

ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE SERVICIO DE ESCALERAS VOLANTAS

P. Ciancio^a y M. Peralta^a

^a*Grupo de Teorías y Modelos para Análisis Estructural, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Av. Del Valle 5737, 7400 Olavarría, Argentina,
pciancio@fio.unicen.edu.ar, <http://www.fio.unicen.edu.ar>*

Palabras clave: escaleras volantas, seguridad, verificación, análisis, modelos.

Resumen. La Cooperativa Eléctrica de Olavarría dispone para sus operaciones escaleras desplegadas montadas sobre vehículos. En operación, la configuración de los apoyos difiere de las previstas por el fabricante. Esto genera grandes vigas cantilever, a causa de esto la empresa solicita su verificación, de manera de certificar seguridad en la operatoria de tareas. En este trabajo se analiza el comportamiento estructural de dos escaleras, formadas por dos tramos de perfiles tipo “C”, de material compuesto de resina polyester y fibras de vidrio (PRFV). Las escaleras se apoyan sobre barras externas antivuelco de las camionetas y se sostienen con riendas que arriostran en los tramos medios; en su base están amarradas mediante enganches. Se efectuó el análisis estructural sobre modelos numéricos considerando diferentes estados de cargas, el material compuesto, y las particulares condiciones de apoyos. Los resultados obtenidos mostraron un buen comportamiento resistente y un estado de deformaciones que fue mejorado a partir de propuestas de rigidización. Las alternativas planteadas para disminuir los desplazamientos significativos producidos en la ejecución de las tareas que causaban incomodidad del personal mostraron ser adecuadas. La optimización de los modelos implementados como posibles alternativas de solución, encuentran una vez más un lugar muypreciado en el ámbito de las aplicaciones industriales posibilitando la simulación del comportamiento en servicio con el uso de la potencia que otorgan los métodos numérico-computacionales.

1 INTRODUCCIÓN

Las escaleras volantas están diseñadas por el fabricante **CUIDEX®** empresa argentina que desarrolla, fabrica y comercializa escaleras de plástico reforzado, como así también una variada gama de perfilería en fibra de vidrio y resina poliéster, derivada de su proceso integrado de pultrusión. En la denominada línea E de escaleras extensibles, fabrica las escaleras E-9026 y E-9032 que poseen 26 y 32 escalones, respectivamente. Las mismas cuentan con las siguientes características generales: peldaños de aleación de aluminio antideslizantes, emplacados y encasquillados; largueros no desmontables; traba peldaño de alta resistencia accionado por gravedad; sistema de izaje con doble polea lateral; protector de peldaños; porta-zapata de alto impacto, con refuerzo interior de aluminio y zapata móvil y apoyaposte. Carga de trabajo de 136 kg. Estas escaleras de industria nacional, son fabricadas bajo Norma ANSI A14.5 / 2000 como escaleras dieléctricas de plástico reforzado con fibra de vidrio.

Cada una de ellas consta de dos tramos o parantes con sección de perfiles U o tipo “C” o “canal”, realizadas en material compuesto, plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), constituido por una matriz de resina poliéster y fibras de vidrio. Estas escaleras fueron diseñadas para ser utilizadas en posición inclinada y simplemente apoyada, con un apoyo sobre el suelo y otro sobre muros, postes o paredes verticales ([Figura 1](#)). El comitente, la cooperativa eléctrica de Olavarría (Coopelectric), utiliza estas escaleras para sus operaciones montadas sobre vehículos y solicita la verificación de su comportamiento estructural para situaciones de uso no previstas por el fabricante, las que también presentan diferencias en las longitudes desplegadas con respecto a las del fabricante. En estas situaciones, las escaleras son usadas como estructuras apoyadas sobre barras externas antivuelco de camionetas y sostenidas por medio de riendas que las fijan al vehículo. De esta manera, las escaleras se comportan como estructuras en voladizo o escaleras volantas a partir del punto de fijación de las riendas ([Figura 2](#)).



Figura 1: Escalera CUIDEX



Figura 2: Escalera utilizada por Coopelectric

Modelo	Medida L (m)	Peldaños (cant.)	Peso (kg.)
E 9026	6.70	26	26.00
E 9032	8.03	32	32.00

Tabla 1. Datos de escaleras volantas

En este trabajo se analiza el comportamiento estructural en las condiciones de operatividad de las escaleras, E9026 y E9032 motivo del presente trabajo; que poseen diferentes longitudes y peso según se observa en la [Tabla 1](#). Para ello, se efectuó el análisis estructural implementando modelos computacionales que reprodujeran la geometría, los estados de carga y la sustentación en las condiciones reales de operatividad. Cabe destacar la necesidad por parte del comitente de verificar la seguridad de las escaleras frente a condiciones de sustentación que difieren de las previstas por el fabricante. Se analizaron además los desplazamientos en servicio en el extremo superior, cuestión que constituyó una de las verificaciones más relevantes. Dicho estudio condujo a proponer alternativas de rigidización para mejorar el comportamiento en servicio.

2 INFORMACIÓN DISPONIBLE E INFORMACIÓN CONSTRUCTIVA

La empresa Coopelectric puso a disposición los vehículos sobre los que se encuentran montadas las escaleras para realizar los relevamientos de datos geométricos, disposiciones de apoyos y tipo de materiales. Las escaleras E-9026 y E9032 se encuentran montadas en pickups, Ford F-100 y Toyota Hilux respectivamente.

En los ítems que siguen se presenta una descripción de las partes componentes de las escaleras y la información de la sustentación y agarre de las mismas.

2.1 Parantes

Los parantes son fabricados con una matriz usando la combinación de resina poliéster con fibra de vidrio dispuesta en forma aleatoria (PRFV). El proceso de fabricación consiste en pasar las fibras embebidas en la mezcla de resina por matrices calefaccionadas que aportan el calor necesario para iniciar la reacción de curado del perfil. Este proceso es continuo y se denomina pultrusión. Una vez curados los perfiles deberán presentar una dureza superficial superior a los 50 Barcoll. El porcentaje de fibra varía en peso entre 50 y 55 %.

La [Tabla 2](#) muestra las propiedades mecánicas del PRFV, material que conforma a los parantes de las escaleras.

Resistencia a la tracción, ASTM D-638	350 MPa
Resistencia a la compresión, ASTM D-695	250 MPa
Módulo de Young	26000 MPa
Coefficiente de Poisson	0.28
Resistencia al corte	30 MPa

Tabla 2. Propiedades mecánicas del PRFV de los parantes de las escaleras .

2.2 Peldaños

Los peldaños de sección U son de aluminio y se fabrican por proceso de extrusión. La aleación utilizada es la AA 6061-T6 cuyos principales aleantes son el silicio y el magnesio, que en proporciones correctas le confieren al material las características de dureza y resistencia adecuadas. Luego de la extrusión, el material es sometido a un proceso de templado que eleva su dureza a valores comprendidos entre 14 y 16 Webster. El peldaño se denomina tipo “D” o peldaño redondo.

2.3 Riendas

Las riendas están fabricadas con cable de acero de 4,7 mm de diámetro.

La [Figura 3](#) ofrece una vista de los parantes de la escalera, sus peldaños y las riendas de sostén.



Figura 3: Vista de la escalera sin desplegar

2.4 Apoyos

Las condiciones de apoyo de las escaleras empleadas por el comitente son diferentes a las consideradas por el fabricante,

Las escaleras operan con sus tramos desplegados y cuentan con dos apoyos y un tensor o rienda a cada lado. Uno de los apoyos es el barral trasero anexo a la camioneta como se muestra a la izquierda en la [Figura 4](#), denominado de aquí en adelante Apoyo 1, y otro está formado por una planchuela con gancho abulonada a la caja de la camioneta como se aprecia a la derecha de la misma figura, denominado en adelante Apoyo 2. La [Figura 5](#) muestra la forma de la sujeción de la escalera con cada rienda.



Figura 4: (Izq.) Apoyo 1: sobre barral de camioneta, (der.) Apoyo 2: sobre la caja de la camioneta



Figura 5: Detalle unión rienda – escalera

Las particulares condiciones de apoyos justifican la verificación del comportamiento estructural del sistema para las condiciones de trabajo realizadas por el comitente.

3 MODELOS PARA EL ANÁLISIS

Se implementaron modelos para efectuar el análisis de las condiciones de servicio de las escaleras considerando la geometría, y las características de los materiales respectivos. También en los lugares o puntos de sustentación se adoptaron las condiciones de apoyo más representativas de las reales. Las cargas contempladas fueron combinadas dando origen a los estados de carga antes mencionados representando así los posibles escenarios de operación.

Se utilizó para tal fin un software (Autodesk Algor, 2011) que emplea el Método de los Elementos Finitos, (Zienkiewicz and Taylor, 1991) disponible en el Área de Estructuras.

Las dimensiones efectuadas de las escaleras se transcriben en las Figuras 6 y 7.

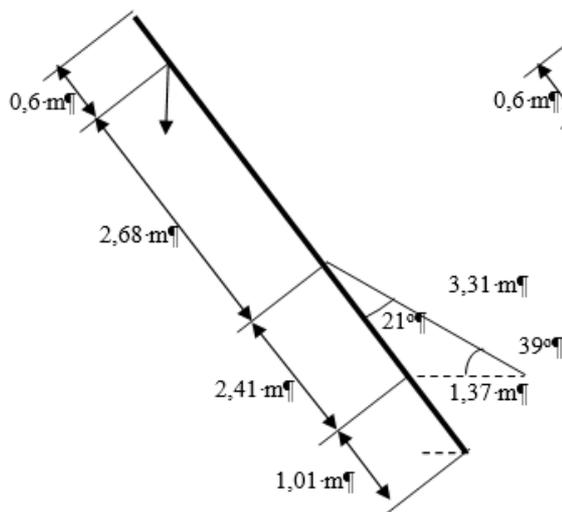


Figura 6: Medidas relevadas escalera E9026

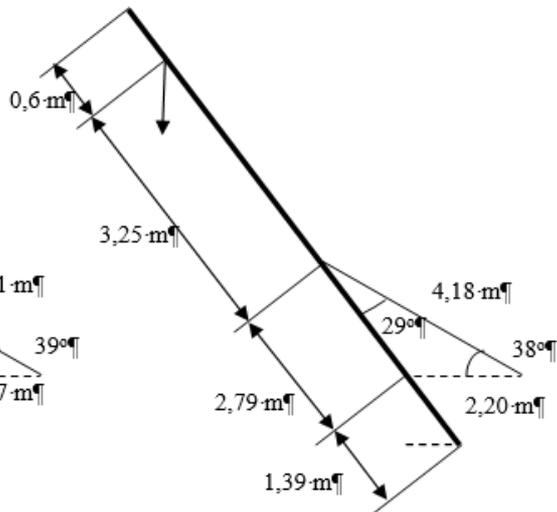


Figura 7: Medidas relevadas escalera E9032

Los perfiles U que forman los parantes responden a las dimensiones indicadas en la Figura 8

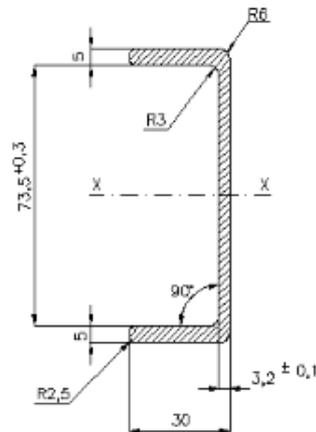


Figura 8: Perfil de los parantes de escaleras

3.1 Cargas

Se consideraron como cargas actuantes:

- Carga vertical de 1360 N (139 kgf), que contempla el peso de una persona más la carga adicional de herramientas.
- Carga horizontal lateral, proveniente del tensado de los cables en dicha dirección, estimada como 20 % de la carga vertical, 272 N
- Carga de viento, debida a velocidad máxima de operación de 25 km/h (7 m/s), de 32 N

3.2 Estados de carga considerados

Se consideraron dos estados de carga para cada una de las escaleras estudiadas:

Estado 1: Acción de carga vertical debida al peso de una persona más carga adicional de herramientas + carga horizontal lateral + carga de viento actuando en el plano que contiene la escalera (Figura 9 a).

Estado 2: Acción de carga vertical debida al peso de una persona más carga adicional de herramientas + carga horizontal lateral + carga de viento actuando en dirección normal al plano que contiene la escalera (Figura 9 b).

Estado 3: Acción de carga vertical de operario. Este estado se consideró para la evaluación de la condición de rigidez (Figura 9 c).

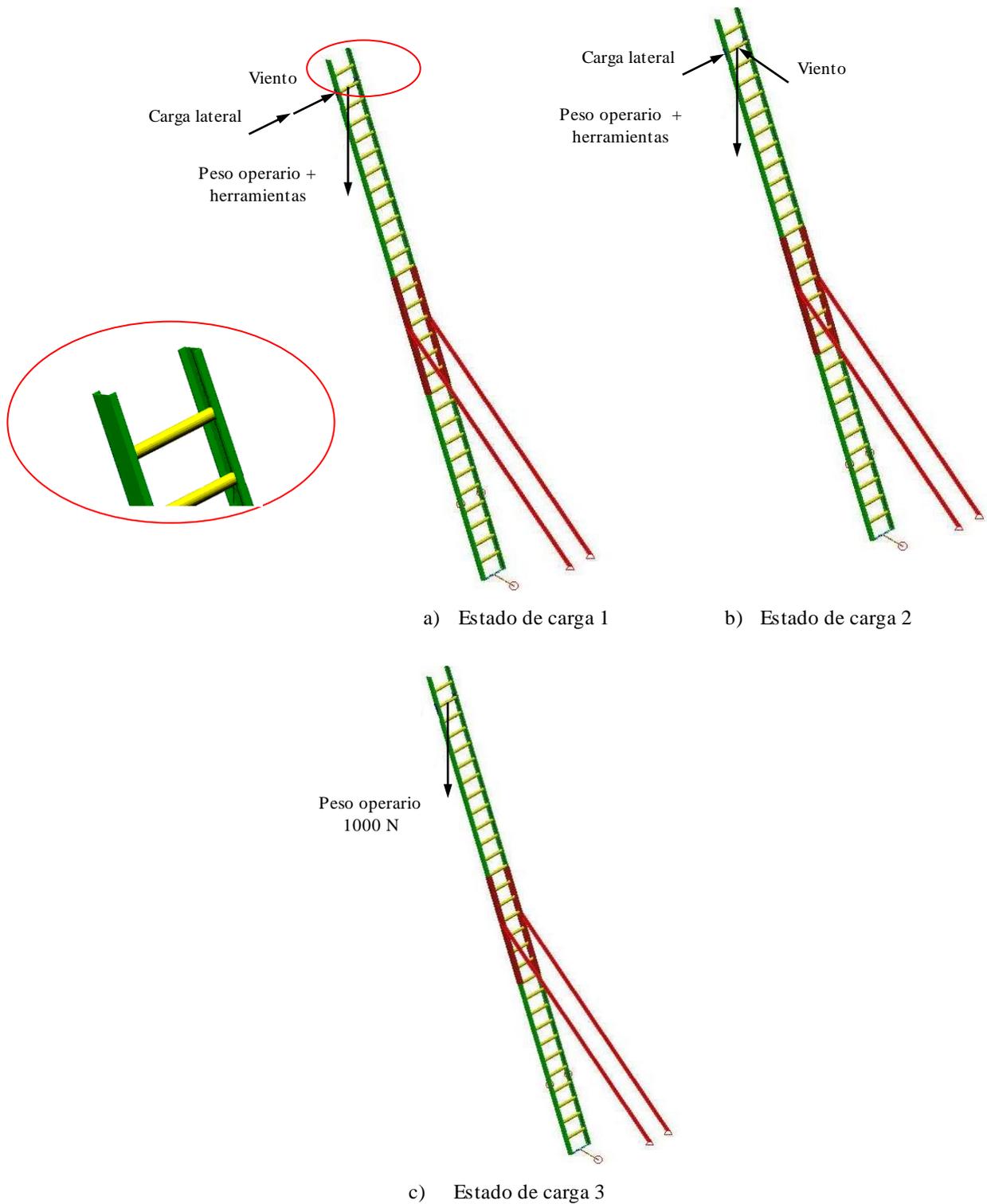


Figura 9: Estados de carga

En la [Figura 9](#) aparece un detalle ampliado de las secciones de los parantes y peldaños.

3.3 Apoyos

Los apoyos de las escaleras ya mencionados como Apoyo 1 y Apoyo 2 se muestran en la [Figura 10](#).

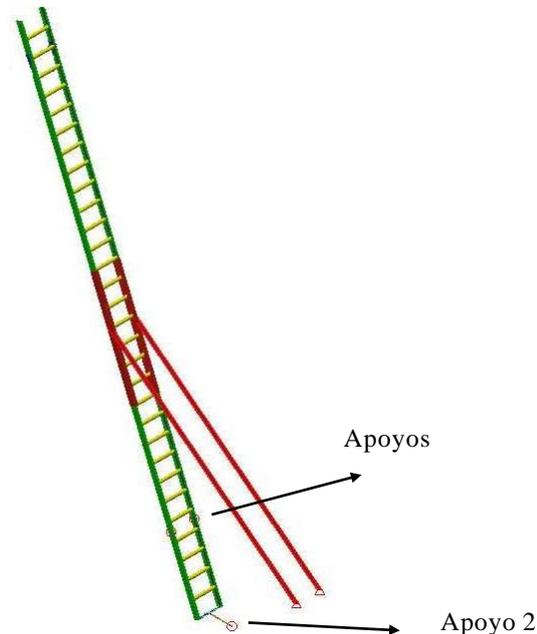


Figura 10: Apoyos 1 y 2 en el modelo

4 RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 Escalera E9026

En las [Tablas 3](#) y [4](#) se indican los resultados obtenidos. En primera fila aparece la fuerza máxima que se desarrolla en el tensor o rienda, las reacciones en los puntos de apoyo y los desplazamientos en el extremo superior de la escalera. Los signos de las magnitudes corresponden a los ejes mostrados en la [Figura 11](#).

En las [Figuras 11](#) y [12](#) se muestran las tensiones más desfavorables en los parantes de la escalera correspondientes a los Estados de Carga 1 y 2.

Fuerza axial del tensor		1985 N		
Apoyo 1	Izquierdo	$R_x = 4049.7 \text{ N}$	$R_y = -5201.1 \text{ N}$	$R_z = 0$
	Derecho	$R_x = -375.4 \text{ N}$	$R_y = 1576.5 \text{ N}$	$R_z = 0$
Apoyo 2		$R = 653.0 \text{ N}$		
Desplazamiento del extremo superior		$X = -186.8 \text{ mm}$	$Y = -104.7 \text{ mm}$	$Z = 33.8 \text{ mm}$

Tabla 3. Resultados obtenidos para el Estado 1

Las fuerzas resultantes en el Apoyo 1 a la izquierda y la derecha serán, respectivamente, $R_{izq} = 6591 \text{ N}$ y $R_{der} = 1620 \text{ N}$. La fuerza axial en el gancho tiene un valor de 578 N .

Fuerza axial del tensor		2060 N		
Apoyo 1	Izquierdo	$R_x = 3878.9 \text{ N}$	$R_y = -4892.5 \text{ N}$	$R_z = 0$
	Derecho	$R_x = -80.4 \text{ N}$	$R_y = 1171.7 \text{ N}$	$R_z = 0$
Apoyo 2		$R = 661,5 \text{ N}$		
Desplazamiento del extremo superior		$X = -194.6 \text{ mm}$	$Y = -109.0 \text{ mm}$	$Z = 30.3 \text{ mm}$

Tabla 4: Resultados obtenidos para el Estado 2

Las fuerzas resultantes en el Apoyo 1 a la izquierda y la derecha serán, respectivamente, $R_{izq} = 6243 \text{ N}$ y $R_{der} = 1174 \text{ N}$. La fuerza axial en el gancho tiene un valor de 602 N .

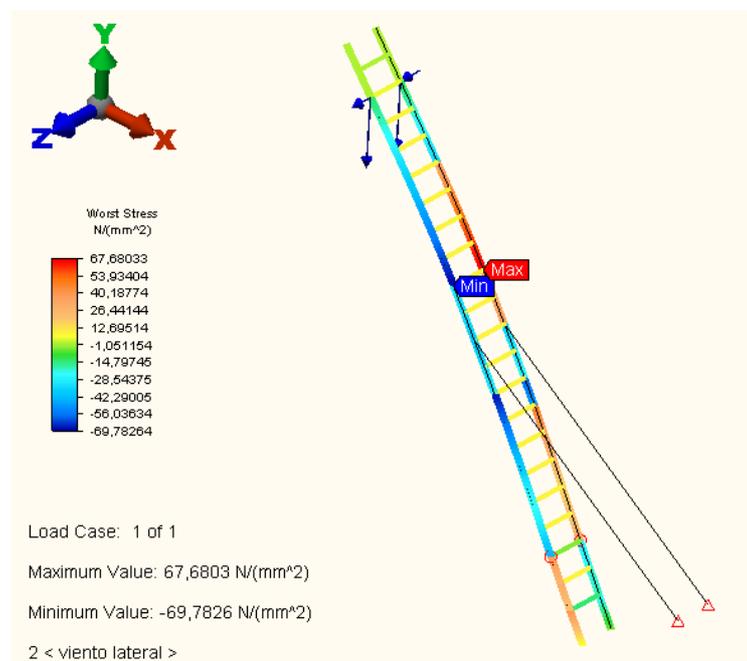


Figura 11: Tensiones más desfavorables para el Estado 1 para la Escalera E9026

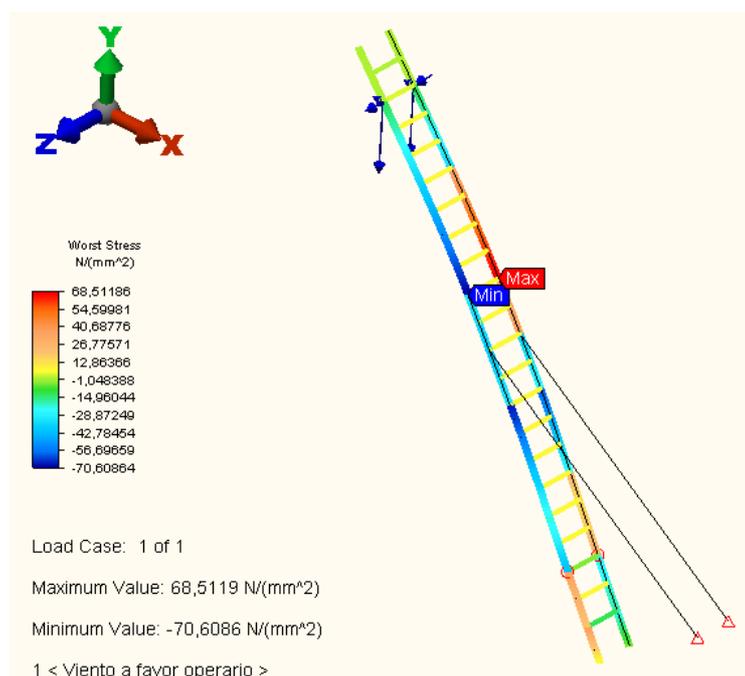


Figura 12: Tensiones más desfavorables para el Estado 2 para la escalera E9026

4.2 Escalera E9032

En las Tablas 5 y 6 se indican los resultados obtenidos de la fuerza máxima que se desarrolla en el tensor y las reacciones en los puntos de apoyo y los desplazamientos en el extremo superior de la escalera. Los signos de las magnitudes corresponden a los ejes mostrados en la figura 9.

En las Figuras 13 y 14 se muestran las tensiones más desfavorables en los parantes de la escalera correspondientes a los Estados de carga 1 y 2.

Fuerza Axial Tensor		1494 N		
Apoyo 1	Izquierdo	$R_x = -1042 \text{ N}$	$R_y = 0 \text{ N}$	$R_z = 3564 \text{ N}$
	Derecho	$R_x = 3680 \text{ N}$	$R_y = 0 \text{ N}$	$R_z = -6663 \text{ N}$
Apoyo 2		$R = 530 \text{ N}$		
Desplazamiento extremo superior		$X = -272 \text{ mm}$	$Y = 43,23 \text{ mm}$	$Z = 114 \text{ mm}$

Tabla 5. Resultados para Estado de carga 1.

La fuerza resultante en el apoyo 1 a la izquierda y la derecha serán, respectivamente, $R_{izq} = 3714 \text{ N}$ y $R_{der} = 7612 \text{ N}$. La fuerza axial en el gancho tiene un valor de 434 N .

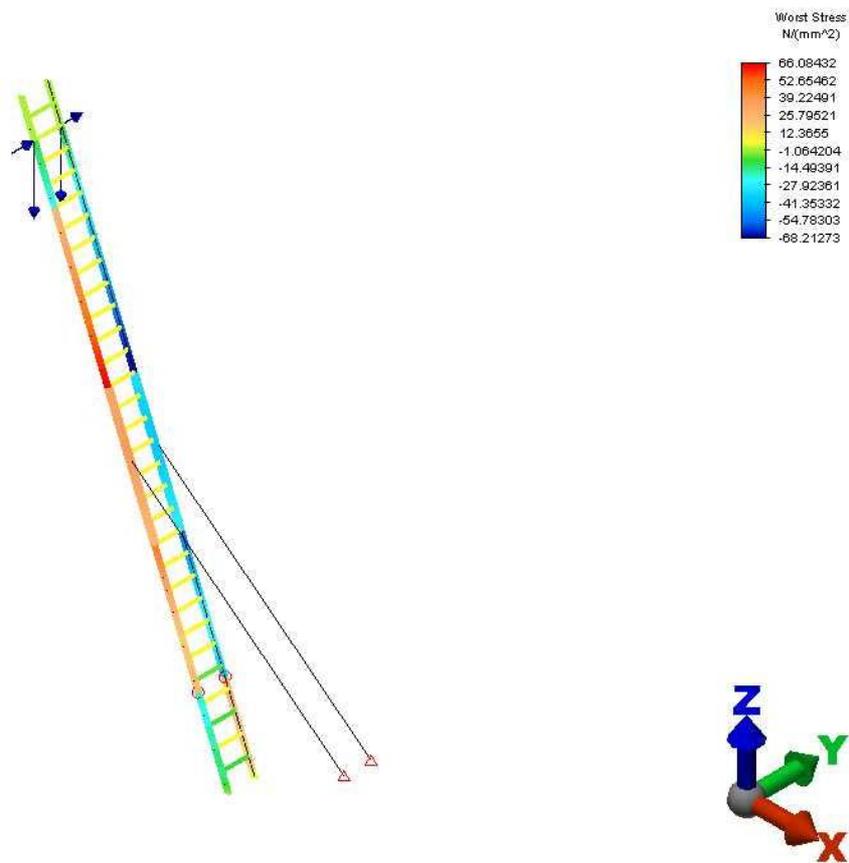


Figura 13: Tensiones del Estado de carga 1.

Fuerza Axial Tensor		1565 N		
Apoyo 1	Izquierdo	$R_x = -735 \text{ N}$	$R_y = 0 \text{ N}$	$R_z = 2977 \text{ N}$
	Derecho	$R_x = 3491 \text{ N}$	$R_y = 0 \text{ N}$	$R_z = -6175 \text{ N}$
Apoyo 2		$R = 534 \text{ N}$		
Desplazamiento extremo superior		$X = -287 \text{ mm}$	$Y = 38,7 \text{ mm}$	$Z = -120 \text{ mm}$

Tabla 6. Resultados para Estado de carga 2.

Las fuerzas resultantes en el apoyo 1 a la izquierda y la derecha serán, respectivamente, $R_{izq} = 3066 \text{ N}$ y $R_{der} = 7093 \text{ N}$. La fuerza axial en el gancho tiene un valor de 459 N .

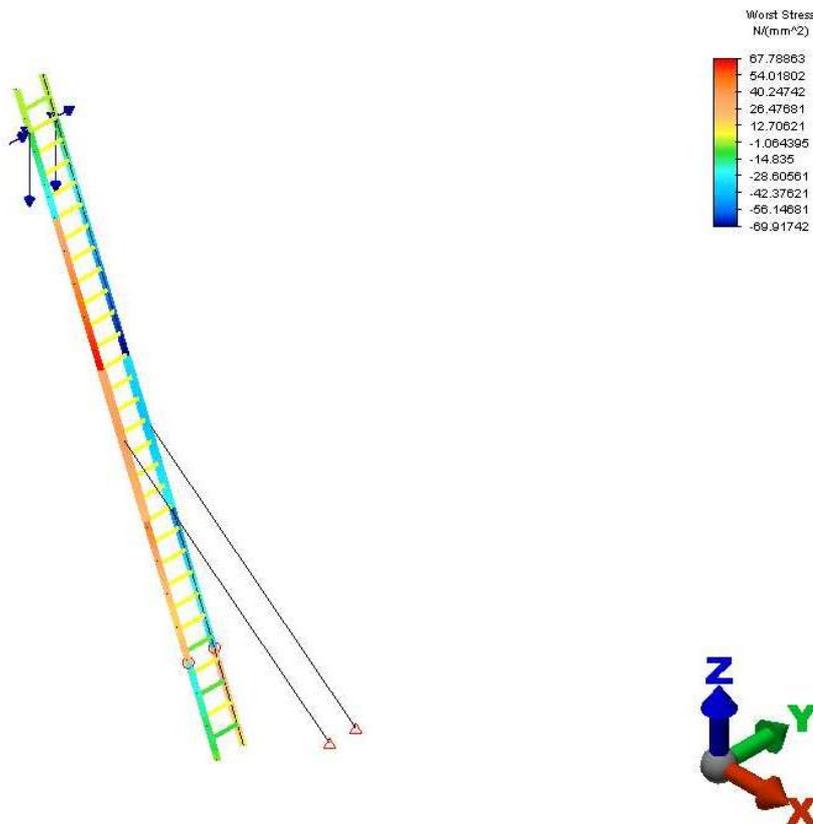


Figura 14: Tensiones del Estado 2

Los resultados obtenidos de los esfuerzos en el tensor en la escalera E-9026 de aproximadamente 2000 N para ambos estados, y en la escalera E-9032 de aproximadamente 1500 N se deben a que la inclinación respecto a la vertical no es la misma, pese a que la escalera E-9032 es de mayor longitud.

5 VERIFICACIONES DESDE EL PUNTO DE VISTA RESISTENTE

Se realizaron las respectivas verificaciones resistentes (Gere & Timoshenko, 1998) de las escaleras propiamente dichas y de las uniones que constituyen los apoyos, cumpliéndose las mismas para ambas escaleras.

6 VERIFICACIONES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA RIGIDEZ

6.1 Escalera E9026

A los efectos de la evaluación de la condición de rigidez, se considera el Estado de carga 3, con una carga en la dirección vertical de 1000 N asignada al peso de un operario. (Figura 15) que correspondería a un estado de servicio.

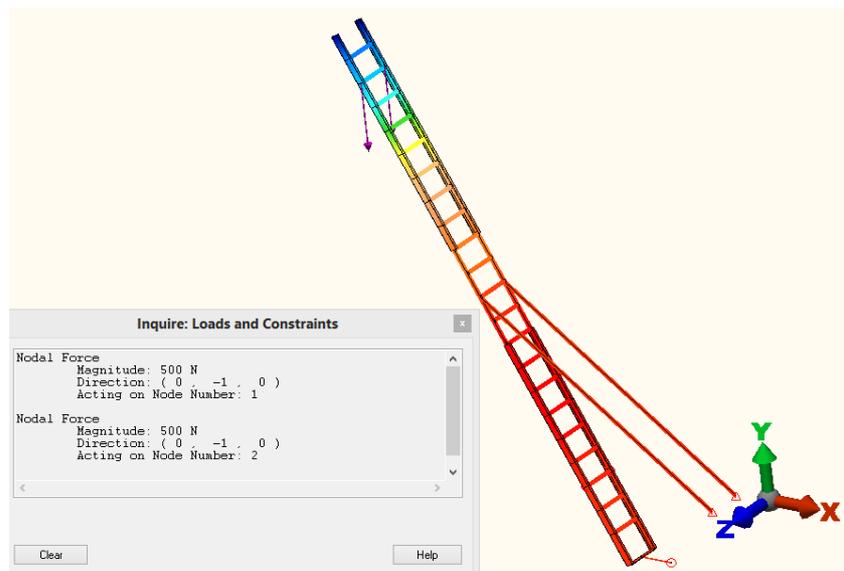


Figura 15: Estado de carga 3

En la [Tabla 7](#) se incluyeron los desplazamientos correspondientes los Estados de carga analizados, del Estado de carga 3 y los respectivos a las modificaciones propuestas. Para esta escalera y de acuerdo al sistema de ejes de las figuras los desplazamientos en dirección X son los perpendiculares al plano de la escalera, los de dirección Y son desplazamientos verticales y los de la dirección Z son los desplazamientos laterales.

Dada la magnitud de los valores que aparecen en la [Tabla 7](#), y con la intención de disminuirlos se propusieron dos cambios diferentes, uno denominado Modificación 1 en la que se agrega una rienda, de igual diámetro y material que el tensor existente, que va desde el nivel en que actúan las cargas consideradas para el Estado 2 al soporte inferior existente; como se observa en la [Figura 16](#). Se tomó el Estado de carga 2 dado que representa el estado con desplazamientos más desfavorables, si bien el desplazamiento lateral Z del Estado de carga 1 es de 3,5 mm mayor comparado con el del Estado de carga 2.

La otra alternativa denominada Modificación 2, es la que el tensor agregado va desde el nivel en que actúan las cargas consideradas para el Estado 2 y su conexión inferior, a la caja del utilitario, tiene una separación de 40 cm respecto del tensor existente como se observa en la [Figura 17](#).

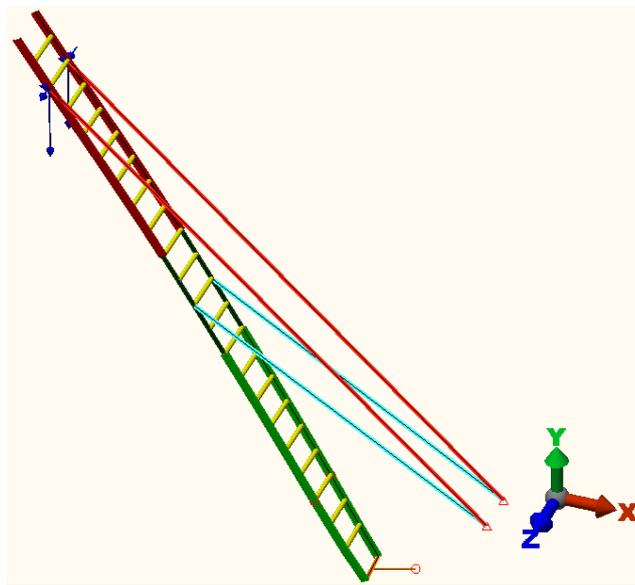


Figura 16: Vista de la ubicación del tensor agregado según la Modificación 1

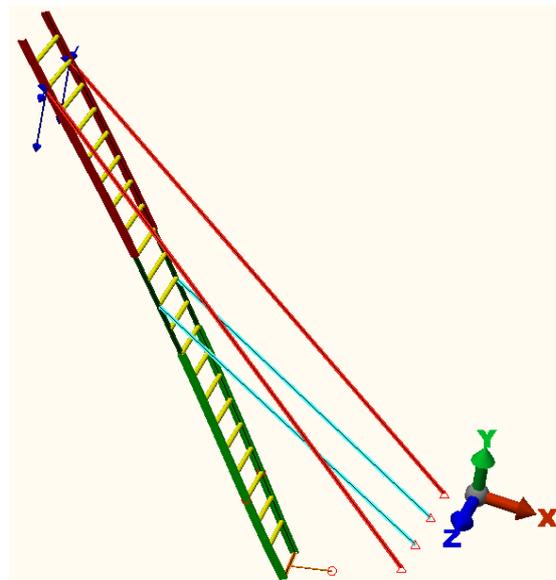


Figura 17: Vista de la ubicación del tensor agregado según la Modificación 2

	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Modificación 1	Modificación 2
Desplazamientos Extremo Superior [mm]	X=-186.8	X= -194.6	X= -137	X= -12.7	X= -14.7
	Y= -104.7	Y= -109.0	Y= -76.3	Y= -8.3	Y= -9.2
	Z= 33.8	Z= 30.3	Z= 0	Z= 29.9	Z= 21.2

Tabla 7. Desplazamientos para los Estados de carga 1, 2 y 3 y las modificaciones propuestas para el Estado de carga 2.

6.2 Escalera E9032

Se propusieron iguales alternativas de cambios que en el caso de la escalera E9026, y por

razones totalmente análogas se consideró como estado de carga al Estado 2. Cabe aclarar que en este caso el desplazamiento lateral, se identifica con la dirección del eje Y, y resulta ser 4,53 mm menor comparado con el del Estado 1. Se transcriben los respectivos resultados en la [Tabla 8](#).

	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Modificación 1	Modificación 2
Desplazamientos Extremo Superior [mm]	X= -272	X= -287	X= -199,6	X= -11,9	X= -14
	Y= 43,23	Y= 38,7	Y= 0	Y= 38,01	Y= 29
	Z= 114	Z= -120	Z= -82,8	Z= -6,42	Z= -7

Tabla 8. Desplazamientos para los Estados de carga 1, 2 y 3 y las modificaciones propuestas para el Estado de carga 2.

En la [Tabla 9](#) se resumen los resultados obtenidos para el estado considerado más desfavorable de las escaleras en la situación de uso actual y en las condiciones con las modificaciones propuestas según los análisis efectuados.

	Desplazamientos	Estado 2	Modificación 1	Modificación 2
E9026	Horizontal	-194.6 mm	-12.7 mm	-14.7 mm
	Vertical	-109.0 mm	-8.3 mm	-9.2 mm
	Lateral	30.3 mm	29.9 mm	21.2 mm
E 9032	Horizontal	-287 mm	-11,9 mm	-14mm
	Vertical	-120 mm	-6,42 mm	-7 mm
	Lateral	38,7 mm	38,01 mm	29 mm

Tabla 9: Resumen de desplazamientos

7 CONCLUSIONES

En virtud de los resultados obtenidos se puede concluir:

- Las particulares condiciones de apoyo justifican la verificación del comportamiento estructural del sistema para las condiciones de trabajo realizadas por el comitente.
- Las evaluaciones efectuadas indican que se verifican todas las condiciones de resistencia para las condiciones de servicio de las escaleras analizadas.
- En cuanto a la rigidez del sistema, la flexibilidad obtenida en las condiciones más desfavorables (Estado 2) provoca importantes desplazamientos en el extremo superior para ambas escaleras afectando el confort y la seguridad del usuario.
- Las modificaciones 1 y 2 propuestas mejoran significativamente el nivel de desplazamientos aumentando consecuentemente el grado de seguridad y confort para el personal afectado.
- En particular, la modificación 1 es la sugerida e implementada debido a que origina una disminución mayor de los desplazamientos horizontales y verticales que la Modificación 2 y es más fácil de materializar.

REFERENCIAS

ASTM D638-14 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

ASTM D695-15 Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics

Autodesk Algor Simulation Professional 2011.

Gere, Timoshenko, *Mecánica de Materiales*, International Thomson Editores, cuarta edición, 1998.

<http://www.cuidex.com.ar/>

Zienkiewicz, O.C., and Taylor, R.L., *The finite element method*, volume II. McGraw Hill, 1991.