXXIII Reunión Científica Académica Nacional FoDAMI

5 al 7 de Octubre de 2016

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



Universidad Nacional de
Santiago del Estero
Facultad de Ciencias
Exactas y Tecnologías
Santiago del Estero - República Argentina

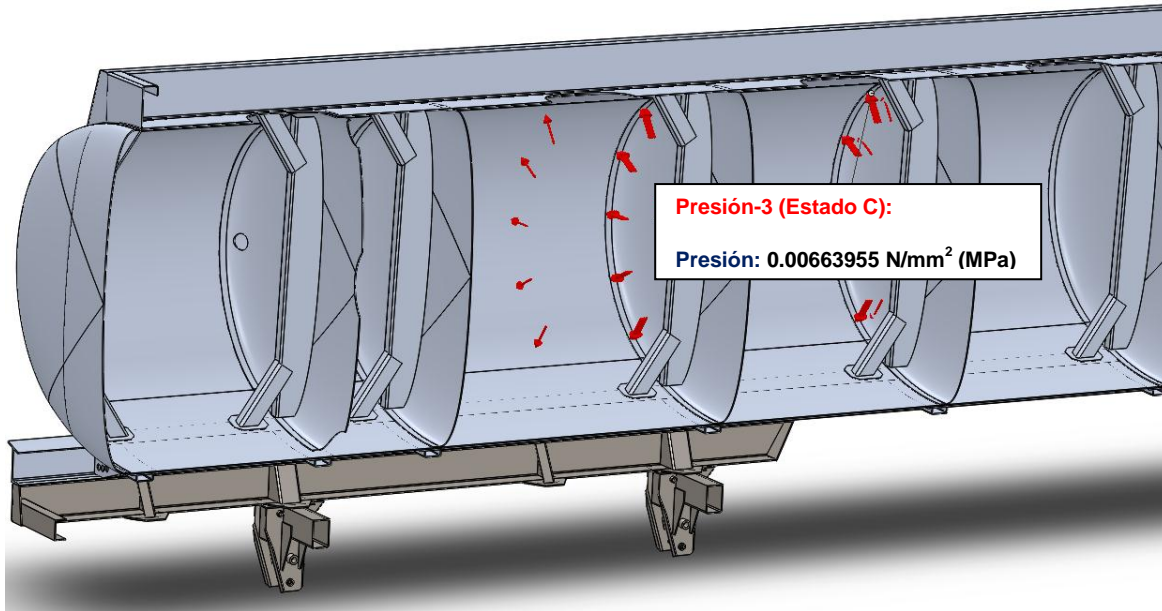


Figura 7. Fuerza inercial ejercida por el líquido en sentido transversal (0,4 g)

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 compartimiento y los valores de área de las secciones afectadas por la presión del fluido.

Para el caso de la figura 5 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, y su valor decrece linealmente hasta la superficie, donde ésta se anula.

2.3. Condiciones de borde

Las condiciones de borde se fijaron según se muestra en las figuras 8 y 9, estableciéndose restricciones fijas a los ejes de las ruedas. En la zona delantera del tanque (perno rey y planchón de arrastre) se fijó una restricción vertical del planchón y una del tipo de bisagra fija al perno rey.

Para el estado de cargas 'A' se tomó la mitad del modelo (cortada con un plano longitudinal vertical) y se asignó una condición de rodillo a todas las superficies cortadas que restringe grados de libertad de rotación de las caras cortadas y su traslación en sentido normal al plano. De esta manera se logra obtener una malla con la mitad de elementos.



V CAIM 2016

V Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica

XXXIII Reunión Científica Académica Nacional FoDAMI

5 al 7 de Octubre de 2016

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



Universidad Nacional de
Santiago del Estero
Facultad de Ciencias
Exactas y Tecnologías
Santiago del Estero - República Argentina

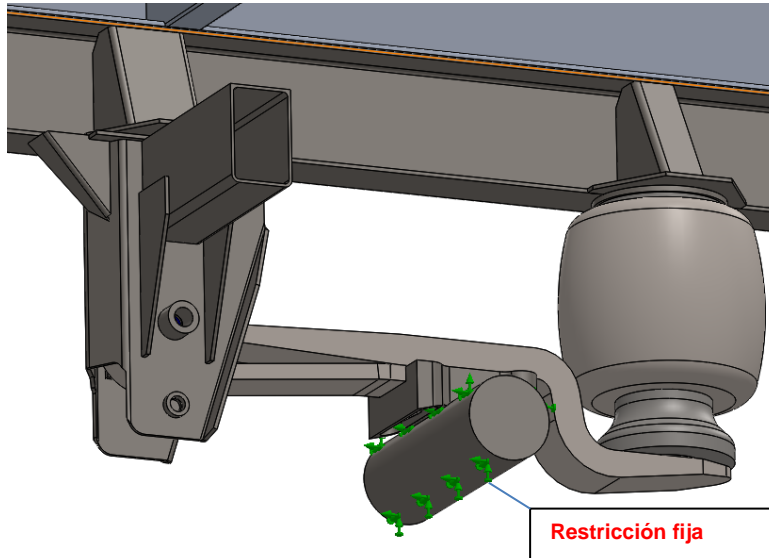


Figura 81. Restricción fija en eje de rueda

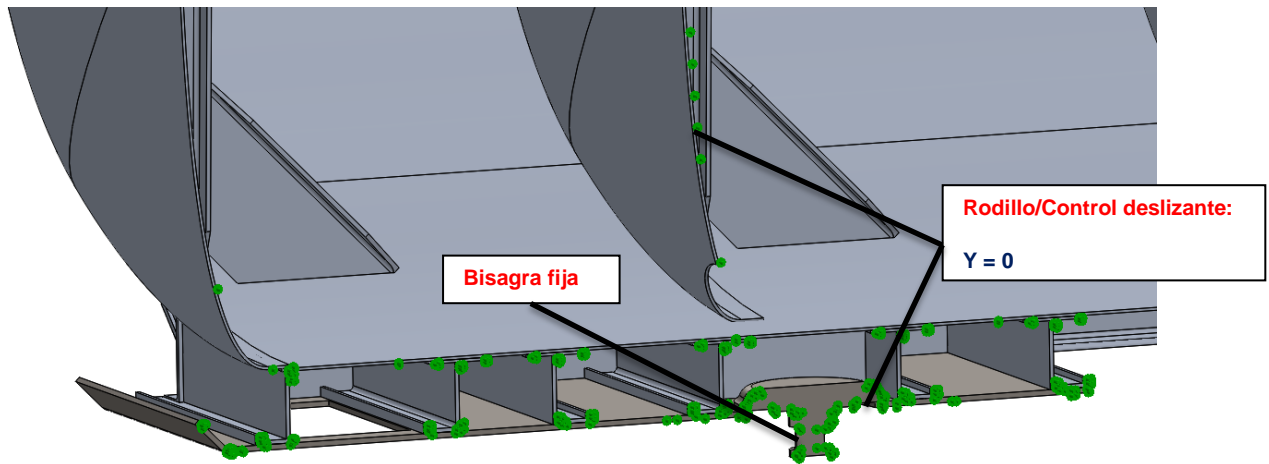


Figura 9. Restricción vertical del planchón de arrastre, restricción de traslación del perno rey y restricción de traslación normal de las caras de simetría

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

Los resultados se aprecian en las siguientes figuras:



Nombre de modelo: Chasis
Nombre de estudio: Análisis estático - Cargas verticales-(Mitad simétrica)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

von Mises (N/mm² (MPa))

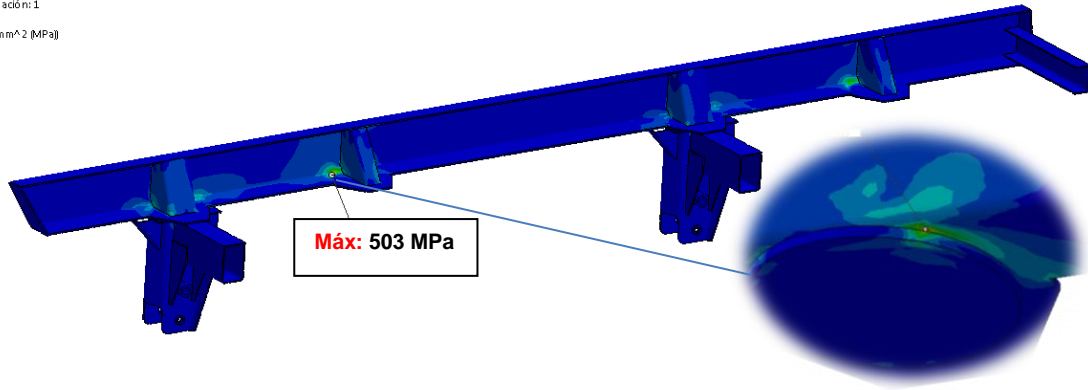
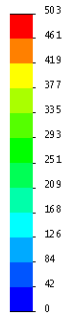


Figura 10. Distribución de tensiones de Von Mises – Estado de cargas ‘A’

Nombre de modelo: Chasis
Nombre de estudio: Análisis estático - Cargas longitudinales-Modelo completo-
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 50

von Mises (N/mm² (MPa))

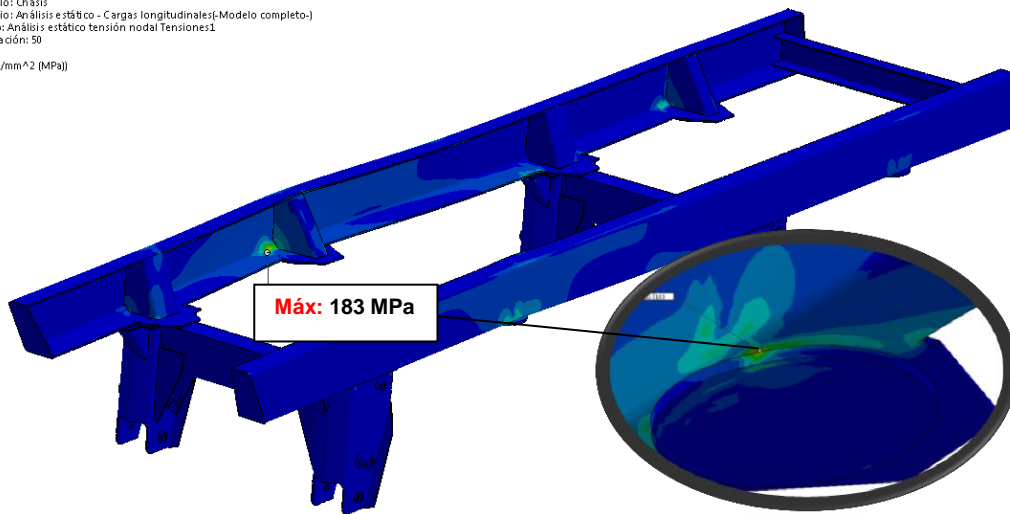
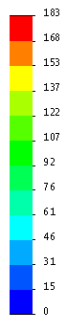


Figura 11. Distribución de tensiones de Von Mises – Estado de cargas ‘B’

Nombre de modelo: Chasis
Nombre de estudio: Análisis estático - Cargas transversales-Modelo completo-
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 50

von Mises (N/mm² (MPa))

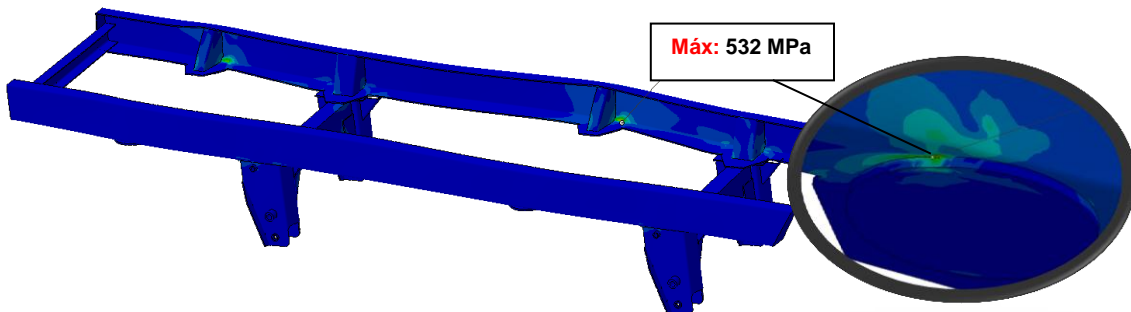
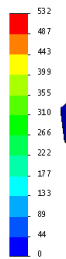


Figura 12. Distribución de tensiones de Von Mises – Estado de cargas ‘C’



V CAIM 2016

V Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica

XXXIII Reunión Científica Académica Nacional FoDAMI

5 al 7 de Octubre de 2016

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



Universidad Nacional de
Santiago del Estero
Facultad de Ciencias
Exactas y Tecnologías
Santiago del Estero - República Argentina

Como observa, los valores máximos de tensión, si bien corresponden a zonas puntuales localizadas, superan los valores límites de rotura del material, exceptuando el caso 'B'.

Por ello se reemplazaron algunos componentes de la estructura del chasis con el objetivo de minimizar estos valores y optimizar el diseño del mismo (Figura 13).

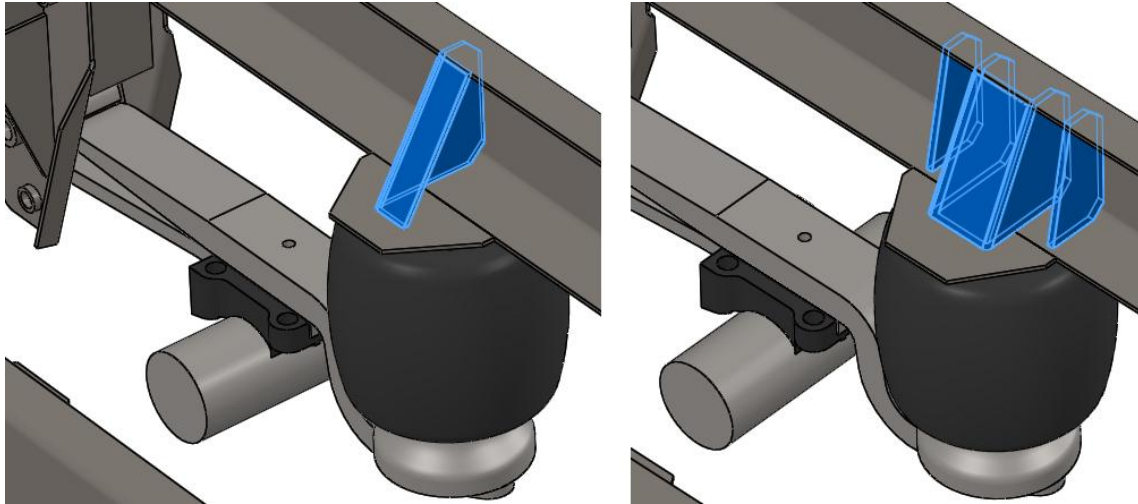


Figura 13. Reemplazo de componentes para refuerzo de estructura

El análisis se repitió para los tres estados de carga, arribando a las soluciones que se observan en las siguientes imágenes.

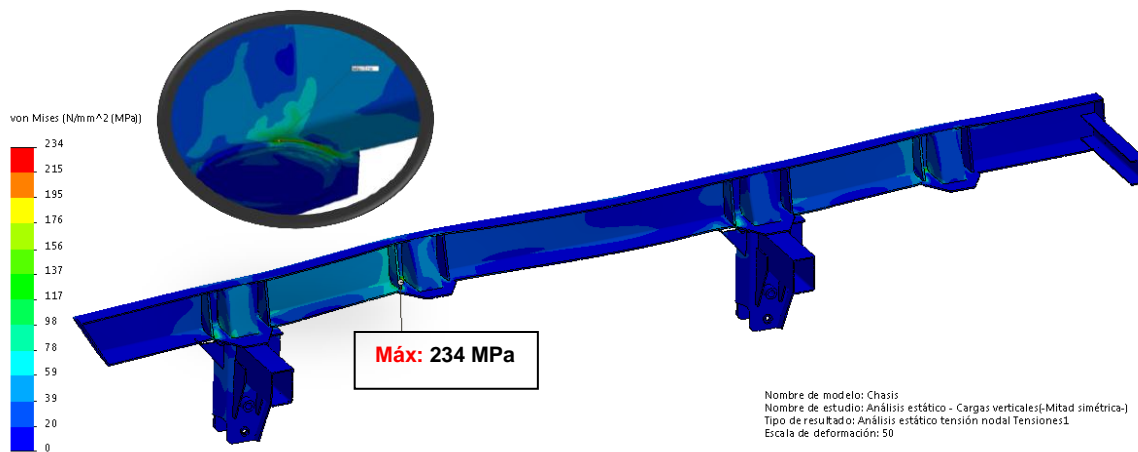


Figura 14. Distribución de tensiones de Von Mises – Estado de cargas 'A'



Nombre de modelo: Chasis
Nombre de estudio: Análisis estático - Cargas longitudinales(-Modelo completo-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 50

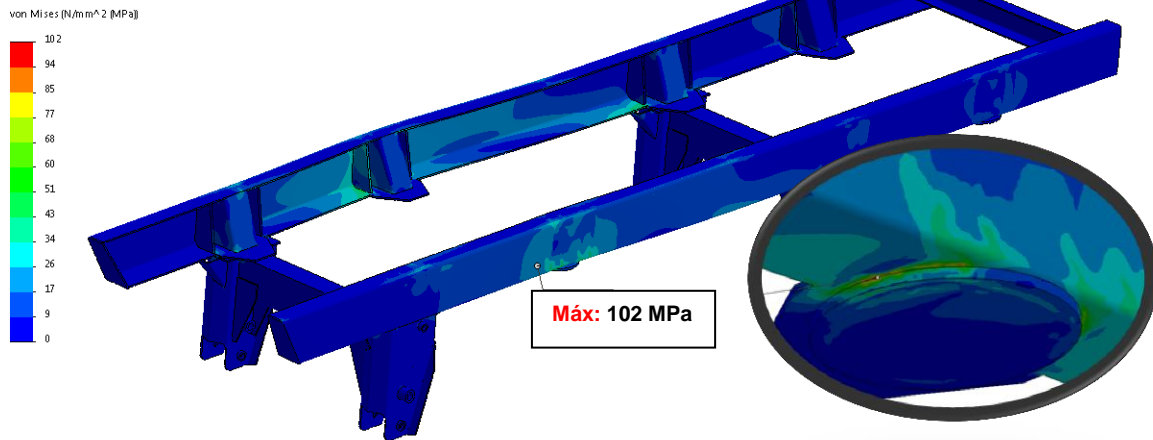


Figura 15. Distribución de tensiones de Von Mises – Estado de cargas ‘B’

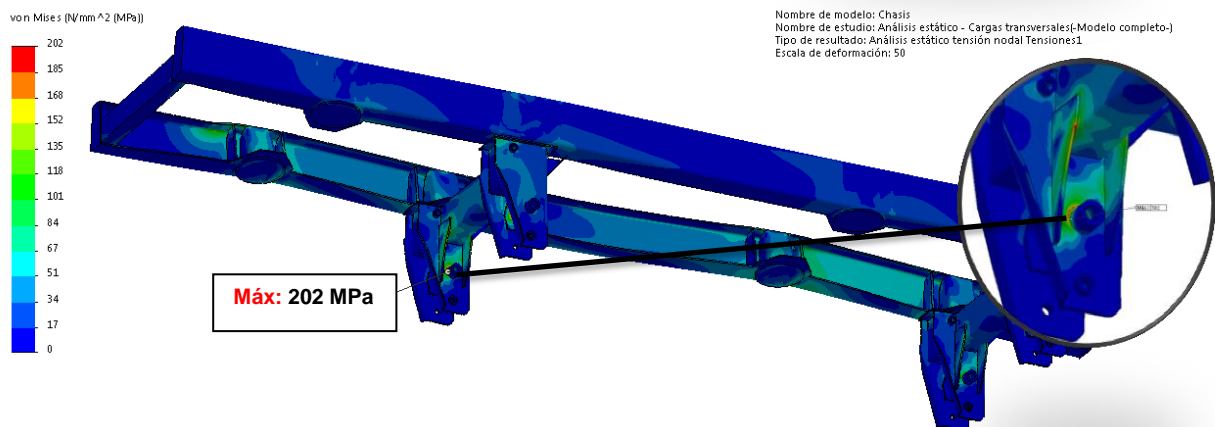


Figura 16. Distribución de tensiones de Von Mises – Estado de cargas ‘C’

A partir de los resultados anteriores puede concluirse que los refuerzos propuestos resultaron en una disminución considerable de las tensiones máximas, obteniéndose picos de tensión con valores por debajo de los límites de fluencia del material, minimizando las posibilidades de falla por fatiga de sus componentes y, por ende, incrementando sustancialmente su vida útil.

4. CONCLUSIONES

Como conclusión, a través del análisis computacional del modelo para diferentes estados de carga, se pudo determinar que se lograría un incremento elevado de la vida útil del bogie estudiado. Los valores máximos de tensión (por picos de concentración) resultan inferiores a los valores límite de



fluencia 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 respecto a la vida útil de los bogies, ya que los resultados obtenidos fueron positivos aun habiéndose extremado las condiciones de carga.

5. REFERENCIAS

- [1] Franck G., Gennaro S., Lonardi B., Eichhorn J., Bruno A. *Análisis Dinámico de un Chasis de Semirremolque de Servicio Pesado*. Mecánica Computacional Vol XXVIII, págs. 503-517. Tandil, Argentina. 2009.
- [2] Enríquez Sánchez A., Salvador Rumazo F. *Diseño y Construcción de un Tanque para Crudo de 13000 litros, con Chasis*. Latacunga, Ecuador. 2014.
- [3] Domínguez C., Franco N., Pallanza D., Giordano W., Paz R. *Comportamiento de la Estructura de Adaptación del Tercer Eje, Instalada en los Tractores de Semirremolque (Estudio Estático)*. COCIM 2012. La Serena, Chile.
- [4] Domínguez C., Palmieri F., Franco N., Pallanza D., Giordano W., Paz R. *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.
- [5] Domínguez C., Franco N., Giordano W., García B., Hormazabal P., Paz R. *Análisis Estructural de Tanque Cisterna Semirremolque Fabricado en Aleación de Aluminio para Transporte de Combustibles Líquidos*. CIPP 2016 – Congreso de Ingeniería de Procesos y Productos – Rosario, Argentina.
- [6] Especificaciones DOT: 49 CFR – EEUU: Apartado 178.345, Apartado 178.346, Apartado 178.347, Apartado 178.348.
- [7] BPVC Section XII – Rules for Construction and Continued Service of Transport Tanks.
- [8] Norma ASTM A36. Especificación normalizada para acero al carbono estructural. <http://www.astm.org/Standards/A36>
- [9] Especificación EN 5083. Propiedades de aleación de aluminio. http://gleich.de/files/en_aw_5083.esp.pdf