

## ESTUDIO DE ACEROS MICROALEADOS DE ALTA RESISTENCIA PARA SU EMPLEO EN SEMIREMOLQUES

Marcos M. Marino<sup>a,c</sup>, Marcelo A. Costamagna<sup>b</sup> y Carlos E. Tais<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Laboratorio de Metalurgia, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María, Avda. Universidad 450, 5900 Villa María, Argentina, [metalurgia@frvm.utn.edu.ar](mailto:metalurgia@frvm.utn.edu.ar);  
<http://www.frvn.utn.edu.ar>

<sup>b</sup>Grupo de Estudio en Calidad en Mecatrónica, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María, Avda. Universidad 450, 5900 Villa María, Argentina, [gecam@frvm.utn.edu.ar](mailto:gecam@frvm.utn.edu.ar);  
<http://www.frvn.utn.edu.ar>

<sup>c</sup>Industrias CORMETAL Ruta 9 Km 555, 5900 Villa María, Argentina, [cormetal@arnet.com.ar](mailto:cormetal@arnet.com.ar);  
<http://www.cormetal.com.ar>

**Palabras Clave:** Acero microaleado de alta resistencia, semirremolque, Método de los Elementos Finitos.

**Resumen.** En la actualidad está cada vez más difundido el empleo de aceros aleados de alta resistencia y de ultra alta resistencia, empleándose en la industria automotriz y aeronáutica, entre otras. Este material tiene excelentes propiedades para ser sometido a efectos mecánicos (tensiones) ya que, posee una gran resistencia, además de otras características importantes como soldabilidad, conformabilidad, etc.

Lo que se busca en estos casos, ya sea en vehículos automóviles de circulación corriente o en semirremolques que transportan pesadas cargas, es reducir el peso de sus partes constituyentes y por ende, el de su estructura obteniéndose así una mayor capacidad de carga útil y un menor consumo de combustible cuando se circula sin la misma. Otra ventaja importante es un mantenimiento reducido frente a los equipos viales que se fabrican con los materiales convencionales. Esto es debido a la considerable diferencia entre las tensiones de fluencia y la dureza de uno y otro.

Otro factor, no menos importante que los anteriores es el hecho de que utilizar aceros de alta resistencia en la manufactura no implica realizar cambios apreciables en el proceso productivo y en los recursos tecnológicos utilizados habitualmente, por lo que no se requiere efectuar una inversión económica importante.

Este trabajo busca determinar la magnitud de la reducción de los espesores y por ende del peso final de la estructura utilizando esta clase de material, teniendo siempre en cuenta que no se sobrepasen los valores de las tensiones y deformaciones admisibles para garantizar el correcto funcionamiento y seguridad de la estructura.

A tal efecto, se efectúa el estudio de tensiones y deformaciones a través de un software basado en el Método de los Elementos Finitos a un modelo de semirremolque para simular un modelo estático bajo cargas que representan las condiciones de trabajo a las que normalmente está sometida la estructura incorporándose las propiedades específicas de los aceros de alta resistencia.

## 1. INTRODUCCIÓN

Normalmente los aceros de alta resistencia proveen un incremento de la relación resistencia-peso sin ocasionar considerables incrementos en el costo de fabricación. Esta característica distintiva ha llevado a los mismos a tener gran importancia en la industria automotriz, ya que al poseer mejores propiedades mecánicas permiten ser utilizados con secciones más delgadas desempeñando la misma tarea.

Los aceros de alta resistencia poseen límites elásticos superiores a 550 MPa y con tensiones de rotura mayores a 700 MPa.

El modelo de la estructura utilizada para el análisis está representada en la Figura 1.

Los datos de los materiales utilizados en el análisis se encuentran en la Tabla 1, la cual dedica al rubro de los materiales.

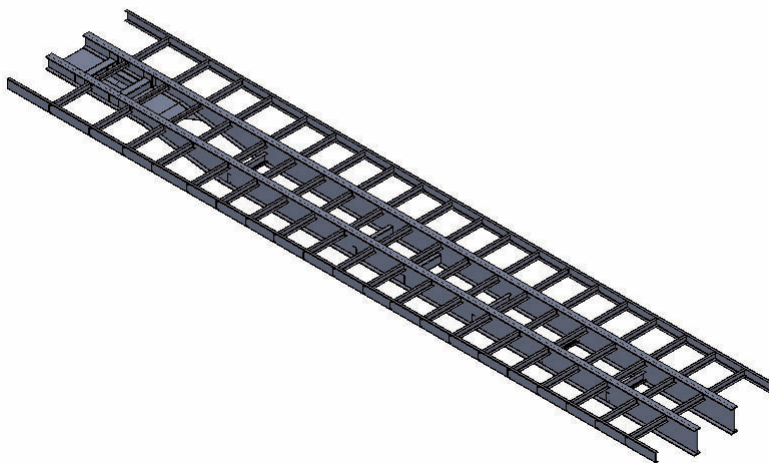


Figura 1: Estructura utilizada para el análisis

## 2. METODOLOGÍA

Con el objetivo de comparar los resultados obtenidos por la simulación de dos estructuras construidas con diferentes tipos de aceros, es decir acero corriente (F-36) y el acero de alta resistencia, se propone un modelo estático lineal en el cual se ubican las restricciones y cargas correspondientes. Los resultados se dividen en dos etapas.

En la primera etapa se realiza un análisis de las tensiones generadas por el estado de carga propuesto en ambos equipos viales.

En la segunda etapa se efectúa la verificación de las deformaciones producidas, ya que éste es un factor determinante en el diseño de toda estructura destinada al transporte de carga.

La simulación es realizada utilizando software de cálculo comercial, SolidWorks Simulation, el cual cuenta con las herramientas adecuadas para especificar las características de los materiales utilizados en el diseño de la estructura, las restricciones geométricas y las cargas externas que actúan sobre el semirremolque.

### 2.1. Método de cálculo

En este apartado se expondrán los modelos matemáticos utilizados por el software (SolidWorks, 2010). Como se sabe, cuando se le aplica una carga a un sólido este se deforma y el

efecto de las misma se transmite a través de este. Las cargas externas inducen fuerzas internas y reacciones para regresar al sólido a su estado de equilibrio.

Para resolver un estudio estático lineal se asumen dos hipótesis. La primera de ellas es la estática, donde se considera que las cargas se aplican en forma lenta y gradual hasta que se alcanzan las magnitudes completas. A continuación las cargas permanecen constantes. Esto permite ignorar las fuerzas inerciales y de amortiguamiento debidas a pequeñas aceleraciones y velocidades significativas.

La segunda es la de linealidad, esto es la relación entre cargas y respuestas es lineal. Esta suposición considera el comportamiento de todos los materiales dentro del rango lineal de la Ley de Hooke (Boresi et al., 1993). Esto es, pequeños desplazamientos que no originan un cambio considerable en la rigidez y que tanto las condiciones de contorno como las cargas no varían.

## 2.2. Teoría de rotura utilizada

Dependiendo del material que se utilice para el estudio se elige la teoría de rotura adecuada para predecir la falla del material (Boresi et al., 1993). En este caso, el material empleado es acero con bajo porcentaje de carbono y sin tratamientos, por lo que puede considerarse como material dúctil para el cual la Teoría de la Máxima Energía de Distorsión es aplicable. El software calcula esta tensión mediante

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_I - \sigma_{III})^2]}. \quad (1)$$

donde  $\sigma_I$ ,  $\sigma_{II}$  y  $\sigma_{III}$  son las tensiones principales.

## 3. DESARROLLO

### 3.1. Diseño

Se propone un diseño basado en la información proporcionada por empresas dedicadas a la fabricación de este tipo de equipo vial.

Para el análisis se utilizan dos tipos diferentes de aceros. El primero de ellos es un acero microaleado desarrollado por la firma sueca SSAB denominado Domex 700MC (DOMEX, 2000). El segundo es el acero F-36 (denominación IRAM) (IRAM, 1998) que comúnmente se utiliza para la construcción de este tipo de semirremolque.

A continuación en la Tabla 1 se detallan las propiedades de cada tipo extraídas de (DOMEX, 2000) y (IRAM, 1998).

Material	Mód. de elasticidad [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Mód. de cortante [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Coef. de Poisson	Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]	Resist. máxima [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Resist. de fluencia [Kg/cm <sup>2</sup> ]
Domex 700 MC	2100000	800000	0.29	7850	7500 - 9500	7500
IRAM F-36	2100000	800000	0.29	7850	5200	3600

Tabla 1: Propiedades elásticas de los materiales utilizados.

### 3.2. Modelo de elementos finitos

La discretización del modelo se realiza utilizando 92919 elementos finitos triangulares (Zienkiewicz y Taylor, 1994) con seis grados de libertad por nodo, con lo que se obtiene una adecuada repre-

sentación del dominio a analizar con un elemento de tamaño uniforme que permite el cálculo en forma eficiente.

### 3.3. Estados de carga impuestos

Se considera una carga aplicada sobre el piso de la estructura y distribuida uniformemente a lo largo del mismo. Se desprecian los efectos dinámicos por lo que el análisis que se realiza es de tipo estático lineal. Se asume un valor máximo de 30000 Kg, además del peso propio, como valor de prueba. Se tomó dicha cantidad debido a que el peso máximo de equipo vial más unidad tractora es de 45000 Kg según lo impuesto por la Ley Nacional de Tránsito 24449 (ley, 1994).

Las condiciones de borde impuestas consideran que el semirremolque transmite toda la carga a la calzada  
o camión.  
Lo expuestc

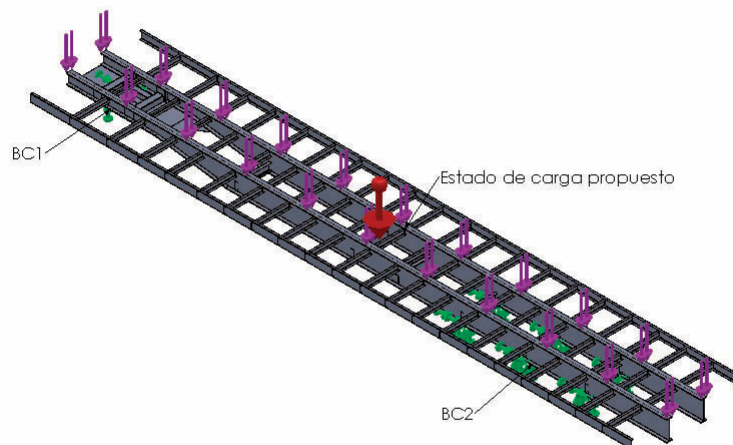


Figura 2: Condiciones de borde y estado de carga propuesto.

## 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En todo equipo vial destinado al transporte de mercancías existen dos puntos críticos a tener en cuenta a la hora del diseño de la estructura que soporta la carga. Uno de ellos es la resistencia de fluencia del material utilizado en su construcción, que indica que las partes críticas adquieren deformaciones permanentes. El otro punto es la flecha máxima, que de superar un valor máximo resultará en el no cumplimiento de las condiciones de servicio para las que fue diseñado el equipo. Por tal motivo, los resultados obtenidos se basan en los análisis de tensiones y deformaciones.

### 4.1. Análisis de tensiones

Los resultados de distribución espacial de tensiones correspondientes a ambos semirremolques, es decir en fabricado con aceros de alta resistencia y acero convencional se presentan en las Figuras 3 y 4.

Como se puede observar en las figuras anteriores el semirremolque fabricado con acero de alta resistencia está sometido a una tensión de trabajo superior que el desarrollado con acero F-36, sin embargo ambas estructuras soportan correctamente el estado de carga impuesto siendo la

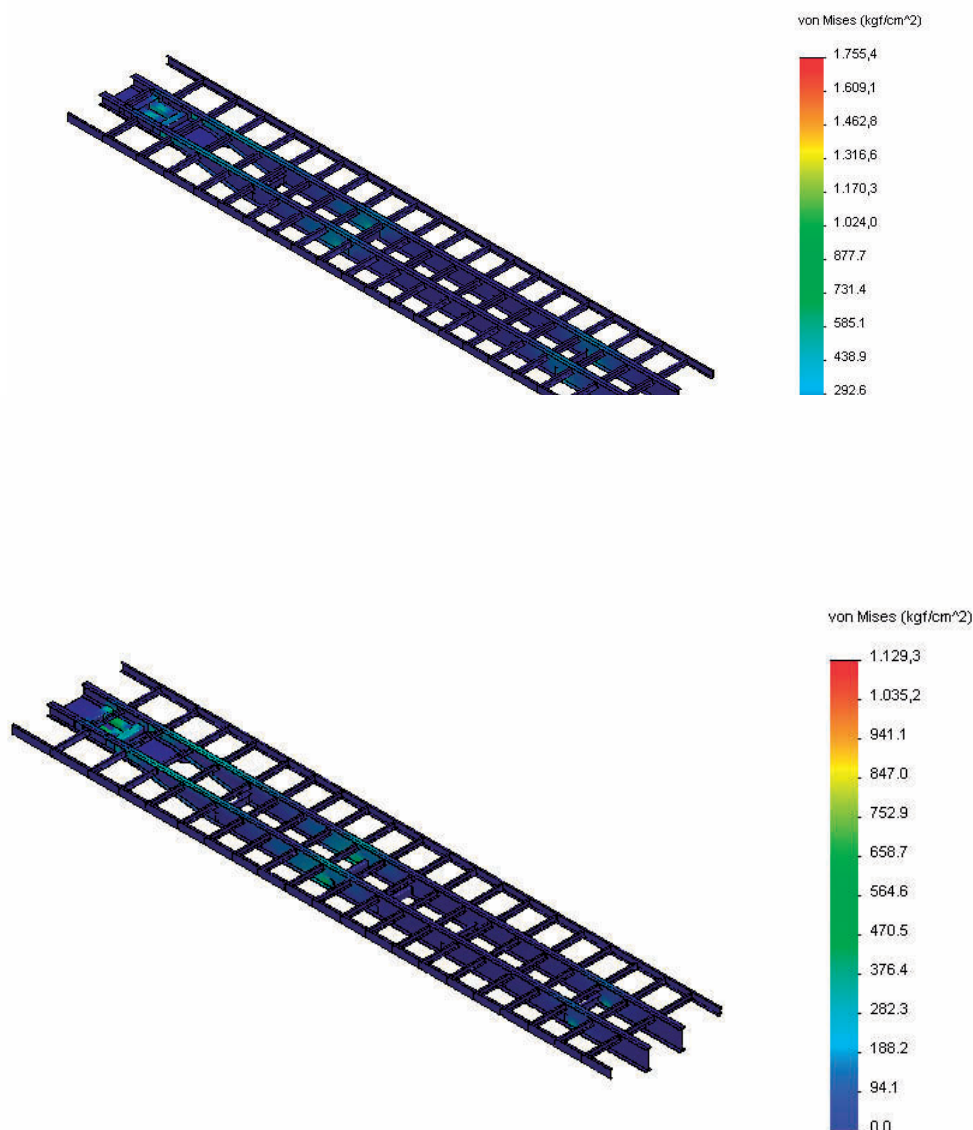


Figura 4: Distribución espacial de tensiones Semirremolque 13.5 IRAM F-36

tensión de trabajo considerablemente inferior a la tensión de fluencia dada por la Tabla 1. Esto se debe a que al utilizar acero de alta resistencia se disminuyó el tamaño de las secciones sometidas a esfuerzo, por lo tanto se originó un aumento de la tensión de trabajo y una disminución en el peso propio de la unidad.

#### 4.2. Análisis de deformaciones

Los resultados de distribución espacial del campo de desplazamientos correspondientes a ambos semirremolques se presentan en las Figuras 5 y 6.

Como se preveía el semirremolque fabricado con acero de alta resistencia posee una deformación considerablemente superior a la obtenida en el semirremolque construido con acero F-36. Esto se debe que al disminuir las dimensiones de la estructura se redujo también las propiedades de inercia de la sección y como el modulo de elasticidad es prácticamente el mismo para todos los aceros se produjo un aumento considerable de la deformación. No obstante, los valores obtenidos se encuentran dentro de los admisibles (1 mm/m).

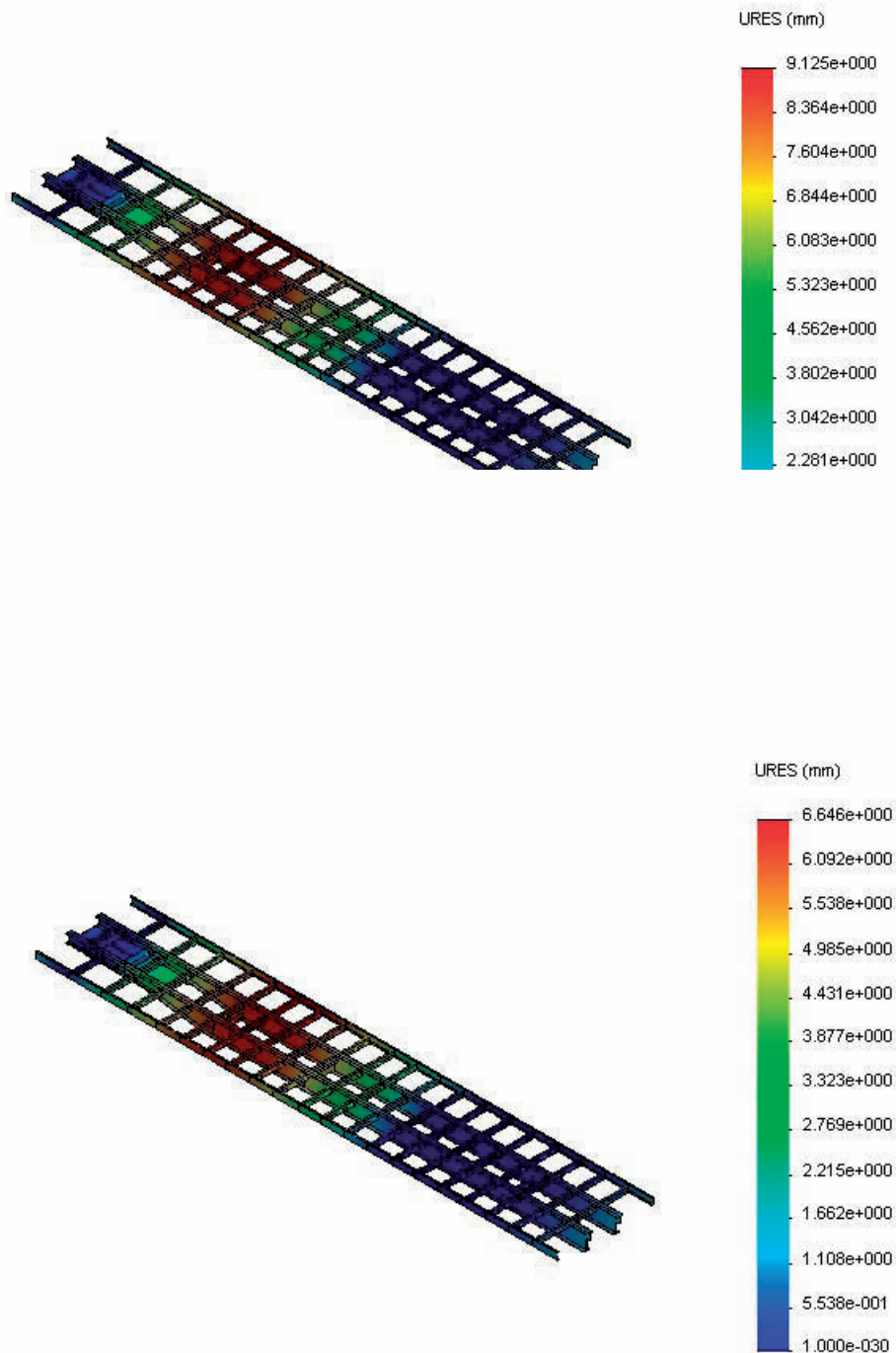


Figura 6: Distribución espacial de desplazamientos; Semirremolque 13.5 IRAM F-36

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo a las tareas desarrolladas y a los resultados mostrados se puede concluir que mediante el uso de herramientas informáticas de cálculo estructural se mejora tanto la calidad del resultado como el tiempo de obtención del mismo, logrando así poder reducir el proceso de cálculo y los costos del mismo.

Las estructuras de ambos semirremolques son resistentes a las condiciones de carga impuestas y las deformaciones se encuentran dentro de los límites admisibles.



Se logró reducir el peso de la estructura aproximadamente un 25 %, obteniéndose en algunas partes una reducción de hasta un 30 %.

Teniendo en cuenta que el valor del acero de alta resistencia es un 30 % más caro que el acero corriente, en determinadas partes del chasis se obtuvo una reducción en el costo y en otras si bien el costo no se modificó se logró una disminución considerable en el peso.

El análisis de espesores óptimos para este tipo de equipos ha sido estudiado mediante algoritmos de optimización y sus resultados se han presentado en numerosas reuniones científicas, como así también incorporados a modificaciones de diseño adoptadas por el fabricante. El presente trabajo focaliza la atención en el estudio de factibilidad económica de utilizar materiales de alta resistencia en la fabricación de semirremolques.

## REFERENCIAS

Ministerio de Transporte, Ley Nacional de Tránsito 24449. 1994.

Boresi A.P., Schmidt R.J., y M. S.O. *Advanced Mechanics of Materials*. John Wiley and Sons, 5 edición, 1993.

DOMEX. Catálogo DOMEX 700MC. Informe Técnico, Society American Engineering, 2000.

IRAM. *Norma IRAM-IAS*, 3 edición, 1998.

SolidWorks. *Guía del usuario*, 2010.

Zienkiewicz O. y Taylor R. *The finite element method*, volumen I. McGraw Hill, 1994.