

COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE ADAPTACIÓN DEL TERCER EJE, INSTALADA EN TRACTORES DE SEMIRREMOLQUE

**Cristian Domínguez¹, Fernando Palmieri¹, Neoren Germán Franco¹, Daniel Pallanza¹, Walter Giordano¹⁻²,
Rodrigo R. Paz¹⁻³**

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

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

3- 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 (CIIMEC), Güemes 3450, Santa Fe, Argentina. Livermore Software Technology Corp.(California, USA)

Palabras clave: Estructura, Adaptación de tercer eje, Tractores, Semirremolque.

Resumen

El Grupo de Estudio en Mecánica Computacional (Gemeco) del departamento Mecánica de la Facultad Regional San Nicolás dependiente de la Universidad Tecnológica Nacional, tomó como objetivo de trabajo evaluar el comportamiento dinámico de la estructura de adaptación del tercer eje de industria nacional instalada actualmente en los tractores de semirremolque que realiza la empresa "Tanques Fangio SA". Esta estructura permite sumar un eje a una unidad tractora de cargas y aumentar su capacidad.

En un trabajo previo se determinaron los esfuerzos que experimenta el chasis de la unidad que ha sido dotado del tercer eje, por la acción de las cargas en forma estática. En este trabajo se completa el estudio con los resultados del análisis de la estructura sometida a la acción dinámica que se produce al rodar la unidad sobre una calzada con un determinado tipo de imperfecciones.

Sobre el modelo de estudio se procede al análisis dinámico de la estructura, se separa el chasis de sus componentes secundarios y se considera la incidencia de la carga transportada sobre plato de enganche; se genera el modelo matemático del sistema y se los somete a un estímulo que equivale al impacto de una de sus ruedas duales del tercer eje, con un escalón. A partir de este estudio se estiman los esfuerzos internos a los cuales se encuentran sometidos los componentes del sistema de adaptación del tercer eje, así como la estructura del vehículo.

Se realiza la comparación entre la unidad tractora original y la unidad que ha sido reformada. Se valora el diseño actual del sistema del tercer eje, mediante la información brindada y experiencia desarrollada por la empresa y el análisis de dicha estructura de adaptación. La modelización, la discretización y el procesamiento por software permiten, estimar los esfuerzos internos de la estructura, mediante el cálculo por elementos finitos. La obtención gráfica de resultados permite verificar que los valores de tensiones y deformaciones, están dentro de los valores permisibles.

1. Introducción

Uno de los mayores desafíos de la empresa Tanques Fangio, es abastecer la demanda creciente de construcción e instalación de las adaptaciones de tercer eje incorporadas a los tractores de semirremolques, como así también incrementar la vida útil de los componentes auxiliares, mejorar los procesos de diseño, fabricación y prestaciones de los equipos, incorporando nuevos materiales, utilizando herramientas computacionales que permitan acelerar los procesos y lograr diseños más resistentes y confiables de menor peso.

El principal objetivo es optimizar los equipos de tal manera que los costos de las unidades sean razonables para sus clientes; respetando siempre las normativas vigentes en el país sobre la configuración y peso total en vehículos de transporte de carga establecidas por la Ley 24.449 y las reglamentaciones de los Decretos: 779/95 y 79/98 y la Resolución de la Secretaría de Transporte 497/94; Estas normativas se han resumido en las tablas 1 y 2 para el caso particular de una unidad tractora de semirremolque.

En un trabajo previo que ha desarrollado conjuntamente con la empresa Tanques Fangio [1], se llegó a determinar los esfuerzos estáticos que experimenta el chasis de una unidad tractora Mercedes Benz Mod. LS 1634/45 dotada de tercer eje; encontrándose estos, dentro de los valores permisibles de tensiones, deformaciones y factor de seguridad de diseño aceptable.




Complementando el caso estudiado anteriormente, se evaluará aquí el comportamiento dinámico de la unidad tractora. El informe comenzara describiendo el modelo de estudio, sus características geométricas, la estructura de adaptación de tercer eje y los materiales involucrados.

Luego se analizará la estructura sometida a la acción dinámica que se produce ante la colisión con un obstáculo. Mediante un modelo matemático discreto se determinan las cargas y luego usando un programa de simulación por elementos finitos del chasis, se evalúan las zonas críticas con mayor sollicitación de tensiones – deformaciones; concluyéndose con resultados de valores admisibles para este tipo de adaptación.

Tabla 1. Pesos Máximos Permitidos por Ejes.

 Dos Ruedas SIMPLE 6 Toneladas EJE SIMPLE 2 R.	 Cuatro Ruedas DUAL 10,5 Toneladas UN SOLO EJE 4 R.	 Min. 1,20 m - Máx. 2,40 m DUAL - DUAL 18 Toneladas TANDEM DOBLE 8 R.
--	---	---

Tabla 2. Pesos Máximos Permitidos en función de la Configuración de Ejes.

Tipo de Vehículo	Conf.	Dimensiones Máx. (Metros)			Peso Bruto Máx. (Ton.f)
		Largo	Ancho	Alto	
	S - 1 D - 2 D - 2	18,60	2,60	4,10	42,00
	S - 1 D - 2 D - 1 D - 1	Tot = 18,60 Dist E./Ejes > 2,40	2,60	4,10	45,00
	S - 1 D - 2	18,60	2,60	4,10	45,00
SUPERANCHA - 3					

2. Modelo de Estudio

Como se anticipara en el párrafo anterior, el modelo de estudio corresponde al chasis de la unidad tractora Mercedes Benz Mod. LS 1634/45 con estructura de tercer eje incorporada, fijada al tractor mediante soldadura y buhonería, figura 1.

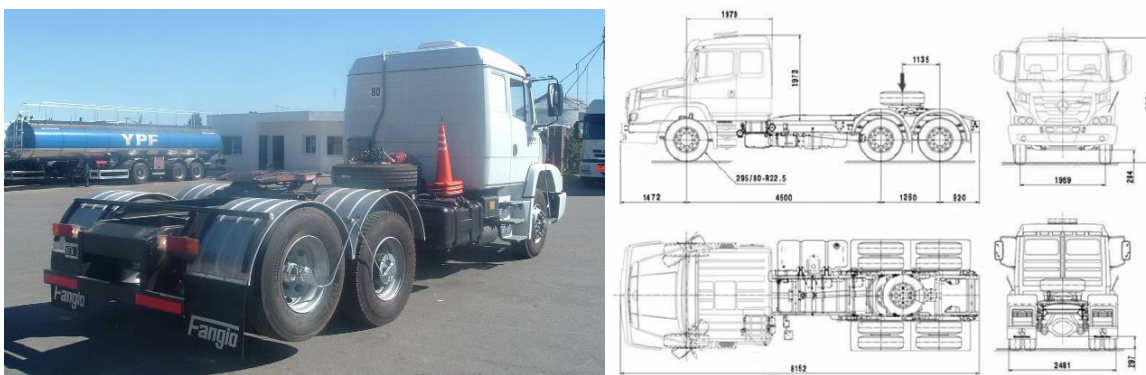
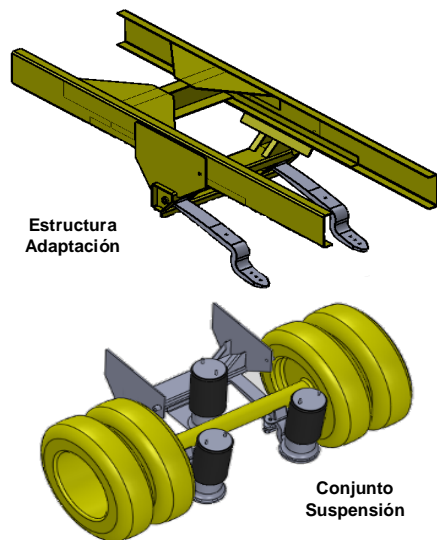


Figura 1: Tractor Mercedes Benz LS 1634/45 con Estructura de Adaptación de Tercer Eje

En la figura 2 se presenta de manera aislada la estructura de adaptación de tercer eje; Taques Fangio fabrica la misma mediante conformado - plegado de chapa, la cual se complementa con un par de ballestas 76421-HI de 9Tn marca FUNVERA, más un conjunto de suspensión y sistema de accionamiento neumático 06-3220RA/G1-FX marca FERVI AIR, que permite descender y elevar el nuevo eje que se incorpora al vehículo de remolque dependiendo de las necesidades de carga y maniobra.



Descripción	
Distancia entre 1er y 2do eje (mm)	4500
Distancia entre 2do y 3er eje (mm)	1260
Voladizo delantero / trasero (mm)	1472 / 920
Largo total (mm)	8152
Dist. centro de 5ta rueda a 3er eje tras. (mm)	1135 ± 5
Tara de eje del. / tandem ejes 2do y 3er (kgf)	4240 / 4080
Tara total (kgf)	8320
Carga útil máxima en 5ta rueda (kgf)	16000
Peso bruto adm. eje de. / tandem trasero (kgf)	6000 / 18000
Peso bruto adm. total vehicular (PBV) (kgf)	24000
P. bruto total vehicular comb. (PBTC) (kgf)	45000

Figura 2: Estructura de Adaptación con Ballestas, Conjunto de Suspensión y Datos Técnicos de Unidad Tractora con 3er Eje.

3. Materiales

En la tabla 3, se encuentra listado las propiedades mecánicas de los materiales, estos corresponden a la estructura del chasis de la unidad tractora, adaptación y ballesta del tercer eje, respectivamente. Estos datos son necesarios para poder procesar el análisis FEM.

Tabla 3. Propiedades de materiales

Material	Mod. Elástico kN/mm^2	Coef. Poisson	Mod. Corte kN/mm^2	Densidad kg/m^3	Limite Elástico N/mm^2	Limite Tracción N/mm^2	Alarg. %
ASTM A36	200	0,26	79,4	7800	250	475	20
SAE 1020	205	0,29	79,5	7870	205	380	25
51CrMoV4	206	0,29	79,8	7850	1340	1520	6

4. Verificación Dinámica

Para determinar las fuerzas dinámicas a las cuales se encuentra sometido el chasis del tractor con la estructura de tercer eje incorporada, se recurre a un estudio de un sistema discreto de amortiguación viscosa (Figura 3). Para el cual se puede plantear su comportamiento usando la expresión:

$$[m] \{x''(t)\} + [c] x'(t) + [k] x(t) = f(t) \quad (1)$$

Donde $[m]$, $[c]$ y $[k]$ son las matrices simétricas de inercia, rigidez y amortiguación respectivamente; la resolución de la ecuación anterior se obtiene mediante la transformación de Laplace [2]. Siendo $\{x(s)\}$ y $\{f(s)\}$ las transformadas de desplazamientos y fuerzas, la ecuación (1) queda expresada de la siguiente manera:

$$[m] \{s^2 x(s) - s x(0) - \dot{x}(0)\} + [c] \{s x(s) - x(0)\} + [k] \{x(s)\} = f(s) \quad (2)$$

La ecuación (2) permite llegar a la solución:

$$x(s) = [Z(s)]^{-1} \{r(s)\} \quad (3)$$

Siendo:

$$[Z(s)] = s^2 [m] + s [c] + [k] \quad \text{Impedancia mecánica}$$

$$\{\mathbf{R}(s)\} = \{\mathbf{F}(s)\} + [s\mathbf{m}] + [\mathbf{c}] \{\mathbf{x}(0)\} + [\mathbf{m}] \{\mathbf{x}'(0)\} \text{ Vector de condiciones iniciales y fuerzas}$$

La matriz de transferencia queda definida:

$$\mathbf{G}[\mathbf{G}(s)] = [\mathbf{Z}(s)]^{-1} = [\mathbf{A}(s)] / [\mathbf{Z}(s)] \quad [\mathbf{A}(s)] \text{ es el adjunto de } \mathbf{a}(s)$$

La solución es

$$\{\mathbf{X}(s)\} = [\mathbf{t}(s)] \{\mathbf{r}(s)\} \Rightarrow \mathbf{X}(t) = \zeta^{-1} \mathbf{X}(s) \quad \text{Mediante la transformación inversa}$$

Aplicando el método anterior, se resuelve el caso de una situación hipotética de impacto que experimenta la rueda dual de transmisión del tractor con tercer eje, contra un escalón de 10 cm. de altura, impacto similar a un cordón de calle.

Planteando las ecuaciones de Newton $\sum \mathbf{F} = 0$ y $\sum \mathbf{M} = 0$ [3] [4] [5], para cada uno de los ejes del semiremolque, considerados como un rígido con dos grados de libertad (Movimiento vertical del Centro de masa y movimiento de giro en el plano transversal del vehículo en torno al centro de masa), y para el chasis, considerado como un rígido con tres grados de libertad (Movimiento vertical del Centro de masa, movimiento de giro en el plano transversal del vehículo en torno al centro de masa y movimiento de giro en el plano longitudinal del vehículo en torno al centro de masa), se elabora un sistema de 9 ecuaciones diferenciales de segundo orden, que se resuelve numéricamente mediante software matemático.

Como resultado, se obtienen los desplazamientos verticales de cada punto de anclaje de la carrocería y del los ejes del tractor (punto de anclaje de cada resorte), luego se calculan las deformaciones de los elementos de la suspensión y con ellas, las fuerzas que transmiten las suspensiones a la carrocería, figura 3.

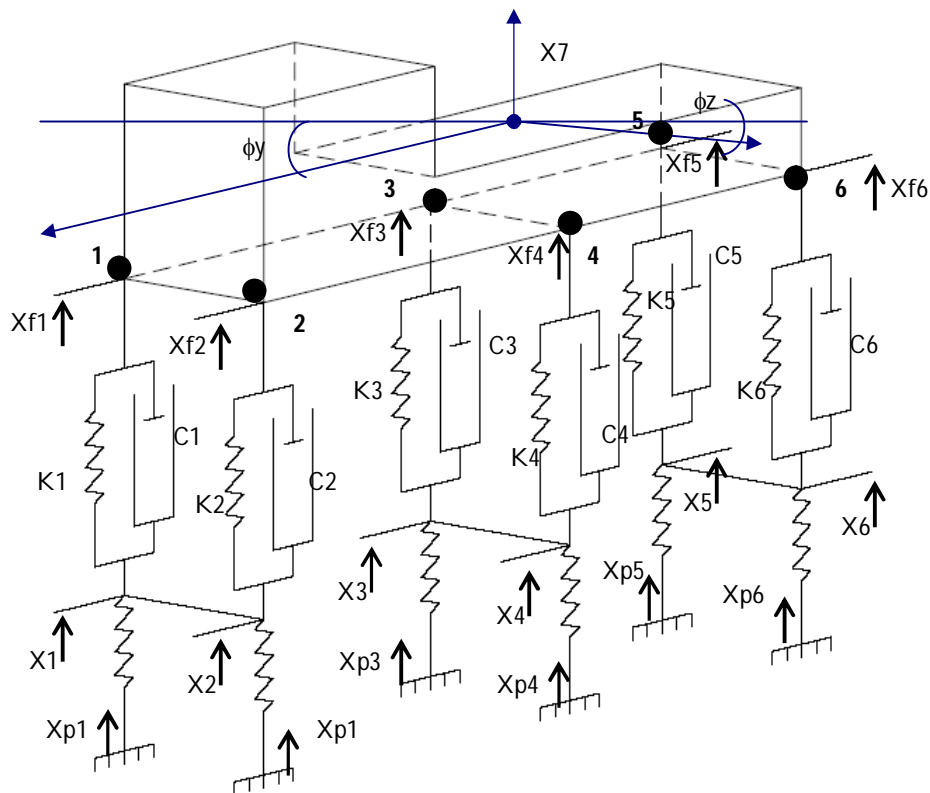


Figura 3: Esquema Dinámico de Carrocería con Tercer Eje Incorporado.

- X_{pi}: desplazamiento del punto de contacto de cada rueda con el piso.
- X_i: desplazamiento vertical de cada rueda
- X_{fi}: desplazamiento vertical del punto de anclaje del resorte de cada rueda.
- X₇: desplazamiento vertical de la carrocería.
- φ_z: ángulo de balanceo de la carrocería
- φ_y: ángulo de cabeceo de la carrocería

Mediante la resolución del modelo matemático planteado se obtienen todos los puntos los desplazamientos, velocidades y aceleraciones de las partes de la carrocería y con ellas las fuerzas inerciales.

En las figuras 4 y 5 representan las gráficas del movimiento vertical y fuerza ejercida por el resorte, en el par de ruedas duales de transmisión derecha 3, ruedas que experimentan de forma instantánea la colisión con el escalón de 10 cm. de altura (función escalón).

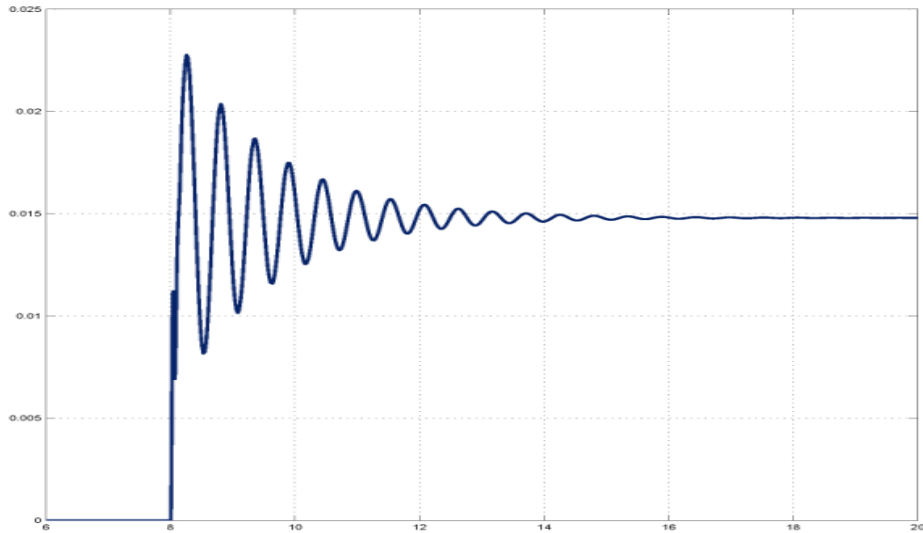


Figura 4: Movimiento de Ruedas Duales Derecha

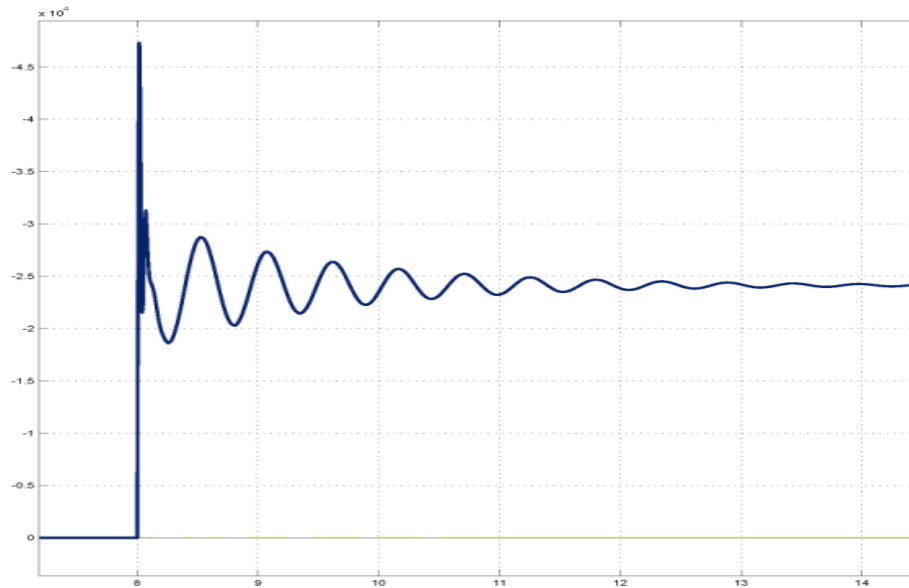


Figura 5: Fuerza del Resorte a la Carrocería

5. Cargas

En la simulación dinámica, se consideran las cargas del motor 11772 N (1200 kg.f), la cabina con todos sus componente internos 22563 N (2300 kg.f), y dos tanques de combustibles 2 x 3924 N (2 x 400 kg.f), como cargas aplicadas de manera remota, es decir, masas concentradas, vinculadas y ubicadas en el modelo de estudio, según cada una de sus posiciones relativas.

Además de las cargas anteriores, se aplica también una carga máxima 156960N (16000 kg.f) en la zona donde se posiciona el plato de enganche de la unidad tractora; y las seis fuerzas transmitidas por cada resorte al chasis, a raíz del impacto con el escalón que se determinaran anteriormente mediante el modelo matemático, figura 6.

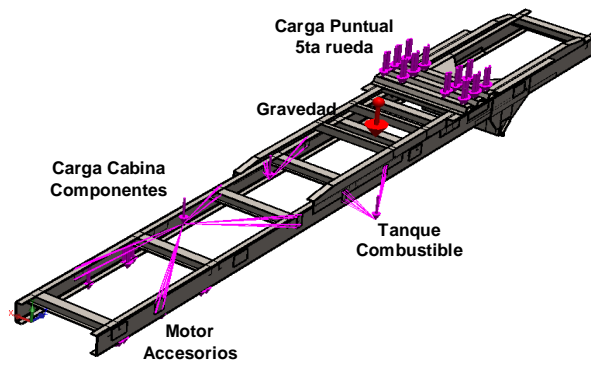


Figura 6: Cargas consideradas en el modelo

6. Condiciones de Borde y Discretización

Se consideran las siguientes condiciones de borde: vínculo del tipo doble, en las articulaciones donde se alojan los pernos extremos de los muelles a ballestas que integran la suspensión del eje delantero del tractor (libre rotación y prohibido desplazamiento radial y axial); como segunda condición vínculo simple, aplicado en las articulaciones de suspensión de segundo y tercer eje (libre deslizamiento horizontal), y última condición, vínculo del tipo empotrado, aplicado en la cuna donde va fijado el plato de enganche o quinta rueda de la unidad tractora (restricción de grados de libertad).

La discretización (mallado), se considera del tipo mixta en toda la geometría del modelo, de tipo sólido en largueros (elementos tetraédricos 1er orden); de superficie en refuerzos y demás chapas planas (elementos triangulares 1er orden), recurriéndose también al refinamiento de aquellos lugares y zona de interés para lograr óptimos resultados de cálculo.

7. Análisis FEM

El estudio FEM [6] [7] se realiza con el software SolidWorks Profesional, "licencia aula FICH-CIMNE de UNL" [8]; mediante el módulo Simulación de SolidWorks, usando el "Solver" en su modo "Interactivo", permitiendo obtener rápidamente los valores resultantes de tensiones y deformaciones del modelo de estudio.

7.1. Tensiones

Se observa que la tensión máxima alcanzada está en el orden de 200 N/mm² (200 MPa), correspondiéndose al 80% de la tensión de límite elástico del material ASTM A36, material de fabricación del chasis del vehículo de carga. En la figura 7 se puede observar que las tensiones también se dan en el larguero opuesto del chasis, respecto al que recibe el impacto, esto se debe a las tensiones que se generan a raíz de la torsión que experimenta la estructura al impactar con el obstáculo.

7.2. Deformaciones

Como era de esperarse, el valor máximo de desplazamiento se observa en la parte trasera derecha del vehículo, extremo de la estructura de adaptación del tercer eje. Mientras que en la zona del segundo eje de transmisión lado derecho, el desplazamiento se encuentra en el orden de los 9 mm, figura 8.

7.3. Factor de Seguridad

Teniendo presente el valor de la máxima tensión alcanzada por el chasis y refiriendo esta, a la tensión de fluencia del material de la estructura evaluada, el factor de seguridad resulta ser igual a 1,25.

$$\text{Coef. Seg. Fluencia} = \frac{\sigma_{\text{fluencia}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{250 \text{ MPa}}{200 \text{ MPa}} = 1,25$$

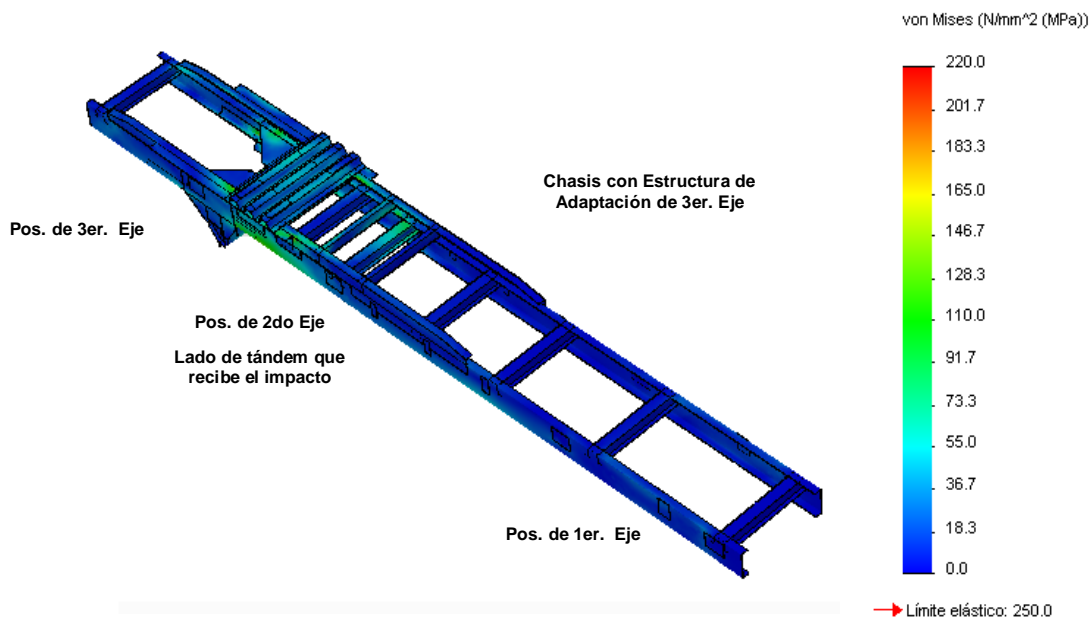


Figura 7: Tensiones de Von Mises

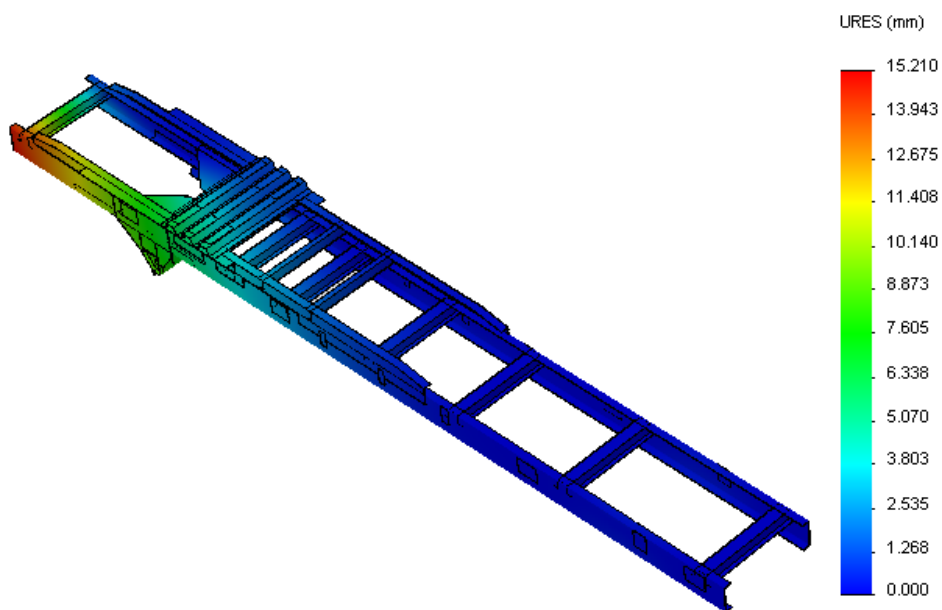


Figura 8: Desplazamientos Resultantes

8. Conclusión

Se logra crear un modelo matemático mediante el cual permitió saber los esfuerzos que se transmiten al chasis de la unidad tractora con tercer eje. Se analiza y evalúa la situación dinámica de un impacto de un obstáculo con unas de sus ruedas del tandem trasero de transmisión.

De dicho análisis de comportamiento se observa que los valores tanto de tensiones producidas como de desplazamientos se encuentran en el orden de los valores admisibles y acorde a los materiales utilizados por la firma Tanque Fangio; concluyendo que el chasis soporta de manera satisfactoria el esfuerzo al cual se sometió.

9. Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de la empresa Tanques Fangio SA de Pergamino (Buenos Aires), por los datos Técnicos y modelos aportados; de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional, por el soporte financiero al proyecto UTN1350 desarrollado en la FRSN "Comportamiento dinámico de la estructura de adaptación del tercer eje instalada actualmente en tractores de semirremolque de industria nacional"; y del Ing. Gerardo Franck del Aula FICH-CIMNE de Universidad Nacional Litoral de Santa Fe, por facilitar el uso de SolidWorks Simulación.

10. Referencias

- [1] Comportamiento de la Estructura de Adaptación del Tercer Eje, Instalada en los Tractores de Semirremolque, GEMECO - Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica Nacional (UTN) – Facultad Regional San Nicolás (FRSN), Colón 332, San Nicolás, Buenos Aires, Argentina. Presentado en el XV Congreso Chileno de Ingeniería Mecánica COCIM 2012.
- [2] RAO, Singiresu S. "Mechanical Vibrations." Pearson - Prentice Hall. 2004.
- [3] Bedford A.-Fowler, W., Mecánica para ingeniería. Estática, Pearson Education, 2008.
- [4] Hibbeler, Mecánica de Materiales, Pearson, 2008.
- [5] Gere J.- Goodno B. Mecánica de Materiales, Cengage Learning, 2009.
- [6] Curso: Diseño Software I-deas (Part Design – Assembly Design – Mechanisms) 44 hs reloj - Noviembre 2006 - U.T.N. F.R.S.N.
- [7] Curso: Diseño Software I-deas (Pre-Post e Ideas Linear Solvers) 40 hs reloj - Mayo 2007 - U.T.N. F.R.S.N.
- [8] Manual SolidWorks Simulation Designer, Professional, 2009.