

Espacio reservado para el Comité Editorial del Congreso Chileno de Ingeniería Mecánica

# Comportamiento de la Estructura de Adaptación del Tercer Eje, Instalada en los Tractores de Semirremolque

**Domínguez Cristian<sup>a</sup>, Franco Neoren Germán<sup>a</sup>, Pallanza, Daniel<sup>a</sup>,  
Giordano Walter Fabián<sup>a-b</sup>, Paz Rodrigo Rafael<sup>a-c</sup>.**

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

<sup>b</sup> Tanques Fangio S.A., Ruta 32 Km 2,2, Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

<sup>c</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,

E-mail Autores: gemeco@frsn.utn.edu.

## 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 de la zona “Tanques Fangio SA”, que se dedica a la modificación de vehículos de carga para el transporte de combustibles líquidos, tomó como objetivo de trabajo evaluar el comportamiento de la estructura de adaptación del tercer eje instalada actualmente en los tractores de semirremolque. Un equipo de trabajo de profesionales e investigadores de ambas instituciones, dan forma a este Desarrollo Tecnológico, que es fruto de trabajos sistemáticos basados en los conocimientos existentes, derivados de la experiencia práctica, dirigidos al desarrollo de tecnologías adaptativas, aplicadas a necesidades locales de mejora de los dispositivos ya existentes. Se estudia el diseño actual estimando los esfuerzos internos a los cuales se encuentran sometidos los distintos componentes del sistema de adaptación del tercer eje, de ser necesario rediseñando piezas del equipo de adaptación, a partir de una relación favorable costo beneficio [1,2,3]. El trabajo se inició, valorando el diseño actual, analizando la información brindada por la empresa, la experiencia desarrollada por ésta, la búsqueda bibliográfica, y el análisis del mecanismo de la estructura de adaptación del tercer eje. Una vez definido un modelo del mercado de tractor, se procedió al análisis de cargas estáticas de la estructura, separando el chasis de sus componentes secundarios, y considerando la carga transportada puntual en el plato de enganche. La modelización y el mallado tridimensional permitieron, estimar los esfuerzos internos a los cuales se encuentran sometidos los distintos componentes de los sistemas de adaptación del tercer eje, mediante el cálculo por elementos finitos [4,5,6]. El procesamiento y la obtención gráfica de resultados verificó que los valores de tensiones y deformaciones estáticas, estén dentro de lo permisible.

**Keywords:** Estructura – Adaptación - Tercer eje – Tractores – Semirremolque – Modelización

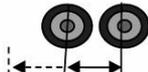
# 1. Introducción

El poder transportar mayor carga en un vehículo tractor, lleva a la necesidad de alterar su configuración original de fábrica (chasis), mediante la incorporación de un nuevo eje fijo o flotante.

En Argentina existen varias empresas que se dedican a agregar ejes a los vehículos tractores; una de ellas es la firma Tanques Fangio S.A., la cual evalúa y analiza el comportamiento de estas adaptaciones, desde el punto de vista estructural – económico garantizando el cumplimiento de pesos máximos permitidos según se establecen en las reglamentaciones vigentes de la República Argentina.

Las normativas de peso total y configuración se establecen según la Ley 24.449 – Decreto 779/95 – Decreto 79/98 – Res. S.T. 497/94; resumidas e indicadas en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Pesos máximos permitidos por eje o conjunto de ejes.

		
Dos Ruedas SIMPLE 6 Toneladas EJE SIMPLE	Min. 1,20 m - Máx. 2,40 m SIMPLE - SIMPLE      DUAL - SIMPLE 10 Toneladas      14 Toneladas TANDEM DOBLE	
		
Min. 2,40 m DUAL - DUAL 21 Toneladas TANDEM DOBLE 8 R.	Min. 2,40 m - Máx. 4,80 m DUAL - DUAL - SUPERANCHA 21 Toneladas TANDEM TRIPLE MIXTO	
		
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.	Min. 2,40 m - Máx. 4,80 m DUAL - DUAL - DUAL 25,5 Toneladas TANDEM DOBLE 12 R.
		
8 Toneladas SUPERANCHA	1,20 m 16 Toneladas	2,40 m 24 Toneladas
<b>Cubierta Superanclas:</b> Solamente para usar en vehículos con suspensión neumática de fabrica. No se pueden utilizarse en ejes de tracción (eje motriz) excepto en maquinaria especial.		

Los vehículos a los cuales se le agrega un tercer eje móvil (eje flotante) deben construirse de forma tal que el vehículo pueda girar estando todos sus ejes apoyados sobre el suelo, es decir, que sean direccionales y que la transmisión de peso al pavimento sea invariablemente la

misma, estando el vehículo cargado; además los vehículos que cuentan con ejes que puedan levantarse, deben contar con un dispositivo (no accionable desde la cabina del tractor), que automáticamente baje el eje cuando el vehículo se encuentre cargado.

Tabla 2. Pesos máximos permitidos en función de la configuración de ejes.

Tipo de Vehículo	Conf.	Dimensiones Max. (Metros)			Peso Bruto Max. (Ton.f)
		Largo	Ancho	Alto	
	S - 1 D - 1	13,20	2,60	4,10	16,50
	S - 1 D - 2	13,20	2,60	4,10	24,00
	S - 1 D - 3	13,20	2,60	4,10	30,00
	S - 2 D - 2	13,20	2,60	4,10	28,00
	S - 1 D - 1 D - 1	18,60	2,60	4,10	27,00
	S - 1 D - 1 D - 2	18,60	2,60	4,10	34,50
	S - 1 D - 2 D - 2	18,60	2,60	4,10	42,00
	S - 1 D - 1 D - 3	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					
	S - 1 D - 1 D - 1 D - 1	Tot = 20,00	2,60	4,10	37,50
	S - 1 D - 1 D - 1 D - 2	Tot = 20,00	2,60	4,10	45,00
	S - 1 D - 2 D - 1 D - 1	Tot = 20,00	2,60	4,10	45,00
	S - 1 D - 2 D - 1 D - 2	Tot = 20,00	2,60	4,10	45,00
	S - 1 D - 1 D - 1 D - 1	Tot = 20,50	2,60	4,10	45,00

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se analizará el comportamiento que experimenta un modelo de chasis correspondiente a un vehículo de carga del tipo tractor de semirremolque, con prolongación de su chasis y tercer eje flotante dual incorporado al mismo. Se comenzará describiendo el modelo de estudio, sus características

geométricas, estructura de adaptación de tercer eje, materiales involucrados, cargas consideradas, datos técnicos necesarios para la simulación numérica y mallado del mismo (discretización). Mediante la simulación de cálculo estático lineal se evaluarán las zonas críticas de mayor sollicitación de tensiones - deformación de sus desplazamientos correspondientes; concluyendo con resultados de valores en el orden admisible en tensiones y deformaciones

## 2. Descripción del modelo de estudio

El modelo de estudio es el chasis correspondiente a una unidad tractora Mercedes Benz Mod. LS 1634/45, figura N°1; más toda la estructura metálica de adaptación de tercer eje mediante ballesta, que es agregada en su parte posterior a su chasis, la cual queda totalmente solidaria al mismo mediante fijación por bulones y soldadura, figura N°2.

Como punto de partida primero se realiza un relevamiento dimensional para determinar la geometría del chasis y de su estructura de adaptación, mediante la recopilación de datos técnicos que gentilmente fueron proporcionados por la firma Tanques Fangio S.A. durante las visitas realizadas en su planta, momento en que se practicara la adaptación en el vehículo de carga descrito anteriormente, tablas 3 y 4.

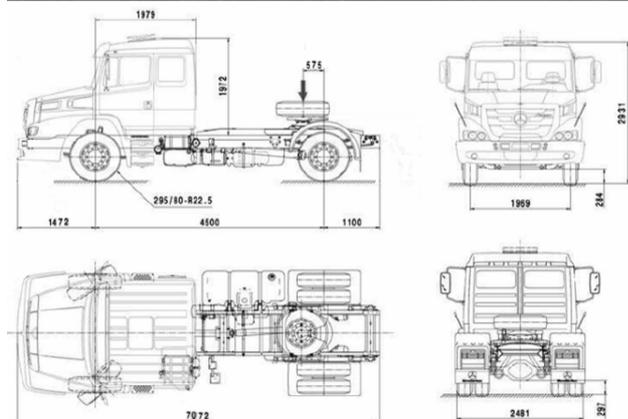


Fig. 1. Tractor Mercedes Benz LS 1634/45

Tabla 3. Ficha técnica – Mercedes Benz LS 1634/45.

No	Descripción	
1.	Distancia entre ejes (mm)	4500
2.	Largo total (mm)	7072
3.	Voladizo delantero / trasero (mm)	1472 / 1100
4.	Diámetro de giro del vehículo (mm)	17600
5.	Distancia centro de 5ta rueda a eje tras. (mm)	575 ± 50
6.	Tanque de Combustibles (litros)	2 x 300
7.	Tara de eje delantero / trasero (Kg.f)	4240 / 2980
8.	Tara total (Kg.f)	7220
9.	Carga útil máxima en 5ta rueda (Kg.f)	10080
10.	Peso bruto adm.eje delantero / trasero (Kg.f)	5300 / 12300
11.	Peso bruto adm. total vehicular (PBV) (Kg.f)	17300
12.	P. bruto total vehicular comb. (PBTC) (Kg.f)	45000

Toda la estructura de adaptación de tercer eje, es fabricada en chapa ASTM-A36; la misma se obtiene mediante construcción por conformado – plegado; está basada principalmente por dos largueros en espesor 5/16” (7,9375 mm) en forma de perfil C enfrentados entre sí y separados a 902 mm, trocha de chasis del vehículo de carga.

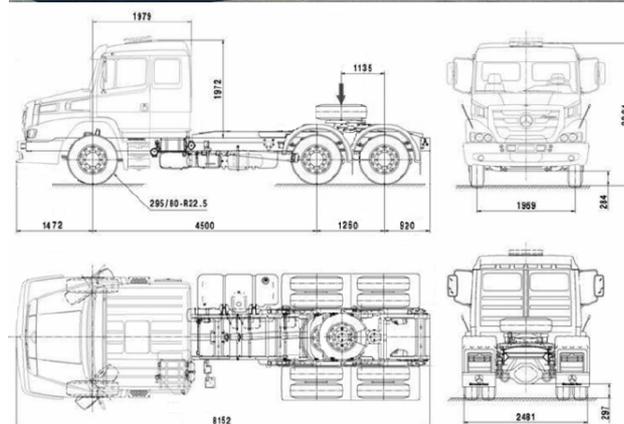


Fig. 2. Tractor Mercedes Benz LS 1634/45 con estructura de adaptación de tercer eje

Tabla 4. Datos – M.B. LS 1634/45 con tercer eje adaptado.

No	Descripción	
1.	Distancia entre 1er y 2do eje (mm)	4500
2.	Distancia entre 2do y 3er eje (mm)	1260
3.	Voladizo delantero / trasero (mm)	1472 / 920
4.	Largo total (mm)	8152
5.	Dist. centro de 5ta rueda a 3er eje tras. (mm)	1135 ± 5
6.	Tara de eje del. / tandem ejes 2do y 3er (kgf)	4240 / 4080
7.	Tara total (kgf)	8320
8.	Carga útil máxima en 5ta rueda (kgf)	16000
9.	Peso bruto adm.eje de. / tandem trasero (kgf)	6000 / 18000
10.	Peso bruto adm. total vehicular (PBV) (kgf)	24000
11.	P. bruto total vehicular comb. (PBTC) (kgf)	45000

Estos largueros se vinculan con travesaños y refuerzos de varias chapas de espesor 1/4" (6,35 mm), los cuales actúan en condición de escuadras-refuerzos o como pieza de vinculación sobre el chasis-estructura. También lateralmente se incorporan dos cuerpos de chapa SAE 1020 en espesor 3/8" (9,525 mm), que contendrán la moldura plegada donde se ubicará el punto de pivote de la ballesta marca FUNVERA de material 51CrMoV4, en la cual irá adosado el tercer eje con sus masas correspondientes; más el conjunto de suspensión y sistema de accionamiento neumático FERVI AIR 06-3220RA/G1, figura N°3

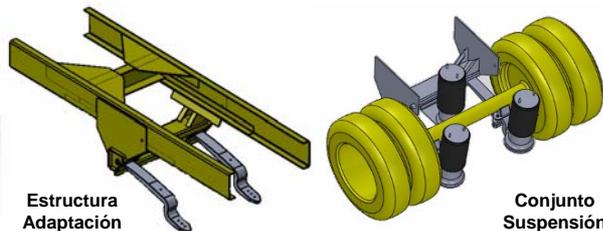


Fig. 3. Estructura de adaptación con ballestas y conjunto de suspensión

El modelo 3D se realiza con el software I-deas, "licencia educativa UTN-FRSN" [4,5]; donde se considera solamente para el modelo, el chasis-tractor y la estructura de adaptación para un tercer eje, excluyendo los demás elementos secundarios del vehículo, figura N°4.

### 3. Materiales

En la tabla 5, se muestra un resumen de las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en este trabajo, datos necesarios para el cálculo de elementos finitos.

Tabla 5. Propiedades de materiales

Material	Mod. Elástico kN/mm <sup>2</sup>	Coef. Poisson	Mod. Corte kN/mm <sup>2</sup>	Densidad kg./m <sup>3</sup>	Limite Elástico N/mm <sup>2</sup>	Limite Tracción N/mm <sup>2</sup>	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

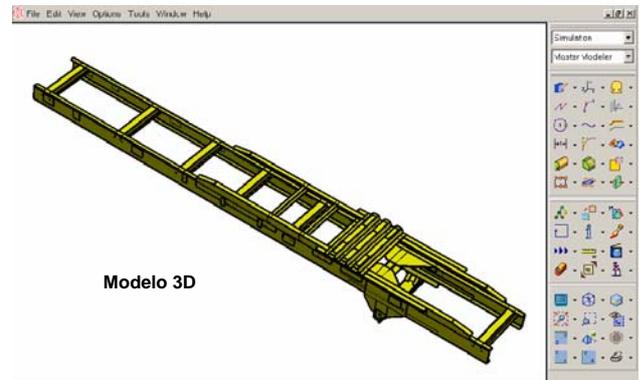


Fig. 4. Geometría de chasis mas estructura en software I-deas.

## 4. Cargas

Se considerarán las siguientes cargas (aplicadas de forma remota en el modelo 3D) y actuantes en los puntos donde predominan sus acciones: Motor y accesorios: 11772 N (1200 kg.f) / Cabina y demás componentes: 22563 N (2300 kg.f) / Tanques de Combustibles: 2 x 3924 N (2 x 400 kg.f) / Carga en 5ta rueda: 156960N (16000 kg.f); más el peso propio del chasis en su totalidad, mediante la incorporación de la aceleración de gravedad 9,81 m/seg<sup>2</sup> en el modelo de estudio, figura N°5

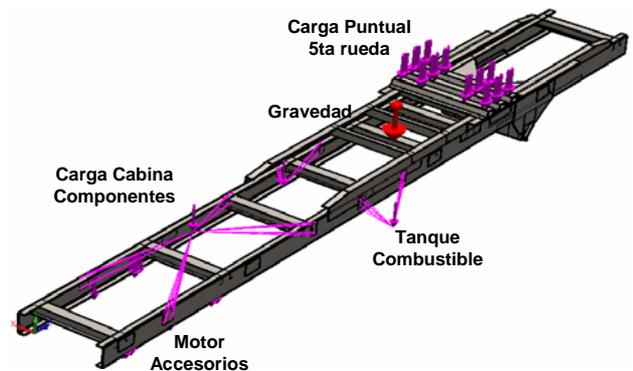


Fig. 5. Cargas consideradas en el modelo 3D

### 4.1. Ubicación de 5ta rueda

La 5ta rueda o plato de enganche se debe ubicar en una posición óptima sobre el chasis ya prolongado, de manera tal de garantizar las taras máximas admisibles permitidas en primer eje y tándem trasero.

De la tabla N°4, los valores de la figura 6, resultan ser iguales a:

- PD: Tara en eje delantero: 41594 N (4240 kg.f)
- PT: Tara en el eje trasero: 40024,8 N (4080 kg.f)
- FT: Carga trans. por semi: 156960 N (16000 kg.f)
- L: Distancia entre 1er y 2do eje: 4500 mm

$L'$ : Distancia entre 2do y 3er eje: 1260 mm  
 $L''$ : Distancia entre 1er eje y tandem: 5130 mm

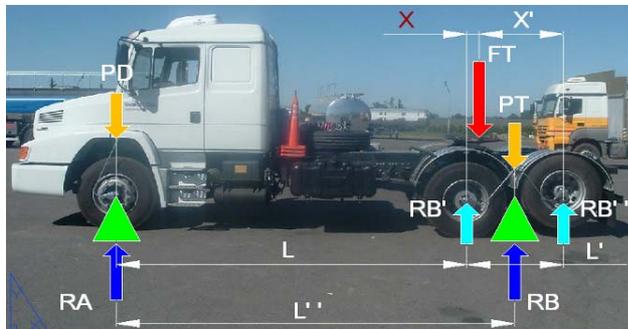


Fig. 6. Posición de carga en 5ta rueda o plato de enganche

Consideración: en vehículos de tandem trasero B (doble eje) sin balancín intermedio, se considera la relación (1), cuando el valor de  $L'$  no supera los 1400 mm y una reacción en el 1er eje A (2) menor al 3% del máximo permitido; a efecto de simplificación en el cálculo.

Planteando un sistema de ecuaciones entre (3) y (4) [1,2,3], se obtienen los valores de las dimensiones  $X$  y  $X'$  respectivamente.

$$RB' = RB'' = \frac{RB}{2} \quad ; \quad L' = L + \frac{L'}{2} \quad (1)$$

$$RA = 57094 \text{ N (5820 kg.f)} \quad (2)$$

$$\sum F_v = 0 \quad ; \quad RA + RB - PD - PT - FT = 0 \quad (3)$$

$$\sum MA = 0 \quad ; \quad FT \cdot (L + X) + (PT - RB) \cdot L' = 0 \quad (4)$$

$$X = 123,4 \text{ mm} \quad ; \quad X' = 1136,6 \text{ mm}$$

## 5. Condición de Borde

Se consideran las siguientes condiciones de borde en el modelo 3D:

Tipo vínculo doble, se aplica en las articulaciones, en lugares donde se alojan los pernos extremos de los muelles a ballestas (suspensión del vehículo tractor), libre rotación en su propio eje y prohibido desplazamiento radial y axial.

Tipo empotramiento, aplicada en el lugar donde reacciona el sistema de suspensión sobre la estructura de adaptación del tercer eje, con restricción total de desplazamientos.

## 6. Mallado (Discretización)

Para realizar el mallado, se ha utilizado el software SolidWorks Professional, "licencia aula FICH-CIMNE de UNL" [6]; para el cual se ha importado y modificado la geometría del modelo, a los efectos del cálculo por FEM.

Se realiza una malla del tipo mixta en toda la geometría del modelo, siendo del tipo sólido en largueros (elementos tetraédricos 1er orden), y superficie media en refuerzos y demás chapas (elementos triangulares 1er orden), con el objetivo de obtener un rápido procesamiento y que no demande demasiado recurso informático para el mismo.

También se aplican controles de mallado (refinamiento de malla) en aquellas zonas de interés, a la hora de obtener óptimos resultados de cálculo, figura 7.



Fig. 7. Mallado mixto (sólidos y superficies), control de mallado

## 7. Calculo FEM

En función de las cargas aplicadas, condiciones de bordes planteadas y mallados realizados, a través del uso del módulo Simulación de SolidWorks, se realiza un estudio estático lineal de cálculo por elementos finitos (FEM), utilizando para el mismo el "Solver" en su modo "Interactivo", permitiendo obtener rápidamente los valores resultantes de tensiones y deformaciones de la geometría.

### 7.1. Tensiones

Se observan, como era de esperarse, que las zonas con mayor tensión sobre el chasis se encuentran en los lugares donde se posicionan el primer eje, tandem y quinta rueda en el vehículo, siendo en esta última el valor más alto de tensión Von Mises alcanzado e igual a  $160 \text{ N/mm}^2$  (160 MPa), representando el 65% de la tensión del límite elástico del material ASTM A36.

Al analizar solamente la ballesta del tercer eje, sometida a la acción de la carga máxima de trabajo igual a 44145 N (4500 kg.f), la tensión máxima de von Mises resultante es  $123 \text{ N/mm}^2$  (123 MPa), o sea un 9% de la tensión de su límite elástico del material 51CrMoV4; figura 8.

### 7.2. Deformaciones

El mayor valor numérico de desplazamiento obtenido en el chasis es de 0,70 mm y se da en la posición central de la 5ta rueda, lugar donde actúa la carga puntual; en cambio en la ballesta, el valor máximo alcanzado es igual a 0,55 mm y

se encuentra en su parte superior entre el ojal y posición del tercer eje, figura 9.

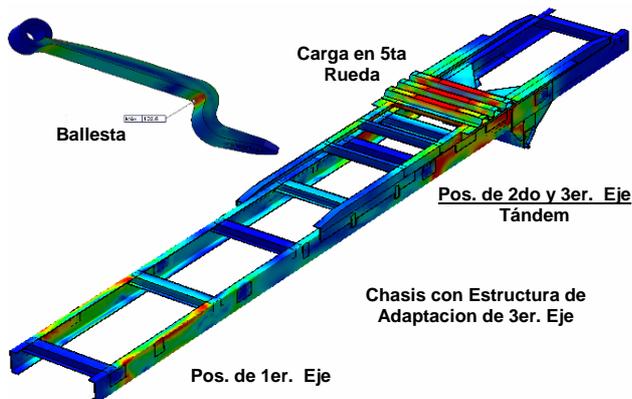


Fig. 8. Tensiones de Von Mises

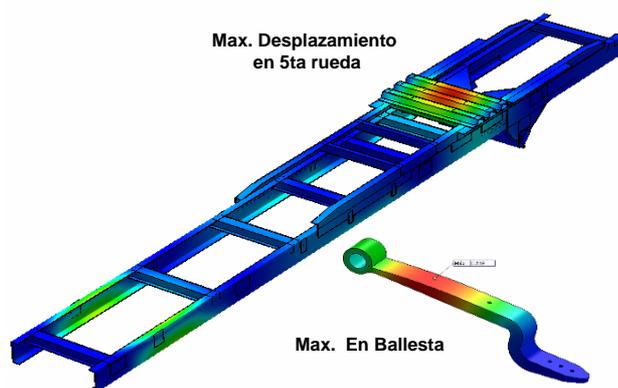


Fig. 9. Desplazamientos resultantes

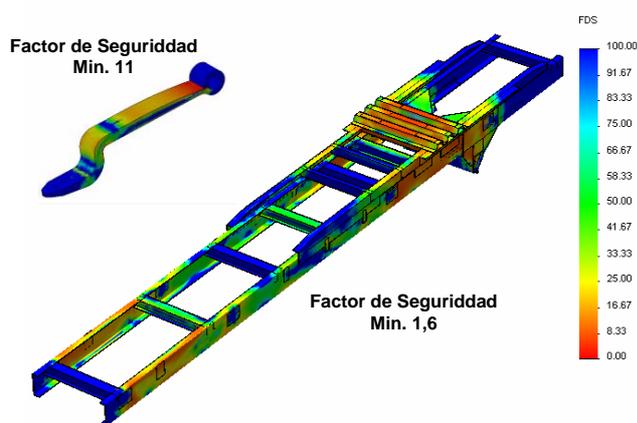


Fig. 10. Distribución del factor de seguridad

### 7.3. Factor de seguridad

Los valores de coeficiente de seguridad mínimos son 1,6 y 11, en chasis y ballesta respectivamente, que resultan ser acordes en vehículos de cargas. La distribución de los mismos se muestran en una escala de 0 a 100, figura 10.

## 8. Conclusiones

Los valores de tensiones y deformaciones resultantes del cálculo estático lineal se encuentran dentro del orden de los valores admisibles y acorde a los materiales utilizados por la firma Tanque Fangio.

Desde el punto de vista estático, el tractor queda con una configuración de carga máxima permitida en sus ejes de 58860 N (6000 kg.f) en 1er. eje simple (S-1 / 2 ruedas) y 176580 N (18000 kg.f) en tandem dual doble formado por el 2do y 3er eje (D-2 / 8 ruedas); aumentando de esta manera la carga máxima de transporte en su 5ta rueda, un 45% mas, respecto al diseño original del tractor de fábrica.

Si bien se han considerado en este estudio cargas totalmente estáticas, queda por evaluarse en un futuro, el comportamiento dinámico que experimenta la estructura de adaptación de tercer eje, respecto a la acción de las cargas

## 9. Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de la empresa Tanques Fangio SA de Pergamino (Buenos Aires), por los datos 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 facilitarnos el uso de SolidWorks Simulation.

## 10. Referencias

- [1] Bedford A.-Fowler, W., Mecánica para ingeniería. Estática, Pearson Education, 2008.
- [2] Hibbeler, Mecánica de Materiales, Pearson, 2008
- [3] Gere J.- Goodno B. Mecánica de Materiales, Cengage Learning, 2009.
- [4] Curso: Diseño Software I-deas (Part Design – Assembly Design – Mechanisms) 44 hs reloj - Noviembre 2006 - U.T.N. F.R.S.N.
- [5] Curso: Diseño Software I-deas (Pre-Post e Ideas Linear Solvers) 40 hs reloj - Mayo 2007 - U.T.N. F.R.S.N.
- [6] Manual SolidWorks Simulation Designer, Professional, 2009.