



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Diseño, cálculo y optimización de un semirremolque con cisterna criogénica hecho en acero inoxidable y con aislamiento de vacío.

Design, calculation and optimization of a cryogenic tank semitrailer made of stainless steel and with vacuum isolation.

Autor/es

Miguel Medina Jarones

Director/es

Luis Castejón Herrer
Joseba Dehesa Vicén

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Año 2018



DECLARACIÓN DE
AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Miguel Medina Jarones

con nº de DNI 73005117N en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Máster, (Título del Trabajo)

Diseño, cálculo y optimización de un semirremolque con cisterna criogénica
hecho en acero inoxidable y con aislamiento de vacío.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 23 de noviembre de 2.018

Fdo: Miguel Medina

RESUMEN

En este proyecto se va a diseñar, calcular y optimizar un semirremolque con cisterna criogénica fabricado en acero inoxidable.

Para poder realizar este estudio se parte de un modelo geométrico de un semirremolque criogénico con aislamiento de perlita y estructura de acero al carbono modificando dicha estructura con acero inoxidable y aislamiento de multicapa con vacío.

Se llevan a cabo los cálculos mediante el método de elementos finitos en diferentes estados de carga para posteriormente, optimizar dicha estructura a través de diferentes iteraciones aligerando los elementos sobredimensionados y reforzando aquellos puntos para conseguir un conjunto con un coeficiente de seguridad adecuado.

Finalmente, se muestran los resultados obtenidos con el diseño optimizado del semirremolque.

ÍNDICE

1. Introducción.....	3
1.1. Transporte de líquidos criogénicos	3
1.2. Objetivos.....	3
2. Materiales.....	4
2.1. Zona King-pin.....	4
2.2. Zona cisterna y estructura	4
2.3. Zona de suspensión	5
2.3. Zona de aislamiento	6
3. Diseño	7
3.1. Introducción	7
3.2. Cisterna criogénica.....	7
4. Modelo de elementos finitos	8
5. Cargas y condiciones de contorno.....	8
5.1. Cargas	8
5.2. Caso apoyo en patas	9
5.3. Caso de frenada	10
5.4. Caso de curva.....	11
5.5. Caso de curva con radio mínimo	12
6. Análisis de resultados	14
6.1. Modelo inicial	14
6.2. Modelo optimizado	15
6.3. Comparación de modelos	15
7. Conclusión.....	16
6. Bibliografía.....	17
ANEXO I: ELEMENTOS COMERCIALES.....	18
ANEXO II: HERRAMIENTAS UTILIZADAS	28
ANEXO III: RESULTADOS.....	29

1. Introducción

1.1. Transporte de líquidos criogénicos

Actualmente una gran parte de los transportes se realizan mediante carretera y por ello surge la problemática de gestionar las mercancías, además de optimizar los medios de transporte.

El vehículo más utilizado para el transporte de materiales voluminosos o especiales es el camión con remolque y por ello, en este proyecto se va a realizar un estudio detallado de este tipo de vehículos usado en el transporte de líquidos, especialmente el nitrógeno líquido.

Para poder transportar este tipo de líquidos especiales existen unas regulaciones totalmente definidas que obligan a realizar un diseño siguiendo el ADR (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercancías) en base al código de diseño según la norma UNE-EN 13530 “Recipientes criogénicos. Grandes recipientes transportables aislados en vacío”.

1.2. Objetivos

El principal objetivo de este proyecto es llegar a un modelo optimizado de semirremolque que cumpla tanto con la normativa vigente como con los requisitos en cuanto a cargas, esfuerzos y deformaciones admisibles.

Estos objetivos se conseguirán a través de diferentes cálculos iterativos según el método de los elementos finitos, cambiando el material de construcción por un acero inoxidable y optimizando la estructura.

A lo largo del proyecto se detallarán los materiales utilizados así como las hipótesis y condiciones elegidas para poder llegar posteriormente a unos resultados visibles que se mostrarán al final de esta memoria.

2. Materiales

2.1. Zona King-pin.

El material usado en la chapa de king-pin es el acero Strenx 700 de SSAB, ya que aporta una gran resistencia y permite realizar un aligeramiento de los componentes de la misma forma que se usó en el modelo optimizado inicial. Las propiedades de dicho de acero se muestran en la Tabla 1:

Acero Strenx 700	
Tensión de rotura (MPa)	850
Tensión de fluencia (MPa)	700
Coeficiente de Poisson (ν)	0,3
Módulo de Young (E)	210.000
Densidad (ρ) (kg/m ³)	7.800

Tabla 1

Para el king-pin se ha mantenido el acero S355 del fabricante Leeco Steel, según la norma EN10025:2004, como en el modelo inicial ya que toda esa zona del semirremolque se compra como un pack y por lo tanto su diseño es estándar y fabricado en acero S355. También se ha mantenido este material para la zona de la chapa de king-pin y las U delanteras ya que es una zona que necesita las propiedades mecánicas del acero S355 que se detallan a continuación:

Acero S355	
Tensión de rotura (MPa)	510
Tensión de fluencia (MPa)	355
Coeficiente de Poisson (ν)	0.3
Módulo de Young (E) (MPa)	210.000
Densidad (ρ) (kg/ m ³)	7.800

Tabla 2

2.2. Zona cisterna y estructura

Para la parte de la cisterna se ha empleado el acero inoxidable austenítico ACX200 de Acerinox ya que posee unas buenas propiedades de resistencia a la corrosión, conformabilidad y soldabilidad. En la Tabla 3 se muestran las propiedades mecánicas de dicho acero:

Acero inoxidable ACX 200	
Tensión de rotura (MPa)	670
Tensión de fluencia (MPa)	230
Coeficiente de Poisson (ν)	0,3
Módulo de Young (E) (MPa)	200.000
Densidad (ρ) (kg/m ³)	7.900

Tabla 3

En la Tabla 4 se pueden observar la composición química del acero inoxidable ACX200:

Acero inoxidable ACX 200	Cantidad (%)
C	$\leq 0,030$
Si	$\leq 0,75$
Mn	$\leq 2,00$
P	$\leq 0,040$
S	$\leq 0,015$
Cr	18,00 – 19,00
Ni	9,00 – 10,00

Tabla 4

2.3. Zona de suspensión

En los bulones de la suspensión se ha mantenido el acero S355 ya que el kit completo de la suspensión es un elemento comercial fabricado en este material tal y como se puede observar en la Imagen 1 además se pueden consultar sus especificaciones técnicas en el Anexo I, por lo que al ser estándar se ha simulado como tal.



Imagen 1

2.3. Zona de aislamiento

Para la zona comprendida entre la cisterna interior y exterior se ha cambiado el aislamiento formado por perlita en el modelo inicial y se ha utilizado un material MLI (Multi Layer Insulation), en el Anexo I se puede consultar su ficha técnica. Este material se forma por varias capas de láminas de aluminio intercaladas con capas de un polímero que hace mejorar el aislamiento en cuanto a aislantes convencionales.

Las primeras investigaciones sobre el MLI se realizaron en el campo de la aeronáutica empezando a utilizarse por parte de la NASA y actualmente es un material utilizado en diversas aplicaciones como aislamiento.

El MLI se utiliza en ambientes de vacío ya que la parte creada por el aluminio refleja la temperatura irradiada hacia su superficie, el poliéster actúa como un espaciador para prevenir la transferencia de temperatura por conducción entre capas, y el vacío previene de la transferencia de temperatura por convección. Hoy en día se considera el MLI como uno de los mejores aislantes para aplicaciones criogénicas ya que comparándolo con otros materiales se puede ver una gran diferencia en términos de conductividad térmica:

- MLI (espesor de 5 pulgadas): $0.13 \frac{mW}{m \cdot K}$.
- Perlita (espesor de 6 pulgadas): $1 \frac{mW}{m \cdot K}$.
- Aerogel con carbono (espesor de 3 pulgadas): $0.55 \frac{mW}{m \cdot K}$.
- Espuma (temperatura ambiente): $30 \frac{mW}{m \cdot K}$.

En la Imagen 2 se puede observar un ejemplo de una manta aislante de material multicapa:



Imagen 2

Para el diseño de la cisterna se ha utilizado un MLI de RUAG llamado Coolcat 2NF del que se puede ver su ficha técnica en el Anexo I, está formado por 11 capas intercaladas de fibra de vidrio y 10 capas de una película de aluminio de

espesor 9 μm con el que se pueden formar mantas de espesores muy diversos. En la Tabla 5 se muestran sus propiedades:

MLI	
Coeficiente de Poisson (ν)	0.4
Módulo de Young (E) (MPa)	3.000
Densidad (ρ) (kg/m^3)	50
Resistencia a la compresión (MPa)	110

Tabla 5

3. Diseño

3.1. Introducción

En este apartado se explican las fases que se han seguido para el diseño, las hipótesis asumidas y los cambios realizados sobre el modelo original cedido por el Área de Transportes de la Universidad de Zaragoza.

En el proyecto se ha seguido con el modelo creado anteriormente por la Universidad de Zaragoza, realizando cambios y optimizando la estructura teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las diferentes iteraciones.

3.2. Cisterna criogénica

En este apartado se expone el diseño realizado para la cisterna criogénica que va a contener nitrógeno líquido para su transporte. Esta cisterna está construida por una cisterna interior y otra exterior fabricadas en acero inoxidable dejando una cámara de separación entre ellas donde irá instalado el material MLI como aislante y donde se aplicará el vacío para evitar la transmisión de temperatura al exterior.

A continuación se detallan las presiones teóricas a las que la cisterna se verá sometida:

Se considera la cisterna como un cilindro de pared delgada, donde la presión interna se expresará:

$$\sigma_{\theta} = \frac{P \cdot r}{e}$$

Siendo:

- P: presión interna de la cisterna (MPa).
- r: el radio de la cisterna (mm).
- e: espesor de la cisterna (mm).

Debido a esta relación, en el modelo inicial se decidió por disminuir el diámetro de la cisterna y aumentar la longitud para obtener el mismo volumen de

transporte. De esta forma se minimizan las tensiones y se aumenta la estabilidad del semirremolque ya que su centro de gravedad es más bajo.

Se calcularon las siguientes dimensiones:

- Cisterna interior: diámetro de 1.98 m. y una longitud de 13.4 m.
- Cisterna exterior: diámetro de 1.88 m. y una longitud de 13.5 m.
- Volumen interior: 35.8 m³ de volumen total, 32.2 m³ de volumen efectivo.

4. Modelo de elementos finitos

Una vez se han tenido en cuenta los diferentes aspectos del diseño del semirremolque se pasa a modificar el modelo inicial cedido por la Universidad de Zaragoza.

En este modelo la mayoría de los elementos se han modelado como superficie a la que posteriormente se les han aplicado un espesor excepto los elementos en los que no ha sido posible modelarlos como superficie y se han tenido que modelar como sólidos (king-pin, barras de soporte de suspensión o aislante).

En el modelo se había realizado una malla fina que se ajusta a la geometría del modelo y se habían aplicado las cargas a las que está sometida la cisterna en todo momento como son la presión hidrostática del nitrógeno líquido, la presión creada por la presurización de la cisterna y la aceleración de la gravedad a las que se irán añadiendo las cargas que actúan en cada caso particular. Por otro lado, se han definido las condiciones de contorno asumiendo los apoyos del king-pin y los apoyos de suspensiones como muelles así como las condiciones de contorno específicas para cada situación concreta que se detallarán más adelante.

La malla del modelo está prácticamente formada en su totalidad por elementos S4R y sólo en algunas partes se han tenido que utilizar elementos S3R donde los elementos S4R no admitían su utilización.

5. Cargas y condiciones de contorno

5.1. Cargas

En este apartado se van a describir las cargas permanentes a las que va a estar sometido el modelo en todos los casos simulados.

- Presión hidrostática: esta carga es la que ejerce el nitrógeno líquido sobre la cisterna interior y que será uniforme con un valor de 5 atm. en la parte superior de la cisterna debido a la presurización de la misma y va

aumentando sumando la presión que ejerce el propio líquido hasta la parte inferior de la cisterna.

Se considera que la cisterna se llenará al 90% de su capacidad, por lo que la altura total del nitrógeno líquido será de 1.62 m.

Así, en los primeros 360 mm. de la parte superior de la cisterna no habría líquido y sólo actuaría la presión ejercida por la propia presurización de la cisterna (5 atm = 506.625Pa.). A partir de esa altura la presión irá aumentando según la siguiente expresión:

$$P_n = 506625 + \rho \cdot g \cdot h$$

Así, en la parte inferior de la cisterna se obtendrá:

$$P_0 = 506625 + 1.073 \cdot 9.81 \cdot 1.62 = 523.681 \text{ Pa} = 0.524 \text{ MPa}$$

Siendo:

- ρ : densidad del nitrógeno líquido ($\frac{kg}{m^3}$)=1.073,23.
 - g : aceleración de la gravedad($\frac{m}{s^2}$) = 9,81.
 - h : altura del nitrógeno líquido (m) = 1,62.
- Presión de vacío: como se ha comentado anteriormente, las cisternas criogénicas tienen que cumplir la normativa vigente y uno de los puntos más importantes es su aislamiento con el exterior. Por esta razón, las cisternas de los semirremolques se componen de una cisterna interior y una cisterna exterior dejando un espacio de aislamiento entre ellas.

En este diseño, se ha optado por incorporar como material aislante el MLI (Multi Layer Insulation) y además se ha incorporado una presión de vacío para mejorar el aislamiento. Se ha aplicado una presión de vacío de 0.7 bar que afectará tanto a la cisterna interior como a la cisterna exterior.

- Fuerza de la gravedad: al realizar el modelo del diseño hay que tener en cuenta que hay que añadir una fuerza de la gravedad que va a actuar sobre todo el conjunto del semirremolque y por ello se ha añadido la aceleración sufrida por la gravedad.

5.2. Caso apoyo en patas

En el siguiente caso se calcula la situación en la que el remolque apoya sobre sus patas y está desconectado de la cabina tractora. Para ello, se suprime la fuerza aplicada en el king-pin y se aplica sobre el apoyo de estacionamiento.

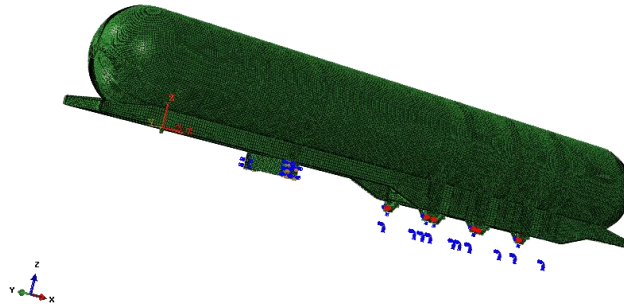


Imagen 3

Se mantienen las condiciones de contorno aplicadas en el modelo inicial, se describen a continuación:

Grados de libertad		Bulones soportes suspensión	Diapreses	King-pin
Desplazamientos	Eje longitudinal	Restringido	Libre	Restringido
	Eje transversal	Restringido	Libre	Restringido
	Eje vertical	Restringido	Muelle K1	Restringido
Giros	Eje longitudinal	Restringido	Libre	Restringido
	Eje transversal	Libre	Libre	Libre
	Eje vertical	Restringido	Libre	Restringido

Tabla 6

5.3. Caso de frenada

En este caso se analiza la situación real de frenada del semirremolque en el supuesto de condiciones favorables, con máximo rozamiento utilizando los neumáticos más nuevos y la calzada en condiciones óptimas.

Para simular esta situación real, se ha asumido aplicar una deceleración de 0.8 veces la aceleración de la gravedad además de generar una fuerza longitudinal que emule el comportamiento del líquido al frenar.

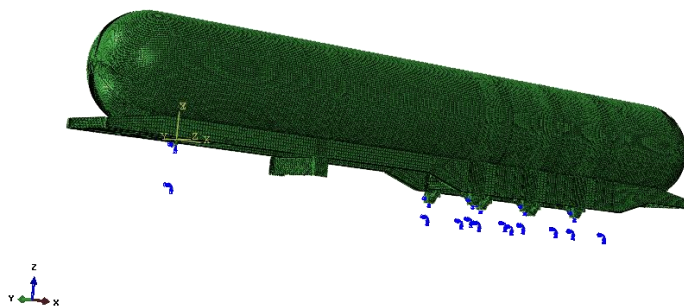


Imagen 4

Las condiciones de contorno son las que se describen a continuación:

Grados de libertad		Bulones soportes suspensión	Diapreses	King-pin
Desplazamientos	Eje longitudinal	Restringido	Libre	Restringido
	Eje transversal	Restringido	Libre	Restringido
	Eje vertical	Muelle K2	Muelle K1	Muelle K
Giros	Eje longitudinal	Restringido	Libre	Restringido
	Eje transversal	Libre	Libre	Restringido
	Eje vertical	Restringido	Libre	Restringido

Tabla 7

5.4. Caso de curva

En este modelo se quiere calcular y optimizar el semirremolque para varias situaciones reales y una de ellas sin duda es el caso de curva, al cual se va a ver sometido el semirremolque en cualquiera de las carreteras utilizadas.

En este caso se ha supuesto una aplicación de una aceleración transversal igual a 0.4 veces la aceleración de la gravedad, además de tener en cuenta el desplazamiento de la masa del líquido sobre la superficie situada en el exterior de la curva.

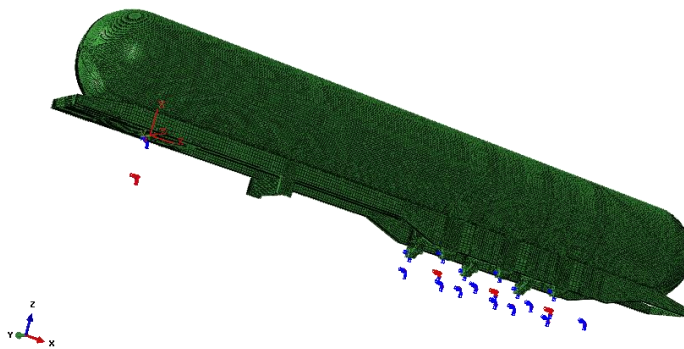


Imagen 5

Se mantienen las condiciones de contorno aplicadas en el modelo inicial como se describe a continuación:

Grados de libertad		Bulones soportes suspensión	Diapreses	King-pin
Desplazamientos	Eje longitudinal	Restringido	Libre	Restringido
	Eje transversal	Libre	Libre	Restringido
	Eje vertical	Muelle K2	Muelle K1	Muelle K
Giros	Eje longitudinal	Restringido	Libre	Restringido
	Eje transversal	Libre	Libre	Restringido
	Eje vertical	Restringido	Libre	Restringido

Tabla 8

5.5. Caso de curva con radio mínimo

En este caso se estudia el giro que realiza el semirremolque cuando el camión maniobra a velocidades muy bajas y suponiendo uno de los casos más desfavorables, cuando la cabeza tractora y el semirremolque forman un ángulo de 90° . Tal y como se muestra en la Imagen

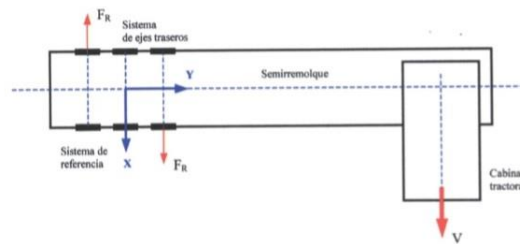


Imagen 6

El semirremolque se ve sometido a un esfuerzo de torsión debido a las fuerzas F_R que aparecen en los ejes primero y tercero.

Tal y como se especifica en el modelo inicial, las fuerzas y momentos a los que está sometido el modelo se calculan con respecto a los bulones de los soportes de suspensión, según se muestra en la Imagen:

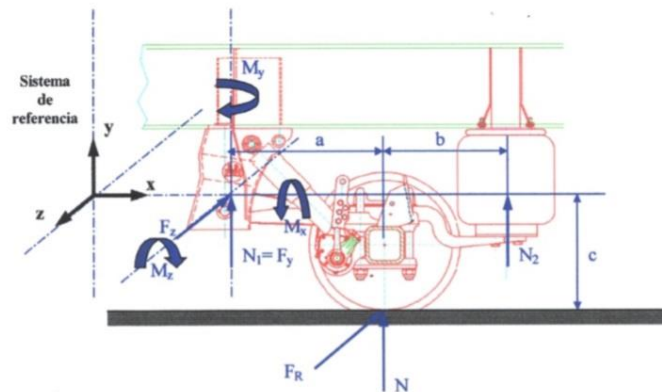


Imagen 7

Como ya se había calculado anteriormente en el modelo inicial, se tienen como resultado los siguientes esfuerzos para el primer eje:

$$\begin{aligned}F_{ysoporte} &= 26.647 \text{ N.} \\F_{ydiapress} &= 12.664 \text{ N.} \\F_z = F_R = \mu \cdot N &= -55.034 \text{ N.} \\M_x = F_R \cdot c \cdot f_1 &= -5.795.095 \text{ Nmm.} \\M_y = F_R \cdot a \cdot f_2 &= 2.660.570,2 \text{ Nmm.}\end{aligned}$$

Donde:

- $\mu = 1,4$. Coeficiente de rozamiento estimado por Lecitrailer.
- $f_1 = 0,3$. Coeficiente de minoración.
- $f_2 = 0,1$. Coeficiente de minoración.
- $a = 483,5$ mm.
- $b = 367,4$ mm.
- $c = 351$ mm.

Se aplican los coeficientes de minoración anteriormente descritos porque gran parte de los momentos generados se ven absorbidos por la suspensión.

Calculando de la misma forma, se tienen los siguientes esfuerzos para el tercer eje:

$$\begin{aligned}F_{ysoporte} &= 25.952,4 \text{ N.} \\F_{ydiapress} &= 12.669 \text{ N.} \\F_z = F_R = \mu \cdot N &= 55.043,9 \text{ N.} \\M_x = F_R \cdot c \cdot f_1 &= 5.796.119,5 \text{ Nmm.} \\M_y = F_R \cdot a \cdot f_2 &= -2.661.040,9 \text{ Nmm.}\end{aligned}$$

El segundo eje solamente se ve sometido a fuerzas verticales ya que el semirremolque gira sobre este eje y no actúa sobre él ninguna fuerza transversal.

$$\begin{aligned}F_{ysoporte} &= 25.952,4 \text{ N.} \\F_{ydiapress} &= 12.669 \text{ N.}\end{aligned}$$

Todas estas cargas se aplican en el modelo junto con las condiciones de contorno, donde se impide cualquier movimiento en el king-pin y los movimientos transversales del segundo eje.

6. Análisis de resultados

6.1. Modelo inicial

Del modelo cedido por la Universidad de Zaragoza, se obtiene la Tabla donde se puede observar el modelo optimizado con los materiales utilizados, su tensión equivalente de Von Mises máxima, su espesor y su coeficiente de seguridad.

Caso: RESULTADO CALCULOS PRIMER MODELO	Material	ESPESOR(mm.)	PESO TOTAL (KG.)	MÁXIMO	
				VM(Mpa)	CS
Chapa deslizamiento	355	4	46,2	244	1,45491803
Chapa Kingpin	700	6,5	79,5	484	1,44628099
Cierre delantero y trasero	355	2	7	65	5,46153846
U delanteras	700	6	118,6	424	1,6509434
Soporte estacionamiento	355	6	14,5	221	1,60633484
Viga estacionamiento	355	2	9,7	125	2,84
Refuerzo de llanta en soporte estacionamiento	355	2	2	98	3,62244898
Nervios	355	10	24,7	219	1,62100457
U rigidificadoras suspensión	700	10	65,9	440	1,59090909
Alas viga suspensión	355	6,5	28	227	1,56387665
Almas viga suspensión	355	4,5	19,1	216	1,64351852
Alas travesaño	355	2	5,6	84	4,22619048
Almas travesaño	355	2	4,7	72	4,93055556
Escuadra rigidificadora superior	355	12	8,7	230	1,54347826
Escuadra rigidificadora inferior	355	7	8,2	232	1,53017241
Llanta superior	700	5,5	118,6	476	1,47058824
Llanta inferior	700	6	152,6	477	1,46750524
Almas largueros	700	4,5	387,2	432	1,62037037
Cilindro exterior	700	2	1117,8	356	1,96629213
Cilindro interior	355	2	1061,4	235	1,5106383
Semiesferas interiores	355	2	173,1	92	3,85869565
Semiesferas exteriores	355	2	192	114	3,11403509
Cisterna perlita(volumétrica)	0,4	50	521,8	0,3	1,33333333
		TOTAL=	4166,9		

Tabla 9

Según se puede observar, el modelo está optimizado para que las zonas más solicitadas trabajen en un coeficiente de seguridad cercano a 1,5. También se ve claramente que estas tensiones máximas de la zona delantera se producen en el caso de frenada debido a la deceleración sufrida, las tensiones máximas en los alrededores de las patas se producen cuando el semirremolque se apoya sobre ellas y el resto de estructura se ve sometido a tensiones máximas cuando se realiza un giro con radio mínimo ya que todo el conjunto soporta un gran esfuerzo de torsión.

6.2. Modelo optimizado

Siguiendo la metodología de trabajo del modelo inicial, se optimiza el modelo cambiando el material de prácticamente todo el semirremolque por un acero inoxidable y analizando los resultados obtenidos se procede a modificar el espesor de forma iterativa de los componentes para que puedan trabajar con un coeficiente de seguridad en torno a 1,5.

Tras la interpretación de los resultados de todas las iteraciones que se pueden ver en el Anexo II, se obtiene la Tabla 10:

Resultados modelo optimizado	Material	Espesor (mm.)	Máximo		Caso apoyo en patas		Caso curva		Caso frenada		Caso radio mínimo		Peso (kg)
			VM (Mpa)	CS	VM (Mpa)	CS	VM (Mpa)	CS	VM (Mpa)	CS	VM (Mpa)	CS	
Chapa deslizamiento	355	4	73,8	4,8102981	2,58	137,596899	73,8	4,8102981	70,37	5,04476339	59,94	5,92258926	46,23
Chapa Kingpin	700	6,5	236,3	2,96233601	7,59	92,226614	187,8	3,72736954	218,4	3,20512821	236,3	2,96233601	79,54
Cierre delantero y trasero	230	2	29,55	7,78341794	1,46	157,534247	16,6	13,8554217	29,55	7,78341794	19,25	11,9480519	7,18
U delanteras	355	12	221,1	1,60560832	9,04	39,2699115	197	1,80203046	221,1	1,60560832	186,6	1,90246517	237,18
SopORTE estacionamiento	230	12	151,1	1,52217075	151,1	1,52217075	14,6	15,7534247	8,35	27,5449102	8,34	27,5779376	17,1
Viga estacionamiento	230	2	31,67	7,26239343	31,67	7,26239343	19,04	12,0798319	5,19	44,3159923	8,82	26,0770975	9,8
Refuerzo de llanta en soporte estacionamiento	230	2	52,46	4,38429279	52,46	4,38429279	27,84	8,26149425	19,36	11,8801653	14,94	15,394913	2,13
Nervios	230	14	129,3	1,77880897	12,53	18,3559457	41,49	5,54350446	31,41	7,32250876	129,3	1,77880897	35,01
U rigidificadoras suspensión	230	18	199,2	1,15461847	67,57	3,40387746	122,8	1,87296417	60,74	3,78663154	199,2	1,15461847	120,18
Alas viga suspensión	230	10	127,5	1,80392157	9,75	23,5897436	88,62	2,59535094	8,9	25,8426966	127,5	1,80392157	43,72
Almas viga suspensión	230	8	102,8	2,23735409	9,69	23,7358101	79,82	2,88148334	12,82	17,9407176	102,8	2,23735409	34,5
Alas travesaño	230	2	118,6	1,93929174	4,53	50,7726269	52,44	4,38596491	8,6	26,744186	118,6	1,93929174	5,67
Almas travesaño	230	2	50,18	4,5834994	2,24	102,678571	21,67	10,6137517	3,79	60,6860158	50,18	4,5834994	4,8
Escuadra rigidificadora superior	230	14	149,7	1,53640615	9,24	24,8917749	78,51	2,92956311	9,21	24,9728556	149,7	1,53640615	10,32
Escuadra rigidificadora inferior	230	11	138,8	1,65706052	46,27	4,97082343	100,1	2,2977023	35,06	6,56018254	138,8	1,65706052	13,06
Llanta superior	230	5,5	70,65	3,25548478	49,77	4,62125779	70,65	3,25548478	36,44	6,31174533	45,26	5,08174989	120,11
Llanta inferior	230	13	144,2	1,59500693	107,2	2,14552239	120,6	1,90713101	84,55	2,72028386	144,2	1,59500693	334,97
Almas largueros	230	12	150,1	1,53231179	122,3	1,88062142	150,1	1,53231179	64,38	3,57253806	97,22	2,36576836	1045,79
Cilindro exterior	230	8	221,4	1,03884372	101,1	2,27497527	150,5	1,5282392	72,51	3,17197628	221,4	1,03884372	4528,5
Cilindro interior	230	3	122,3	1,88062142	122,3	1,88062142	105,55	2,17906206	79,14	2,9062421	70,89	3,24446325	1132,13
Semiesferas interiores	230	2	76,03	3,02512166	71,08	3,23579066	68,17	3,37391815	76,03	3,02512166	65,67	3,50236029	175,39
Semiesferas exteriores	230	2	106	2,16981132	84,1	2,73483948	106	2,16981132	76,89	2,99128625	64,48	3,56699752	194,54
Cisterna MLU(MLU)	110	50	6,4	17,1875	1,62	67,9012346	3,97	27,7078086	1,3	84,6153846	6,4	17,1875	203,83
													8401,68

Tabla 10

Con el modelo optimizado se observa que cada parte del modelo sigue trabajando con un coeficiente de seguridad de 1,5, y por lo tanto existe la seguridad de que estarán trabajando en su zona elástica.

6.3. Comparación de modelos

En la Tabla 11 se pueden observar las diferencias entre el modelo inicial y el modelo optimizado:

	Modelo inicial	Modelo final
Cabina tractora (t)	8	8
Estructura semirremolque (t)	4,24	8,40
Ejes-suspensiones (t)	2,1	2,1
Carga útil (t)	25,66	21,5
Peso máximo autorizado (t)	40	40

Tabla 11

Tal y como se puede ver en la tabla anterior el peso del semirremolque ha aumentado considerablemente ya que se han tenido que aumentar bastante ciertos espesores, sobre todo el espesor de la cisterna exterior, para que los

componentes puedan trabajar con un coeficiente de seguridad óptimo. Aun así, hay dos componentes que corren el riesgo de trabajar en la zona de plastificación del material, como son la cisterna exterior y las U rigidificadoras de suspensión.

Para poder rebajar estos espesores y que las tensiones de trabajo en el caso de una curva con radio de giro mínimo habría que implementar unos refuerzos en la cisterna exterior y en las U rigidificadoras de suspensión tal y como se muestra en la Imagen 8, así como en otros componentes en los que se quiera rebajar su espesor ya que de lo contrario estos componentes trabajan con un coeficiente de seguridad por debajo de 1.5.



Imagen 8

7. Conclusión

Tras los resultados observados anteriormente se puede ver que el modelo se puede fabricar en su gran totalidad en acero inoxidable, teniendo en cuenta las tensiones máximas sobre todo en el caso de curva con radio de giro mínimo.

Como mejora y continuación del proyecto se podría enfocar en el diseño de refuerzos especiales en el semirremolque en las zonas críticas para intentar tener los mínimos espesores posibles y así poder tener un modelo prácticamente con el mismo peso que si fuese construido con un acero convencional.

Este proyecto me ha servido para profundizar y aprender a manejar las herramientas de trabajo y tener un conocimiento más amplio de otros sectores de la ingeniería pudiendo así complementarlo con los conocimientos ya adquiridos anteriormente en otras áreas.

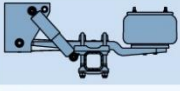
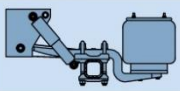

6. Bibliografía

- “Diseño, cálculo y optimización de un semirremolque con cisterna criogénica”, Joseba Dehesa, Universidad de Zaragoza (2016).
- “Thermal performance of cryogenic multilayer insulation at various layer spacings”, Wesley Louis Johnson, Auburn University, 2007.
- <http://www.cedinox.es>
- <https://www.acerinox.com>
- <https://www.mtm-inc.com>
- <https://www.bpw.de/en>
- <https://www.ssab.es/>
- <https://www.leecosteel.com/es/>
- <https://www.ruag.com/en>
- <https://www.unece.org>

ANEXO I: ELEMENTOS COMERCIALES

- Bloque de suspensión:

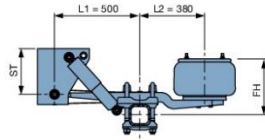
BPW SL air suspension. SLO, SLM and SLU series. Axle loads 9,000 kg to 12,000 kg.

Air-sprung axles and axle units	Trailing arm 100 mm	Bracket ¹⁾ (ST) (mm)	Axle type Drum brake ²⁾	Air bag	Ride height (FH) (mm)	Axle type Disc brake ³⁾	Air bag	Ride height (FH) (mm)
SLO series								
	Single-leaf 1 x 57	268 370	HSF ⁷⁾ HZF ⁷⁾ HS...LL HZ...LL	36/36 K	400-600 LL 410-600	S(K)HSF... S(K)HZF... S(K)HSFH...LL ⁸⁾ SKHZFH...LL ⁸⁾	36/36 K	400-600 LL 410-600
	Double-leaf 2 x 43				420-610 LL 430-610			420-610 LL 410-600
Double-sided lift				•			•	
Lateral axle lift				• ⁹⁾			-	
Central axle lift				•			•	
SLM series								
	Single-leaf 1 x 57	184 268	HSF ⁷⁾ HZF ⁷⁾ HS...LL HZ...LL	36/36 K	305-500 LL 315-500	SHSF... SHZF... S(K)HSF...LL ⁸⁾ SKHZH...LL ⁸⁾	36/36 K	305-500 LL 340-470
	Double-leaf 2 x 43				330-500 LL 340-500			330-500 LL 340-470
Lateral axle lift				• ⁹⁾			-	
Central axle lift				•			•	
SLU series								
	Single-leaf 1 x 57	268 302 370	HSF ⁷⁾ HZF ⁷⁾ KHZF NHZF HS...LL ⁸⁾ KHS...LL ⁸⁾	36/36 K 36-1	210-360 LL 225-350	SKHZF... ⁸⁾ S(K)HBF...LL ⁸⁾	36/36-1	210-370 LL 240-340
	Double-leaf 2 x 43							
	Single-leaf 1 x 58* (long-travel 620 / 365)	184 268	KHSF KHZF NHZF	36-1	185-350	SKHZF... SKHBF... S(K)HBF...LL ⁸⁾	36-1	220-350 LL 230-350
	Double-leaf 2 x 51* (long-travel 690 / 310)	268		36-1	235-345			SKHZF... SKHBF...
Lateral axle lift				• ⁹⁾			• ⁹⁾	
Central axle lift				•			•	

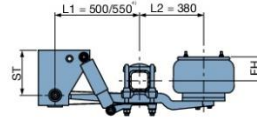
¹⁾Only for 9 t axle loads.
Additional types available on request.

Technical Data / Air suspension series SL

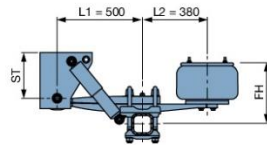
SLO single-leaf



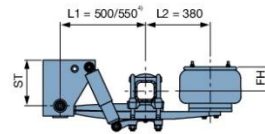
SLU single-leaf



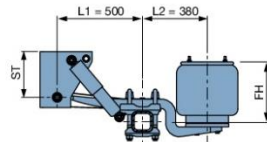
SLO double-leaf



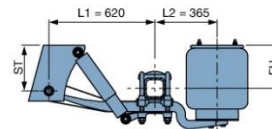
SLU double-leaf



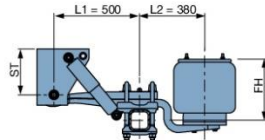
SLM single-leaf



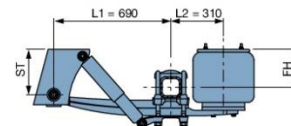
SLU single-leaf, long-travel



SLM double-leaf



SLU double-leaf, long-travel



¹⁾ In standard or HD versions.

²⁾ NHZF - SN 300, AK 120 x 15, axle load 9 t - 11 t.
KHSF/KHZF - SN 360, AK 120 x 15, axle load 9 t - 11 t.
HSF/HZF - SN 420, AK 120 x 15/150 x 16, axle load 9 t - 12 t.

³⁾ SKHSF/SKHZF - TSB 3709, AK 120 x 15, axle load 9 t - 10 t.

SKHB - TSB 3709, AK 120 x 15, axle load 9 t.

SHSF/SHZF - TSB 4309, AK 120 x 15, axle load 9 t - 10 t.

SHBF - TSB 4309, AK 120 x 15, axle load 9 t.

SHSF/SHZF - TSB 4312, AK 150 x 16, axle load 11 t - 12 t.

LL with TSB 3709 or 4309 only up to max. 10 t axle load or with SLU only up to max. 9 t axle load, only 120 offset and single tyres.

⁴⁾ 550 with disc brake.

⁵⁾ Only with 1st suspension axle.

⁶⁾ FM min. 980 mm.

⁷⁾ Up to 9 t AK 120 mm, 10 t up to 12 t AK 150 mm.

⁸⁾ Only AK 120 mm □ or ■.

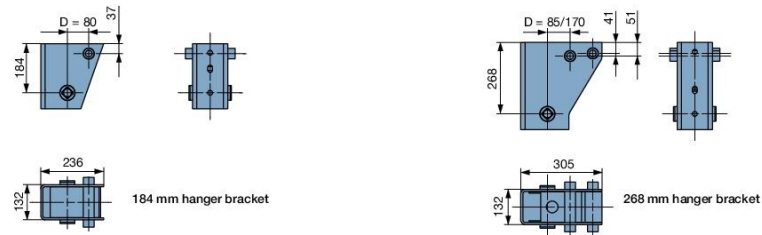
⁹⁾ L1 = 550, spring 1x 54, max. 10 t.

More information:

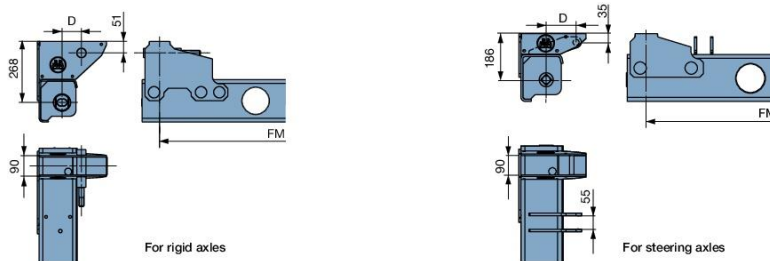
► SL air suspension (page 47) ► Recommended applications (page 48)

BPW air suspension hanger bracket and channel crossmember. SL versions.

BPW SL air suspension hanger bracket (100 mm wide trailing arm)



BPW SL channel crossmember



Other versions and details are available on request.



BPW SL air suspension hanger brackets – Features and benefits

- ▶ Hanger bracket height 184, 268, 302 or 370 mm
- ▶ With integrated track setting as option
- ▶ Optionally available with top plate (version D)
- ▶ Optionally available in heavy-duty version (version HD)
- ▶ Optionally available as narrow hanger bracket (version S)

- Material MLI:

Thermal Insulation Products



Together ahead. **RUAG**

Table of contents

Vacuum Thermal Insulation and Thermal Components	3
Cryogenic Insulation (Coolcat Line)	4
Coolcat 2 NW	7
Coolcat 2 NE	8
Coolcat 2 LOX	9
Coolcat 2 M	10
Coolcat 4C	11
Coolcat 1H	12
Coolcat B-RSD	13
Space Insulation	14
Space Insulation Materials	15
Space Insulation Performance	16
Space Radiator with Solar Reflectors	17
RUAG Space	18
RUAG Space Product Portfolio	19

For enquiries for cryogenic materials please contact: cryo.at.space@ruag.com

For enquiries for space materials/products please contact: aero@ruag.com

2 | RUAG Space Thermal Insulation Products

This document may be subject to changes and shall not be reproduced in whole or in part without prior consent. © RUAG Space GmbH

Vacuum Thermal Insulation and Thermal Components

RUAG Space is the leading European supplier of multi-layer insulation for spacecraft and global market leader of superinsulation for cryogenic medical systems. The experience we have gained in more than two decades of thermal design and production enables us to increase your competitiveness with RUAG's leading edge technology solutions.

Our vision is to be the leading competence centre for vacuum thermal insulation solutions for space and industrial applications.

Our mission is the development and production of multi-layer insulation for space applications (satellites and instruments) and cryogenic insulation for space and industrial applications to support our customers in increasing their competitiveness.

To achieve this mission we focus on first-class products and reliable and long-standing partnerships with our customers.

RUAG Space activities for development and production of multi-layer insulation for space applications (satellites and instruments) have started in 1991. Since then we have developed our competences and skills in more than 60 projects to become the leading European supplier of multi-layer insulation for spacecraft.

Moreover, RUAG Space has developed great expertise in the field of cryogenic insulation. Today RUAG also offers the development and the production of cryogenic superinsulation for various applications such as Helium liquefiers or superconducting magnets.

Our development and production process comprises:

- Thermal and Mechanical Engineering
- Layout and Design
- Production and Integration

Our value creating chain includes:

- Selection of the insulation composition with attachment and grounding
- CAD Design (3-D and 2-D)
- Prototyping, support during first installation
- Production (standard and tailor-made products and also build to print)
- Delivery logistics

We can also produce superinsulation to customer drawings. We accept the definition of blanket shapes in DXF, IGES or STEP format.



ISO 9001 / ISO 14001 / EN9100

RUAG Space GmbH is certified to ISO 9001, ISO 14001 and EN 9100 by DNV.

Restriction

We have taken care to collect and present technical and performance data which are based on supplier data, own measurements and tests. These data are meant to help our customers in their design process and support the selection of the best insulation type for the application. However, these data are indicative only and have to be proven by specific measurements in the relevant environment.

Our Aerecherm datasheets are provided to support our customers with typical performance data of our space insulation but we do not sell MLI layers as a standalone product.

© RUAG Space GmbH

RUAG Space Thermal Insulation Products 3

Cryogenic Insulation (Coolcat Line)

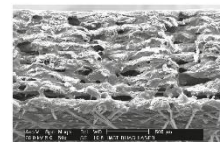
Our product family Coolcat comprises standard insulation and tailor made insulation. Our insulation is composed of aluminumized polyester foils interleaved with polyester spacer materials or is made of aluminium foils interleaved with glass spacer materials. In addition, we supply welding protection materials, tapes, sensors...

Laser Cutting

Polyester superinsulation blankets are cut to shape using our numerically controlled (NC) cutting machines. Polyester superinsulation is laser cut, whereas aluminium/glass insulation is cold cut. The laser cutting process ensures the multi-layered package around its cutting edges. The edges are held together by bridges of molten polyester.

However, laser cut edges are open for edge pumping (see picture). No significant difference in thermal performance was found in comparative calorimeter testing between multi-layer insulation with cold cut and laser cut edges. Laser cutting does not increase edge effect.

We can NC laser cut to a maximum width of 2.7 m. The length of the cutting area is 3.0 m, which does not limit the length of individual superinsulation blankets, as the superinsulation is fed into the cutting machine on a conveyor, forwarding the material band when needed.



Microscopic picture of a laser cut multi-layer superinsulation blanket edge.

This method of producing polyester superinsulation has proven to be very efficient, because no additional assembly of the layers (pins, staples, welding points or similar) is required to attain a robust blanket with very good handling properties. The thermal performance is optimized by minimizing thermal shortcuts through secondary elements.

When compared to cold cut blankets, where cracks could start from the edge of each single reflector foil, laser cut blankets combine the strength of welded thin layers. The tear strength of laser cut edges is 25 - 30% higher than the tear strength of cold cut edges. No extra stopper holes are needed at the end of laser cuts or inside corners (180°).

During the evaluation of the vacuum space, the air and outgassing products evolved within the multi-layer package of the insulation can be pumped at the open edges (edge pumping) and through penetration holes of the reflector foils (transmittance pumping). Instead of our Coolcat superinsulation is made of perforated foils to allow bleed-off pumping. Thus the insulation gas can be evacuated more quickly and the residual vacuum pressures are lower than for edge pumping only.

We supply standard sheets and rolls of polyester superinsulation such as Coolcat 2 NW, Coolcat 1 and Coolcat 2 have been replaced by vapor insulation. Please request our recommendations for your technical solution. These standard superinsulation products are held together by a grid of ultrasonic spot welding points. The standard pitch of these welds is 0.9 x 0.9 in. These welds separate the multi-layer package and ensure that the multi-layered package will not fall apart when our customers cut their own shapes using scissors, scalpels or similar.

4 | RUAG Space Thermal Insulation Products

© RUAG Space GmbH

Coolcat BR-50 tape is recommended for closing superinsulation blanket joints. Depending on the configuration of the cryostat it may be possible to completely enclose the cold parts to be insulated with a shell of insulator blankets. In this case the taping of superinsulation joints may be sufficient to hold the insulation in place. In other cases it may be necessary to use additional fixation elements such as plastic pins.

Superinsulation tapes such as Coolcat 2 NE, Coolcat 2 LOX and Coolcat H, which are not made of polyester but contain other materials such as aluminum foil or glass-fibre fleece are cold cut on our NC cutting machines using oscillating knives. This process does not assemble the multi-layer package and so we use sag pins to hold the blanket together. We offer NC cold cutting up to a blanket size of 3.0 x 0.99 m. We cold cut larger blankets by hand if required.

The superior performance of Coolcat's insulation is based on:

- High quality polyester film, 0 or 12 µm thick, double side aluminized at minimum 40 nm (100 Angstrom).
- Reflector foils are separated with pure polyester spacer material.
- 10 layers of foil and 10 layers of spacer are combined as a semi finished insulation lay-up, ready for cutting.
- The insulation is performed for perfect evacuation of the vacuum chamber.
- RLUG Space thermal insulation is designed based on CAD models and is cut accurately on the numerically controlled laser cutting machine.
- The insulation is easy to handle due to the laser cut edges.
- The insulation performance is long term stable, no degradation of insulation due to the spacer material no fattening, no void generation, no compression, no severe compression effect over edges.
- The reproducibility of performance in a serial production is very high, only a very small deviation is measured.

Storage conditions:

In our workshop Coolcat superinsulation is packaged in polyethylene bags with desiccant. These bags are pumped and sealed to prevent the insulation from moving inside the bag during transport. Then the goods are packed in sturdy cardboard or wooden boxes.

It is recommended to store Coolcat products at room temperature and a relative humidity of 40 - 60%. Direct exposure to salt atmosphere must be avoided.



Coolcat 2 NW

Use: e.g. MRI and NMR Systems

Coolcat 2 NW is a spaced superinsulation composed of 10 layers of polyester foil, double-sided aluminized, perforated and interleaved with 10 layers of non-woven polyester spacer material.

Due to its high thermal performance and good handling properties it is used in serial production of MRI and NMR cryostats at an industrial scale.

Spaced superinsulation offers more robust thermal performance than crinkled superinsulation (for example at corners and under compression).

Non-woven spacers are dimensionally stable and therefore Coolcat 2 NW offers easier handling and more efficient insulation than insulation with knit-woven spacer.

Coolcat 2 NW has a nominal compressed thickness of 1.4 mm per 10 layers. For a good thermal performance compression of the superinsulation should be avoided. It is recommended to allow a minimum insulation gap thickness of 3 mm per 10 layers and to install the insulation in a loose way.

All polyester reflector foils are aluminized to provide a specific surface resistance of < 0.8 ohms per square (average thickness > 40 nm).

For low outgassing Coolcat 2 NW contains 100 % polyester spacer without binder. For short pumping times all double-aluminized polyester foils are perforated at an open area of 0.05 to 0.1 per cent.

Maximum baking temperature: 423 K.

Insulation Performance

Temperature range [K]	Number of layers	Heat flux [W/m² *]
80 to 77	10 foils + 10 spacers	> 1.02
	20 foils + 20 spacers	> 2.75
	30 foils + 30 spacers	> 2.50
	40 foils + 40 spacers	> 2.55
77 to 4	10 foils + 10 spacers	> 0.22

* Heat flux values measured under laboratory conditions at good vacuum (c. 1 E-3 Pa). For the sizing of superinsulation for real applications it is recommended to allow these heat flux values with a factor of 1.3 - 1.5. This is assuming good design, insulation and vacuum conditions.

Standard rolls available up to 1.0 m wide, wider rolls available on request.

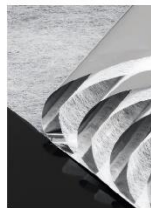
Article no.	Dimensions [m]	Foil thickness [µm]	Nominal area weight for 10 layers [kg/m²]
R1002N7	4 x 1.5	6	0.214
R100045	50 x 1.5	6	0.214
R100047	50 x 1.5	12	0.368

Narrow rolls are available to custom dimensions, for example:

- 3 foils + 3 spacers: min. 100mm wide x 200m long.
- 5 foils + 5 spacers: min. 100mm wide x 50m long.
- 10 foils + 10 spacers: min. 100mm wide x 50m long.

The minimum width of narrow rolls is 50mm. Narrow MRI bands having widths between 50mm and 100mm are wound on one common core. Starting from a width of 100mm each individual roll has its own plastic core.

Caution Notes: Polyester superinsulation is flammable and suitable welding protection is required (see also the use of Coolcat H). Coolcat 2 NW is the equivalent of superinsulation in the cryogenic which is liquid oxygen compatible. All other insulation types fail in case of a PVT (Pressure in Temp) under liquid oxygen. For all applications a separate risk assessment is required to confirm the use of polymers in superinsulation.



Coolcat 2 NF

Use: e.g. Hydrogen and LNG Systems, check before LOX use

Coolcat 2 NF is a spaced superinsulation composed of multiple layers of glass fibre fleece spacer interleaved with multiple layers of 9µm pure aluminum foil.

Coolcat 2 NF is high temperature tolerant and non flammable. Coolcat 2 NF was tested to and successfully met the requirements of ISO 21013 Cryogenic vessels - Gas/materials compatibility, Section 4.4.4. Insulation Test, which is based on EN 1797. Coolcat 2 NF does not sustain combustion when touched with a glowing platinum wire in a 100% oxygen atmosphere at 1 bar absolute pressure. It is therefore considered suitable for the insulation of liquid oxygen equipment. It has been used for the thermal insulation of automotive cryogenic hydrogen storage tanks.

Glass fibre diameter: 16 µm (non respirable).

Coolcat 2 NF sheets consist of 11 layers of glass fibre fleece spacer and 10 layers of 9µm pure aluminum foil, which are held together by nylon tag pins along their short ends at a pitch of 0.2 m.

Coolcat 2 NF rolls consist of 6 layers of glass fibre fleece spacer and 5 layers of 9µm pure aluminum foil, which are co-wound on plastic core. The layers are not assembled. Max. layer offset: 10mm. Max. finished roll width: 1.02m.

Coolcat 2 NF has a nominal compressed thickness of 5.0 mm per 10 layers. For a good thermal performance compression of the superinsulation should be avoided. It is recommended to allow a minimum insulation gap thickness of 7 mm per 10 layers and to install the insulation in a loose way.

Maximum baking temperature: 523 K.

Insulation Performance

Temperature range [K]	Number of layers	Heat flux [W/m² *]
300 to 77	20 foils + 20 spacers	> 1.25

* Heat flux values measured under laboratory conditions at good vacuum (c. 1 E-3 Pa). For the sizing of superinsulation for real applications it is recommended to multiply these heat flux values with a factor of 1.3 - 1.5. This is assuming good design, insulation and vacuum conditions. The thermal conductivity of aluminum foil is much higher than the one of aluminized polyester-foils and therefore thermal edge effects are more severe.

Coolcat 2 NF is available in standard sheets and rolls:

Article no.	Dimensions [m]	Number of foil layers	Nominal area weight [kg/m²]
R100798	4 x 1	10	0.240
R107155	50 x 1	5	0.284



Coolcat 2 LOX

Use: e.g. Liquid Oxygen Systems

Coolcat 2 LOX is a spacersuperinsulation composed of 5 layers of pure aluminum foil interleaved with 5 layers of glass fibre cloth spacer.

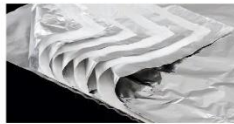
Coolcat 2 LOX is high temperature tolerant and liquid oxygen compatible. Coolcat 2 LOX was tested to and successfully met the requirements of ISO 27010 Cryogenic vessels – Gas/materials compatibility. Section 4.4.4 Insulation: test, which is based on EN 1397. Coolcat 2 LOX does not sustain combustion when touched with a glowing platinum wire in a 100% oxygen atmosphere at 1 bar absolute pressure. It is therefore considered suitable for the insulation of liquid oxygen equipment. The glass fibre spacer has been desized and heat cleaned. The insulation is free of organic constituents.

Glass fibre diameter: 5 µm (non respirable).

Coolcat 2 LOX sheets are provisionally held together by nylon tag pins along one short end at a pitch of 0.2 m.

Coolcat 2 LOX has a nominal compressed thickness of only 0.4 mm per 10 layers. For a good thermal performance compression of the superinsulation should be avoided. It is recommended to allow a minimum insulation gap thickness of 1 mm per 10 layers and to install the insulation in a loose way.

Maximum baking temperature: 623 K.



Insulation Performance

Temperature range [K]	Number of layers	Heat flux [W/m ²]*
300 to 77	10 foils + 10 spacers	> 4.41
	20 foils + 20 spacers	> 3.35

* Heat flux values measured under laboratory conditions at good vacuum (< 1.6-3 Pa). For the usage of superinsulation for real applications it is recommended to multiply these heat flux values with a factor of 1.2 - 1.3. This is assuming good design, installation and vacuum conditions. The thermal conductivity of aluminium foil is much higher than the one of aluminium polyester foil, and therefore thermal edge effects are more severe.

Coolcat 2 LOX is available in standard sheets:

Article no.	Dimensions [m]	Foil thickness [µm]	Nominal area weight for 10 layers [kg/m ²]
PL100252	3 x 1	9	0.247

Coolcat 4K

Use: e.g. Liquid Helium Vessel Surface

Coolcat 4K is a low absorbance helium vessel laminate for thermal insulation of cold masses at 4K.

It is a laminate of a 6 µm pure aluminium foil and a 12 µm polyester foil, double-side aluminized.

Coolcat 4K laminate combines the very low absorbance of a pure aluminium foil with the good handling properties of a polyester foil.

As a superconducting magnet thermal insulation the small aluminium foil thickness offers lower heat dissipation at 4 K (incurred by Eddy currents) and lower Lorentz forces at quench.

Coolcat 4K does not crinkle and tear the way aluminium foils do. At room temperature it has the higher tear resistance of a laminate. This makes the installation of the insulation easier and saves labour cost.

Coolcat 4K is available at a maximum width of 1.830 m. We offer customized Coolcat 4K sheets to a maximum width of 1.750 m. These sheets are cut to customer specification using our cost-efficient automated NC laser-cutting machine.

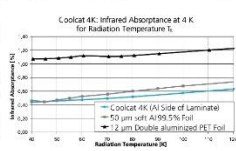
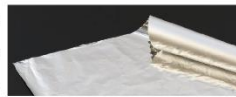
According to cryogenic tests Coolcat 4K contracts by 0.44% at 4K.

In order to prevent cracking of Coolcat 4K at cryogenic temperatures, stress concentrations must be avoided or appropriate reinforcement of the laminate must be provided.

Installation: The mat side of the foil is the aluminium foil side and shall be used for thermal insulation. The shiny side is the aluminized polyester side and shall face the cold surface. An adhesive transfer film can be applied to the aluminium coating of the shiny side of the laminate for its attachment to the cold helium vessel surface.

Article no.	Foil thickness [µm]	Nominal area weight [kg/m ²]
PL100230	18	0.523

Caution Notes: Polyester superinsulation is flammable and suitable welding protection is required for recommended use of Coolcat H.



Coolcat 2 NI

Use: e.g. SQUIDS and Superconducting Machines

Coolcat 2 NI is a spacersuperinsulation composed of 10 layers of polyester foil, single-sided aluminized in squares of 10 mm x 10 mm or double-sided aluminized in squares of 20 mm x 20 mm, interleaved with 10 layers of non-woven polyester spacer material.

Coolcat 2 NI has a nominal compressed thickness of 1.1 mm per 10 layers. For a good thermal performance compression of the superinsulation should be avoided. It is recommended to allow a minimum insulation gap thickness of 3 mm per 10 layers and to install the insulation in a loose way.

Coolcat 2 NI minimizes eddy currents and still offers a high thermal performance. It has been developed for applications, where the insulation is exposed to varying magnetic fields:

- SQUID sensors: Reduction of magnetic thermal noise

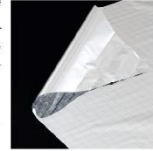
- Superconducting machines (Fault current limiters, motors, generators): Reduction of heat dissipation in the superinsulation coatings.

Magnetic thermal noise measurements were performed with 20 layers on a sample size of 100 mm x 100 mm.

For low outgassing Coolcat 2 NI contains 100% polyester spacer without binder. Coolcat 2 NI is not perforated.

Maximum baking temperature: 423 K.

Frequency [Hz]	Noise spectral density for		
	0.8 GJ per square [fT/√Hz] 10 x 10 mm	1.6 GJ per square [fT/√Hz] 10 x 10 mm	0.8 GJ double sided per square [fT/√Hz] 20 x 20 mm
25	0.61	0.41	1.71
122	0.91	0.68	1.84
521	0.79	0.62	1.81
1200	0.75	0.62	1.79
12000	0.73	0.61	1.67



Insulation Performance

Temperature range [K]	Squares	Number of layers	Heat flux [W/m ²]*	Number of layers	Heat flux [W/m ²]*
300 to 77	10 x 10 mm	10 foils + 10 spacers	> 4.60	20 foils + 20 spacers	> 3.42
	20 x 20 mm	10 foils + 10 spacers	> 1.54	20 foils + 20 spacers	> 1.98

* Heat flux values measured under laboratory conditions at good vacuum (< 1.6-3 Pa). For the usage of superinsulation for real applications it is recommended to multiply these heat flux values with a factor of 1.1 - 1.3. This is assuming good design, installation and vacuum conditions.

Coolcat 2 NI is laser cut, which assembles the layers along the edges. Coolcat 2 NI is available in sheets of 3 m long and 0.75 m wide, other sizes on request.

Article no.	Squares [mm]	Electrical surface resistance [Ohms per square]	Dimensions [m]	Foil thickness [µm]	Nominal area weight for 10 layers [kg/m ²]*
PL16116	10 x 10	0.8	3 x 0.75	12	0.300
PL16117	10 x 10	1.6	3 x 0.75	12	0.300
PL16091	20 x 20	0.8	4 x 0.75	12	0.300

* Squares are aluminized to 30 surface resistance. These squares are electrically isolated from each other by uncoated lines, which are exactly 2.1 mm wide.

Caution Notes: Polyester superinsulation is flammable and suitable welding protection is required for recommended use of Coolcat H.

Coolcat H

Use: e.g. Welding Protection for Polyester Insulation

Coolcat H is a welding protection made of aluminium foil and fiber-glass cloth.

It is recommended for the protection of polyester superinsulation against welding heat. This welding protection is needed because polyester superinsulation is flammable and melts at 250 degree Celsius (523 K).

Coolcat H insulates by reflecting the welding heat at its aluminium surface and by featuring the low conductivity of fiber-glass cloth in air under ambient pressure.

The maximum service temperature of the E-Glass cloth is at 500 degree Celsius (973 K). The adhesive of the laminate fails above 150 degree Celsius (323 K). Welding trials are recommended to confirm if one layer of Coolcat H is sufficient for the customer application.

Coolcat H was tested to and successfully met the requirements of ISO 27010 Cryogenic vessels – Gas/materials compatibility. Section 4.4.4 Insulation: test, which is based on EN 1397. Coolcat H does not sustain combustion when touched with a glowing platinum wire in a 100% oxygen atmosphere at 1 bar absolute pressure. It is therefore considered suitable for the insulation of liquid oxygen equipment.

The glass fibres have a diameter of larger than 6 µm and are not respirable.

Coolcat H is available in rolls of 150 mm wide and 50 m long.

We offer customized Coolcat H sheets to a maximum width of 1 m. These sheets are cut to customer specification using our cost-efficient automated NC cutting machine.

Coolcat H is also used as a robust cover layer of large liquid oxygen or liquid natural gas tank insulation.

Article no.	Foil thickness [µm]	Nominal area weight [kg/m ²]
PL100392	0.8	0.58



Coolcat B-R50

Use: e.g. Closure of Insulation

Coolcat B-R50 is a low emissivity adhesive tape optimized for use under cryogenic environment. It is composed of a 25 µm polyester foil carrier, double-sided aluminumized and a high purity pressure sensitive acrylic adhesive.

Coolcat B-R50 cryogenic adhesive tape has been developed specifically for thermal insulation in cryogenic applications, to provide low-emissivity resistance on its outer surface. This tape has been developed to replace spacers, which have a shiny appearance, but are second surface mirrors only.

It is most recommended for the closing of superinsulation joints.

Bonding strength at room temperature:
 - Peel strength: min. 16 N / 25 mm width (AFERA 5001)
 - Shear strength: min. 60 N / 625 mm² (AFERA 5012)

Tested bonding strength to stainless steel at 4K:

- Peel strength: 3 N / 12 mm width
 - Shear strength: 47 N / 144 mm²

The procedure for cryogenic tests follows AFERA as far as possible and is adapted to cryogenic temperatures as necessary.

The tape meets the standard outgassing requirements for satellites of the European Space Agency.

The adhesive of the tape is protected by a release liner. We offer tape dispensers, which automatically wind up the release liner.

The tape is available 25 mm (1 inch) or 50 mm (2 inches) wide. It is delivered on plastic core. The minimum order quantity is one roll, but it is more economic to order complete packing units:

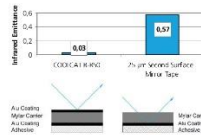
Article no.	Dimensions [m]	Packing unit [mks]
R-100334	59 x 0,625	32
R-100338	59 x 0,666	16
R103A45	tape dispenser	

Shell life: 2 years from date of production

Caution Notes: Polyester superinsulation is flammable and suitable welding protection is required when recommending the use of Coolcat H.



Emissance of Aluminized Tapes (Low value required for good radiative insulation)



Space Insulation

RUAG Space offers the full range of thermal insulation materials used for single layer insulation, multi-layer insulation and radiator surfaces made up from polymeric or metal foils. We source raw materials for insulation from the leading suppliers from all over the world.



RUAG Space is very active in research and development to improve the performance and the characteristics of thermal control materials and components. We are constantly focusing on developing and qualifying novel thermal control products with emphasis on mass and performance.

Ultrathin and Ultralight insulation

For our new multi-layer insulation also the production and integration processes have been adapted to cope with such ultrathin and ultralight materials.

We also have business contact to the suppliers of Optical Surface Reflectors and all thermal components needed for satellite or cryostat thermal control (e.g. heaters, thermostats, thermistors, diodes, invertibles, ...)

We can offer all common outer layers of thermal insulation blankets:

	α	λ/N	λ/H	(ext. surface)
1 mil polyimide / VDA	≤ 0.39	≥ 0.62	≥ 0.64	
1 mil PEO polyimide / VDA	≤ 0.44	≥ 0.52	≥ 0.54	
2 mil polyimide / VDA	≤ 0.44	≥ 0.71	≥ 0.71	
2 mil IVO polyimide / VDA	≤ 0.49	≥ 0.71	≥ 0.75	
1 mil Black Kapton® / VDA	≤ 0.9	≥ 0.62		
1 mil Ispen® / VDA	≤ 0.60	≥ 0.69		
2 mil Ispen® / VDA	≤ 0.69	≥ 0.75		
Detadon® / VDA	≤ 0.45	≥ 0.80		
2 mil IEP / VDA	≤ 0.18	≥ 0.50	≥ 0.50	
3 mil IEP / Shell / Inconel	≤ 0.09	≥ 0.75	≥ 0.75	
VDA / Vacuum Deposited Aluminium	≤ 0.14	≥ 0.75		

IID: Indium Tin Oxide

We offer a large variety of special foil materials, high temperature materials, R/transparent, ...

Space Insulation Materials

Insulation developed and produced by RUAG Space delivers outstanding performance based on careful selection of advanced materials.

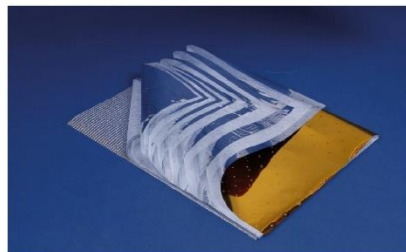
RUAG Space insulations are successfully used on:

- scientific missions
- earth observations
- telecommunication
- navigation satellites
- LEO (Low Earth Orbit), MEO (Middle Earth Orbit), GEO (Geostationary Earth Orbit) and with deep space missions.

RUAG is constantly working to identify and qualify new thermal components, foils and spacer nettings to be able to provide the customers with solutions for their challenges.

RUAG uses combinations of various advanced materials to establish an insulation exactly meeting the customers needs:

- Polyester foils for up to 150°C clean blankets
- PEK foils up to 250°C
- Polyimid foils for up to 350°C
- non-woven polyester spacer netting up to 200°C
- woven polyester netting up to 200°C
- woven polyimide netting up to 250°C
- woven glass spacers for temperatures up to 250°C
- ceramic fibres
- ultralight & ultrathin foils with light weight spacer

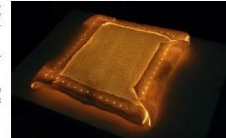


Space Insulation Performance

RUAG successfully equipped crucial missions, such as GALE, Rosetta, Herschel, Planck, ExoMars and the Copernicus programme with sophisticated high performance MLI contributing to their mission success.

In addition RUAG proves to be a reliable source for thermal hardware for constellation programs such as Galileo, Indium-NEXT and OneWeb.

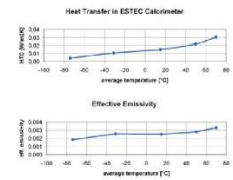
RUAG is also developing high sophisticated insulation for the European launch systems for highest temperatures under ambient and space environment.



Below two typical layout performances are given for very clean and high temperature MLI. RUAG MLI also covers temperature regimes within and beyond the two examples.

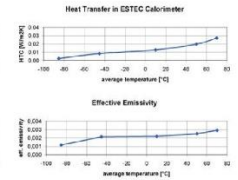
Standard Temperature MLI (Clean MLI)

10 Layer package with Polyester foils and non-woven polyester netting. -70°C to a 150°C temperature range, 145g/m² to 165g/m² area mass.



High Temperature MLI

22 Layer package with Polyimide foils, glass spacer in hot section and polyimide netting in medium temperature sections. -70°C to up to +350°C temperature range, 625g/m² to 665g/m² area mass.



Space Radiator with Solar Reflectors

This product is a high efficiency thermal radiating system made from reflectively coated glass tiles. These Optical Solar Reflectors (OSR) are bonded electrically conductive to flat metallic surfaces using a pick-and-place machine. The product provides a good thermal coupling between the OSR and the structure underneath resulting in a high performance heat radiating device.

Characteristics	
Materials	Ronaculate glass Optical Solar Reflector (OSR) with reflective back coating
Available glass finishes	Plain surface Electrically conductive coating (ICE) Low UV absorbance coating
Area Weight	470 g/m ² all inclusive (using 150 µm thick OSR)
No silicone contamination	
Temperature range	-72 °C to +90 °C
Thermo-Optical	0.5 ± 0.06 / 4N ± 0.83 (OSR with ITO and low UV coating)
Front to back resistance	<200 kΩ

Process Information
Application of mirrors by high-precision automated machine process using electrically conductive pressure sensitive adhesive. Automated machine pick-and-place process provides for competitive processing time of the application. No post curing required.
Panels up to 2.4 x 2.6 m can be processed in one run.
Standard bonding surface is plain aluminium surface (e.g. ALCLAD), other surface types on request.



Precision on earth. Reliability in space.

RUAG Space is the leading supplier of products for the space industry in Europe. Experience, outstanding reliability, customer focus and a comprehensive, clearly structured product portfolio all make RUAG Space the partner of choice for manufacturers of satellites and launchers across the globe.

Our vision: Number one independent space product supplier
RUAG Space's vision is to be the leading supplier of space products. We laid the foundations for realizing this vision as a partner in institutional European space programs from the very beginning. RUAG Space has played a part in all major European missions, where we have acquired know-how that benefits our customers all over the world today.

Our values: Collaboration, high performance, visionary thinking
Our corporate culture is based on the values of collaboration, high performance, visionary thinking. These values determine our actions and characterize our relationships with our customers and partners.

For more than four decades RUAG Space has been an industrial partner to national and European space agencies. And we have been supplying our products to the manufacturers of satellites and launchers for just as long.

Outstanding product performance and consistency in meeting delivery deadlines are the statistics by which we measure success. And above all else we are focused on reliability, as there is no room for failure in space.

At the heart of RUAG Space's strategy is a clearly structured product portfolio, which we expand according to a definite plan. In expanding the portfolio, we place particular emphasis on space products that are attractive in growth markets outside the institutional European sphere.

The cornerstone of our success: Our employees
In Switzerland, Sweden, Finland, Germany, Austria and USA, some 1,200 employees of RUAG Space develop, manufacture and test products for satellites and launchers. Teamwork, trust and respect characterize the work environment at RUAG Space. Our employees work in close cooperation with customers and partners. The success of RUAG Space is based on the skills and commitment of our staff, on the accuracy and reliability of our mechanics, and on the creativity and know-how of our engineers. With their ideas, their innovations and their products, they are pushing the limits of what is technically feasible just a little further every day.

RUAG Space: Part of an international technology group
RUAG Space is a dedicated division within RUAG, an international technology group for aerospace and defense. RUAG has production sites in Switzerland, Germany, Austria, France, Sweden, Finland, Hungary, Australia and the USA. RUAG employs some 8,200 people worldwide.

RUAG Space Product Portfolio

Launcher Structures & Separation Systems



Satellite Structures & Mechanisms



Digital Electronics for Satellites & Launchers




Satellite Communication



Product areas	Product lines
Launcher Structures & Separation Systems	Launcher Fairings & Structures Adapters & Separation Systems Sounding Rocket Guidance Systems Engines
Satellite Structures & Mechanisms	Satellite Structures Satellite Mechanisms Slew Rings Mechanical Ground Support Equipment Thermal Systems
Digital electronics for Satellites and Launchers	Satellite & Launcher Computers Navigation Receivers & Signal Processing
Satellite Communication	Receivers & Converters Antennas

- Material Acero Inoxidable:



ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO AL Cr-Ni

ACX 200

DESIGNACIÓN EN	DESIGNACIÓN ASTM
1.4307	304L
X2CrNi18-9	S30403

DESCRIPCIÓN Los aceros inoxidable austeníticos del grupo Cr-Ni son los más versátiles y de uso más extendido. Poseen buenas propiedades de resistencia a la corrosión, conformabilidad y soldabilidad. El ACX 200, por su bajo contenido en carbono, es menos susceptible a la corrosión intergranular en soldaduras que el ACX 120.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
≤0,030	≤0,75	≤2,00	≤0,040	≤0,015	18,00-19,00	9,00-10,00

APLICACIONES

- Tubos
- Calderería
- Industria química
- Aplicaciones criogénicas

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN ESTADO DE RECOCIDO

R_{p0.2}	> 230 N/mm ²
R_m	540 - 670 N/mm ²
Alargamiento	> 45%
Dureza	< 200 HB

PROPIEDADES FÍSICAS A 20°C presenta una densidad de 7,9 kg/dm³ y un calor específico de 500 J/kg·K

	20°C	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C
Módulo de elasticidad (GPa)	200	194	186	179	172	165
Coefficiente medio dilatación térmica entre 20°C (10⁻⁶ x K⁻¹) y	-	16	16,5	17	18	18
Conductividad térmica (W/m·K)	15	17	18	19	20,5	22
Resistividad eléctrica (Ω·mm²/m)	0,73	0,80	1,00	1,15	1,22	1,25

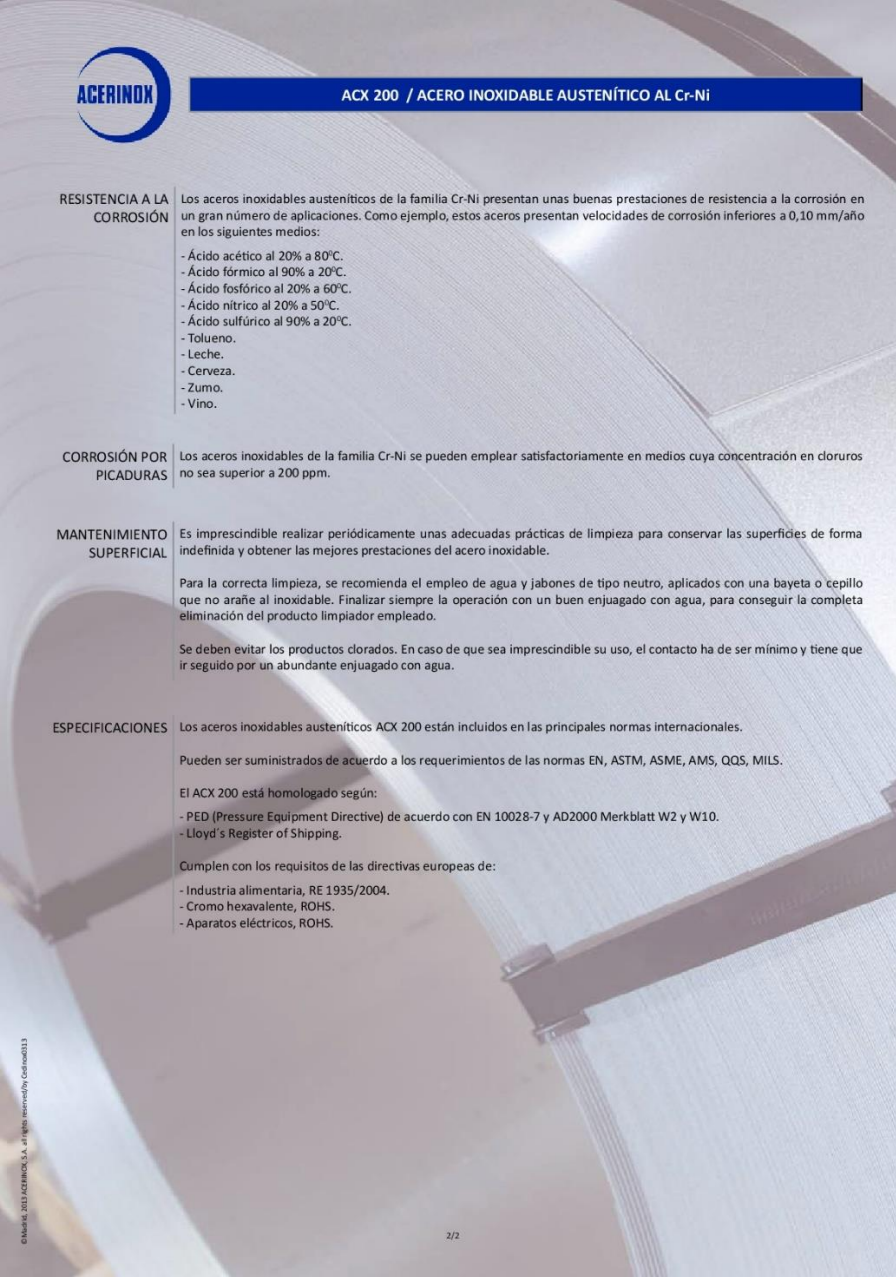
SOLDADURA Los consumibles recomendados son los siguientes:

Electrodos revestidos	Alambres y varillas	Electrodos huecos
E 19 9 L	G 19 9 L (GMAW)	T 19 9 L
308L	W 19 9 L (GTAW)	308L
	P 19 9 L (PAW)	
	S 19 9 L (SAW)	
	308L	

CORROSIÓN INTERGRANULAR El ACX 200, debido a su bajo contenido en C (≤ 0,03%), es menos susceptible a la corrosión intergranular que el ACX 120.

© Madrid, 2013 ACERINOX S.A. All rights reserved by Codead013

1/2



ACERINOX

ACX 200 / ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO AL Cr-Ni

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN Los aceros inoxidable austeníticos de la familia Cr-Ni presentan unas buenas prestaciones de resistencia a la corrosión en un gran número de aplicaciones. Como ejemplo, estos aceros presentan velocidades de corrosión inferiores a 0,10 mm/año en los siguientes medios:

- Ácido acético al 20% a 80°C.
- Ácido fórmico al 90% a 20°C.
- Ácido fosfórico al 20% a 60°C.
- Ácido nítrico al 20% a 50°C.
- Ácido sulfúrico al 90% a 20°C.
- Tolueno.
- Leche.
- Cerveza.
- Zumos.
- Vino.

CORROSIÓN POR PICADURAS Los aceros inoxidable de la familia Cr-Ni se pueden emplear satisfactoriamente en medios cuya concentración en cloruros no sea superior a 200 ppm.

MANTENIMIENTO SUPERFICIAL Es imprescindible realizar periódicamente unas adecuadas prácticas de limpieza para conservar las superficies de forma indefinida y obtener las mejores prestaciones del acero inoxidable.

Para la correcta limpieza, se recomienda el empleo de agua y jabones de tipo neutro, aplicados con una bayeta o cepillo que no arañe al inoxidable. Finalizar siempre la operación con un buen enjuagado con agua, para conseguir la completa eliminación del producto limpiador empleado.

Se deben evitar los productos clorados. En caso de que sea imprescindible su uso, el contacto ha de ser mínimo y tiene que ir seguido por un abundante enjuagado con agua.

ESPECIFICACIONES Los aceros inoxidable austeníticos ACX 200 están incluidos en las principales normas internacionales.

Pueden ser suministrados de acuerdo a los requerimientos de las normas EN, ASTM, ASME, AMS, QQS, MILS.

El ACX 200 está homologado según:

- PED (Pressure Equipment Directive) de acuerdo con EN 10028-7 y AD2000 Merkblatt W2 y W10.
- Lloyd's Register of Shipping.

Cumplen con los requisitos de las directivas europeas de:

- Industria alimentaria, RE 1935/2004.
- Cromo hexavalente, ROHS.
- Aparatos eléctricos, ROHS.

© 2014 Acerinox S.A. All rights reserved by Acerinox S.A.

2/2

ANEXO II: HERRAMIENTAS UTILIZADAS

1. Patran 2012

Una de las herramientas utilizadas para la realización de este proyecto ha sido el software MSC Patran ya que es un software que destaca por su potencial de diseño y preprocesado de modelos para el análisis mediante elementos finitos.

En este caso en particular, MSC Patran ha dado la oportunidad de poner importar los modelos facilitados por la Universidad de Zaragoza para poder hacer las modificaciones necesarias en la optimización del semirremolque.

MSC Patran ha permitido la modificación de los materiales, la comprobación de condiciones de contorno y la adición de cargas con la precisión necesaria en esta aplicación.

Una vez realizada la modificación del modelo existente se genera un archivo de texto .INP que será utilizado posteriormente en el software Abaqus para realizar el análisis del modelo completo.

2. Abaqus.

El software Abaqus se ha utilizado para realizar los cálculos y la comprobación de los resultados. Estos cálculos se realizan a través del método de los elementos finitos con los parámetros que se han especificado anteriormente en el archivo de texto .INP generado en Patran.

Para este proyecto se ha utilizado la versión de Abaqus Standard ya que se realizan los cálculos estáticos que no están sometidos a cargas dinámicas a lo largo del tiempo.

De esta forma, el primer paso ha sido importar el archivo .INP para que Abaqus pueda leerlo, posteriormente crear un archivo de trabajo sobre el que el programa va a crear sus resultados, y finalmente ejecutar dicho trabajo donde a través de la generación de un archivo .ODB se agrupan todos los resultados del modelo.

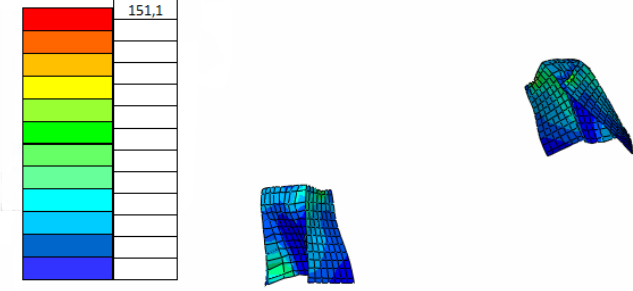
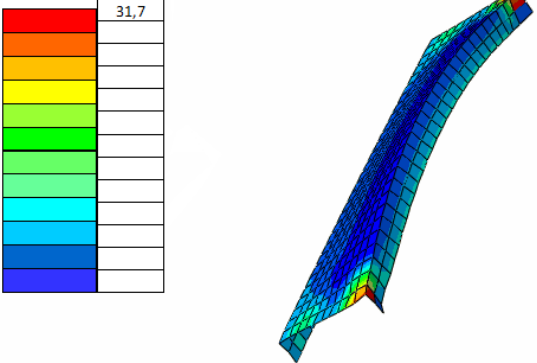
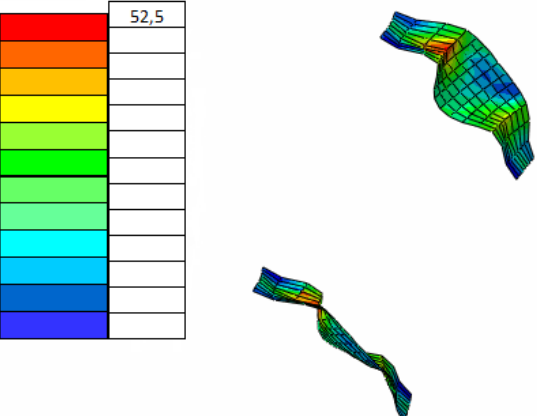
Para la visualización de los resultados se utiliza Abaqus Viewer, que es otro módulo de Abaqus donde se permite una visualización muy intuitiva de los resultados, pudiendo observar tensiones y deformaciones en cada uno de los componentes así como del conjunto completo.

En el Anexo III se pueden observar las imágenes obtenidas de la visualización de los resultados así como sus valores en cada uno de los casos de carga.

ANEXO III: RESULTADOS

1. TENSIONES

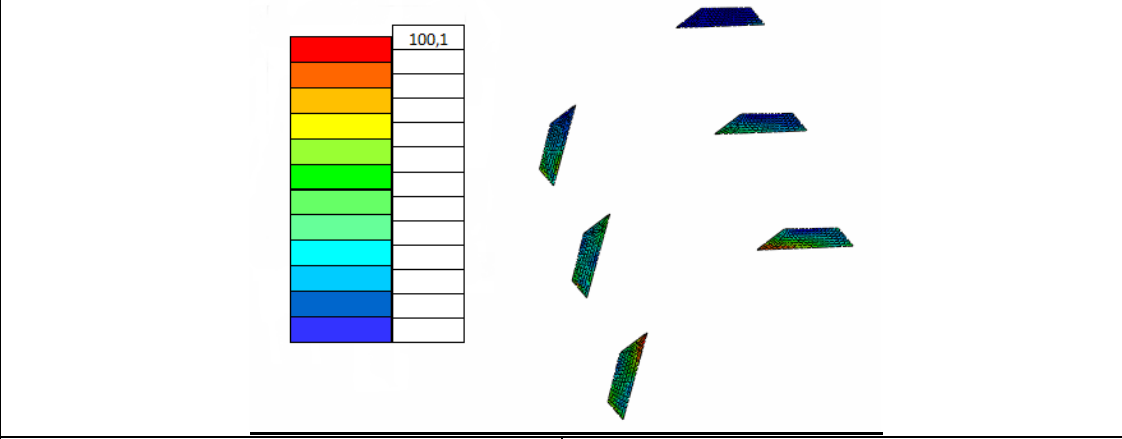
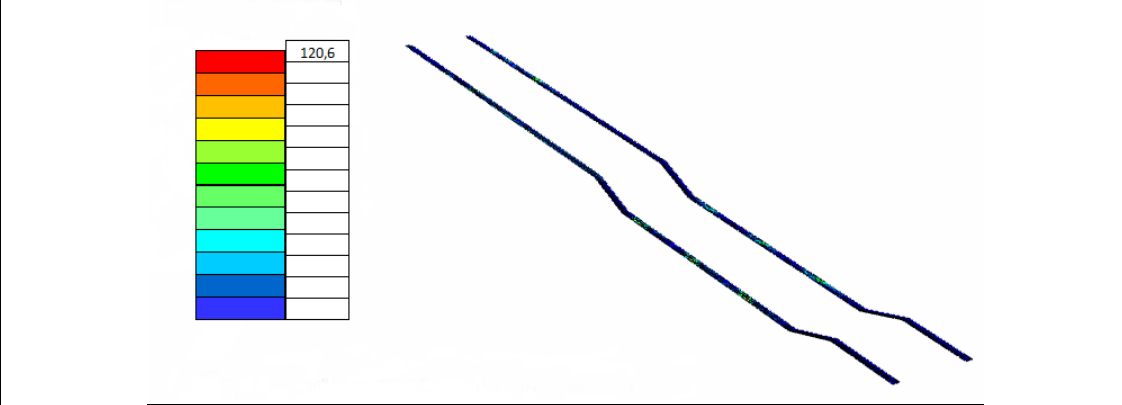
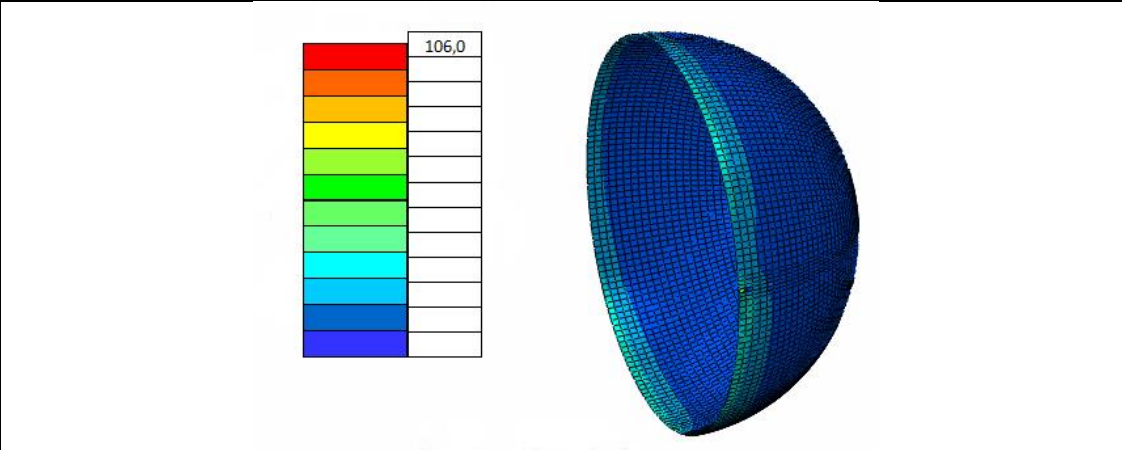
1.1. Caso apoyo en patas.

Tensión equivalente Von Mises	Soporte estacionamiento
Valor máximo (MPa): 151.1	Coeficiente seguridad: 1.52
	
Tensión equivalente Von Mises	Viga estacionamiento
Valor máximo (MPa): 31.67	Coeficiente seguridad: 7.26
	
Tensión equivalente Von Mises	Refuerzos llanta soporte estacionamiento
Valor máximo (MPa): 52.46	Coeficiente seguridad: 4.38
	

	Modelo inicial				Iteración 1				Iteración 2					
	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa)	CS	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa)	CS	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa)	CS	Peso (kg)	
Chapa deslizamiento	355	4	2	177,5	355	4	2,58	137,596899	46,23	355	4	2,58	137,596899	46,23
Chapa Kingpin	700	6,5	8	87,5	700	6,5	7,64	91,6230366	79,54	700	6,5	7,62	91,8635171	79,54
Cierre delantero y trasero	355	2	1	355	230	2	1,47	156,462585	7,18	230	2	1,47	156,462585	7,18
U delanteras	700	6	9	77,777778	355	6	9,03	39,3133998	118,59	355	6	9,03	39,3133998	118,59
Soporte estacionamiento	355	6	221	1,60633484	230	6	196,9	1,16610564	14,66	230	7	174,9	1,31503716	17,1
Viga estacionamiento	355	2	125	2,84	230	2	60,84	3,78040763	9,8	230	2	57,11	4,02731571	9,8
Refuerzo de llanta en soporte estacionamiento	355	2	98	3,62244898	230	2	53,51	4,29826201	2,13	230	2	52,59	4,37345503	2,13
Nervios	355	10	13	27,3076923	230	10	12,2	18,852459	25,01	230	10	12,34	18,6385737	25,01
U rigidificadoras suspensión	700	10	66	10,6060606	230	10	64,62	3,55926958	66,76	230	10	65,66	3,50289369	66,76
Alas viga suspensión	355	6,5	10	35,5	230	6,5	9,67	23,7849018	28,42	230	6,5	9,7	23,7113402	28,42
Almas viga suspensión	355	4,5	10	35,5	230	4,5	9,65	23,8341969	19,41	230	4,5	9,67	23,7849018	19,41
Alas travesaño	355	2	4	88,75	230	2	4,47	51,4541387	5,67	230	2	4,49	51,2249443	5,67
Almas travesaño	355	2	10	177,5	230	2	2,18	105,504587	4,8	230	2	2,2	104,545455	4,8
Escuadra rigidificadora superior	355	12	10	35,5	230	12	9,13	25,1916758	8,85	230	12	9,17	25,0817884	8,85
Escuadra rigidificadora inferior	355	7	75	4,73333333	230	7	49,51	5,28614112	8,31	230	7	44,42	5,17784782	8,31
Llanta superior	700	5,5	58	12,0689655	230	5,5	49,75	4,62311558	120,11	230	5,5	49,76	4,6221865	120,11
Llanta inferior	700	6	89	7,86516854	230	6	102,3	2,4828935	154,6	230	6	104,1	2,20941402	154,6
Almas largueros	700	4,5	137	5,10948905	230	4,5	135,5	1,69741697	392,17	230	4,5	131,2	1,75304878	392,17
Cilindro exterior	700	2	111	6,30630631	230	2	100,9	2,27948464	1074,95	230	2	101	2,27272727	1074,95
Cilindro interior	355	2	143	2,48251748	230	2	122	1,8852459	1132,13	230	2	122,1	1,88370188	1132,13
Semiesferas interiores	355	2	81	4,38271605	230	2	71,07	3,23624595	175,39	230	2	71,07	3,23624595	175,39
Semiesferas exteriores	355	2	98	3,62244898	230	2	84,07	2,73581539	194,54	230	2	84,08	2,73549001	194,54
Cisterna ML(MLI)	110	50	0,3	366,666667	110	50	1,617	68,0272109	203,83	110	50	1,618	67,9851669	203,83
								3893,08					3895,52	

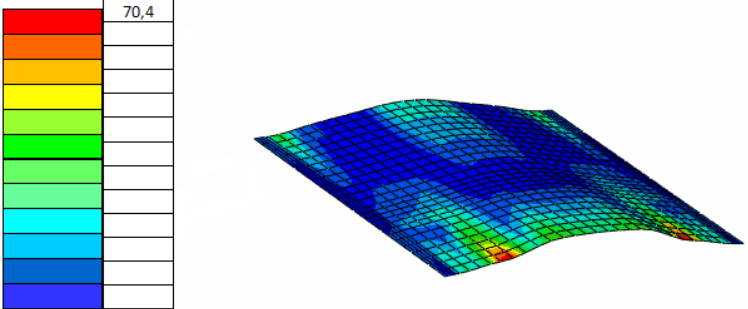
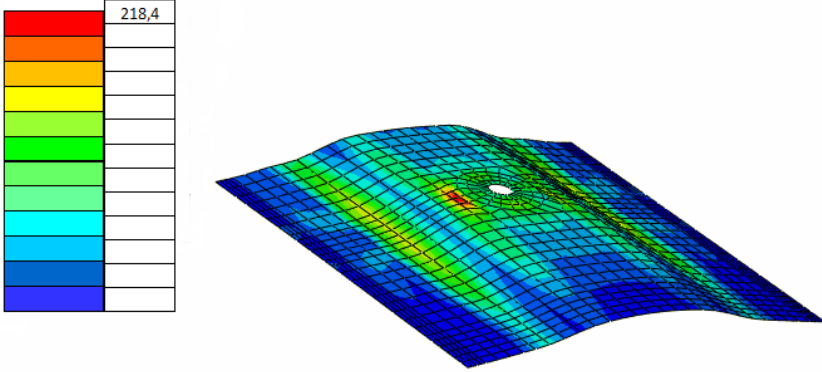
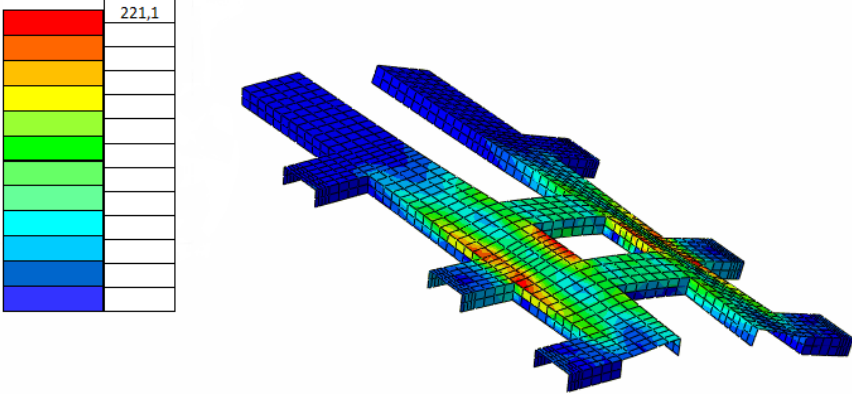
	Modelo Inicial			Iteración 4			Iteración 5							
	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa)	CS	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa)	CS	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa)	CS	Peso (kg)	Peso (kg)
Chapa deslizamiento	355	4	4	177,5	355	4	2,58	137,596899	46,23	355	4	2,58	137,596899	46,23
Chapa Kingpin	700	6,5	8	87,5	700	6,5	7,59	92,226614	79,54	700	6,5	7,59	92,226614	79,54
Cierre delantero y trasero	355	2	1	355	230	2	1,46	157,534247	7,18	230	2	1,46	157,534247	7,18
U de lanternas	700	6	9	77,777778	355	6	9,04	39,2699115	118,59	355	6	9,04	39,2699115	118,59
SopORTE estacionamiento	355	6	221	1,60633484	230	10	157,7	1,45846544	24,43	230	12	151,1	1,52217075	29,32
Viga estacionamiento	355	2	125	2,84	230	2	40,96	5,61523438	9,8	230	2	31,67	7,26239343	9,8
Refuerzo de llanta en soporte estacionamiento	355	2	98	3,62244898	230	2	52,06	4,41797925	2,13	230	2	52,46	4,3842979	2,13
Nervios	355	10	13	27,3076923	230	10	12,5	18,4	25,01	230	10	12,53	18,3559457	25,01
U rigidificadoras suspensión	700	10	66	10,6060606	230	10	67,14	3,42567769	66,76	230	10	67,57	3,40387746	66,76
Alas viga suspensión	355	6,5	10	35,5	230	6,5	9,74	23,613963	28,42	230	6,5	9,75	23,5897436	28,42
Almas viga suspensión	355	4,5	10	35,5	230	4,5	9,69	23,7358101	19,41	230	4,5	9,69	23,7358101	19,41
Alas travesaño	355	2	4	88,75	230	2	4,52	50,8849558	5,67	230	2	4,53	50,7726269	5,67
Almas travesaño	355	2	2	177,5	230	2	2,23	103,139013	4,8	230	2	2,24	102,678571	4,8
Escuadra rigidificadora superior	355	12	10	35,5	230	12	9,23	24,9187432	8,85	230	12	9,24	24,8917749	8,85
Escuadra rigidificadora inferior	355	7	75	4,73333333	230	7	45,81	5,02073783	8,31	230	7	46,27	4,97082343	8,31
Llanta superior	700	5,5	58	12,0689655	230	5,5	49,76	4,6221865	120,11	230	5,5	49,77	4,62125779	120,11
Llanta inferior	700	6	89	7,86516854	230	6	106,5	2,15962441	154,6	230	6	107,2	2,14552239	154,6
Almas largueros	700	4,5	137	5,10948905	230	4,5	124,4	1,8488746	392,17	230	4,5	122,3	1,88062142	392,17
Cilindro exterior	700	2	111	6,30630631	230	2	101	2,27722772	1074,95	230	2	101,1	2,27497527	1074,95
Cilindro interior	355	2	143	2,48251748	230	2	122,3	1,88062142	1132,13	230	2	122,3	1,88062142	1132,13
Semiesferas interiores	355	2	81	4,38271605	230	2	71,08	3,23579066	175,39	230	2	71,08	3,23579066	175,39
Semiesferas exteriores	355	2	98	3,62244898	230	2	84,1	2,73483948	194,54	230	2	84,1	2,73483948	194,54
Cisterna MLI (MLI)	110	50	0,3	366,666667	110	50	1,618	67,9851669	203,83	110	50	1,62	67,9012346	203,83
								3902,85						3907,74

1.2. Caso curva

<u>Tensión equivalente Von Mises</u> Valor máximo (MPa): 100.1	<u>Escuadras rigidificadoras inferiores</u> Coeficiente seguridad: 2.29
	
<u>Tensión equivalente Von Mises</u> Valor máximo (MPa): 120.6	<u>Llantas inferiores</u> Coeficiente seguridad: 1.90
	
<u>Tensión equivalente Von Mises</u> Valor máximo (MPa): 106	<u>Semiesferas cisterna exterior</u> Coeficiente seguridad: 2.17
	

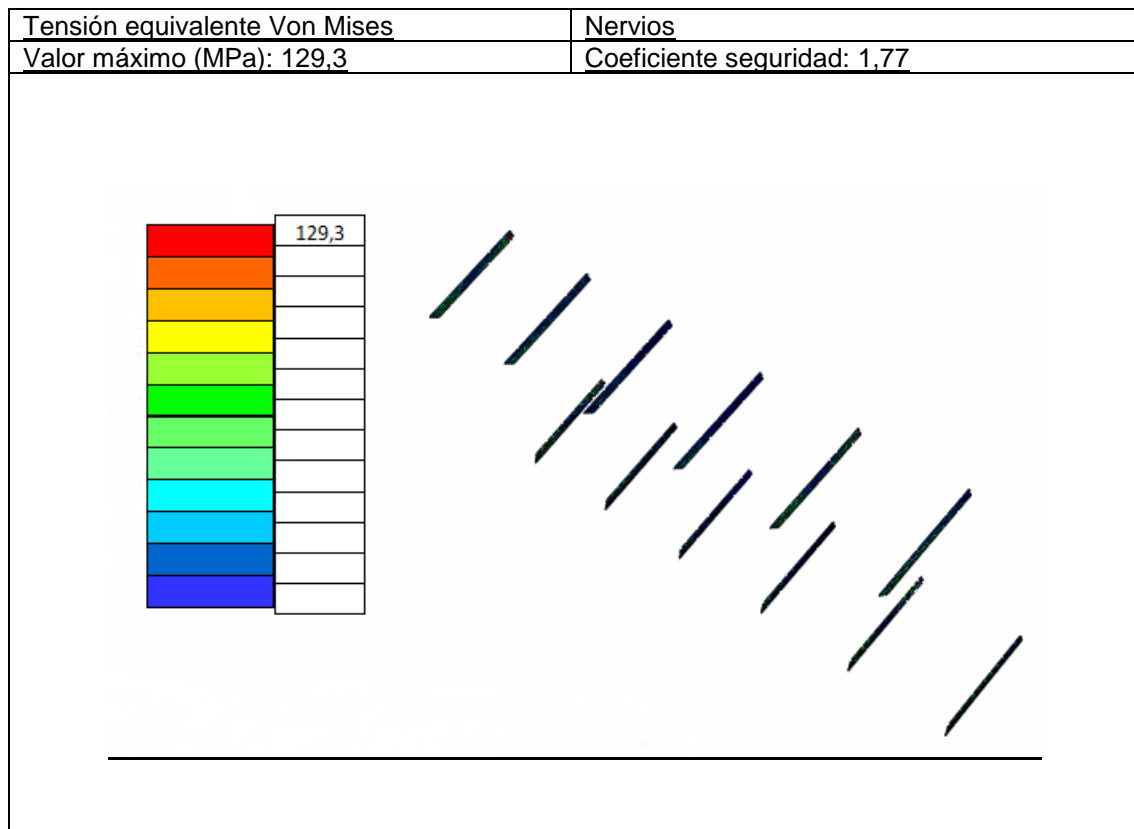
	Modelo Inicial				Iteración 1				Iteración 2						
	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa)	CS	Peso	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa)	CS	Peso (kg)	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa)	CS	Peso (kg)
Chapa deslizamiento	355	4	159	2.2327044	46,23	355	4	107,3	3.30848089	46,23	355	4	73,8	4,8102981	46,23
Chapa Kingpin	700	6,5	372,9	1,87717887	79,54	700	6,5	290,1	2,41296105	79,54	700	6,5	187,8	3,72736954	79,54
Cierre delantero y trasero	230	2	47,14	4,87908358	7,18	230	2	30,23	7,60833609	7,18	230	2	16,6	13,8554217	7,18
U delanteras	355	6	355	7,73629331	118,59	355	8	297,7	1,19247565	158,12	355	12	197	1,80203046	237,18
Soporte estacionamiento	230	12	29,73	7,73629331	14,66	230	12	19,3	11,9170984	14,66	230	12	14,6	15,7534247	17,1
Viga estacionamiento	230	2	82,04	2,80351048	9,8	230	2	38,52	5,9709242	9,8	230	2	19,04	12,0798319	9,8
Refuerzo de llanta en soporte estacionamiento	230	2	51,48	4,4675447	2,13	230	2	38,31	6,0036544	2,13	230	2	27,84	8,26149425	2,13
Nervios	230	10	29,21	7,87401575	25,01	230	10	41,38	5,5582407	25,01	230	10	41,49	5,54350446	25,01
U rigidificadoras suspensión	230	10	131,2	1,75904878	66,76	230	10	128,6	1,78849145	66,76	230	10	122,8	1,87296417	66,76
Alas viga suspensión	230	6,5	75,89	3,03070233	28,42	230	6,5	83,59	2,7515253	28,42	230	6,5	88,62	2,59535094	28,42
Almas viga suspensión	230	4,5	68,5	3,35766423	19,41	230	4,5	74,48	3,08807734	19,41	230	4,5	79,82	2,88148334	19,41
Alas travesaño	230	2	17,3	13,2947977	5,67	230	2	32,11	7,16287761	5,67	230	2	52,44	4,38596491	5,67
Almas travesaño	230	2	6,43	35,7698289	4,8	230	2	14,44	15,9279778	4,8	230	2	21,67	10,6137517	4,8
Escuadra rigidificadora superior	230	12	68,03	3,38086138	8,85	230	12	73,62	3,12415105	8,85	230	12	78,51	2,92956311	8,85
Escuadra rigidificadora inferior	230	7	99,9	2,3023023	8,31	230	7	92,84	2,47738044	8,31	230	7	100,1	2,2977023	8,31
Llanta superior	230	5,5	73,88	3,11315647	120,11	230	5,5	70,95	3,24171952	120,11	230	5,5	70,65	3,25548478	120,11
Llanta inferior	230	6	246,7	0,93230645	154,6	230	8	162,1	1,41887724	206,14	230	10	120,6	1,90713101	257,67
Almas largueros	230	4,5	459,5	0,50054407	392,17	230	7	236,7	0,97169413	610,04	230	10	150,1	1,53231179	871,49
Cilindro exterior	230	2	161,2	1,42679901	1074,95	230	3	152,8	1,5052356	1698,2	230	3	150,5	1,5282392	1074,95
Cilindro interior	230	2	163,7	1,40500916	1132,13	230	3	105,9	2,17186025	1612,43	230	3	105,55	2,17906206	1132,13
Semiesferas interiores	230	2	76,88	2,99167534	175,39	230	2	68,25	3,36996337	175,39	230	2	68,17	3,37391815	175,39
Semiesferas exteriores	230	2	96,5	2,38441969	194,54	230	2	95,36	2,41191275	194,54	230	2	106	2,16981132	194,54
Cisterna MLI (MLI)	110	50	3,99	27,5689223	203,83	110	50	4,09	26,8948655	203,83	110	50	3,97	27,7078086	203,83
					3893,08					5305,57					4596,5

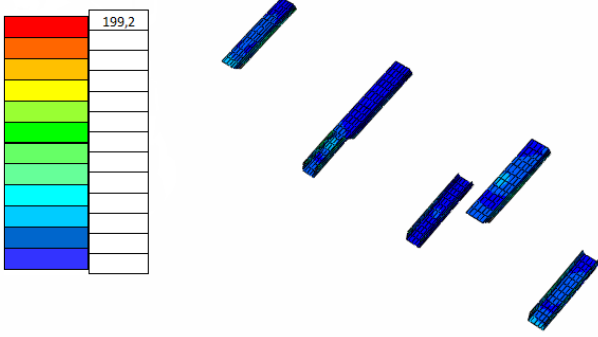

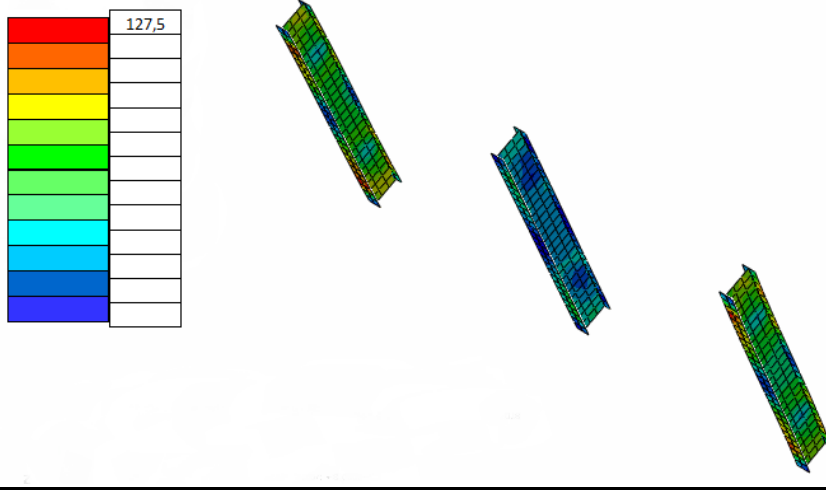
1.3. Caso frenada

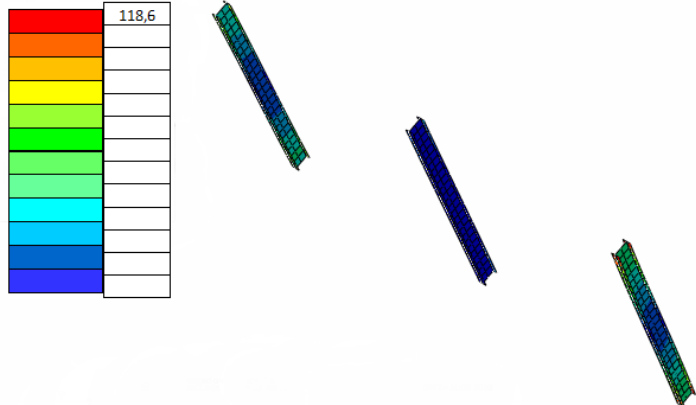
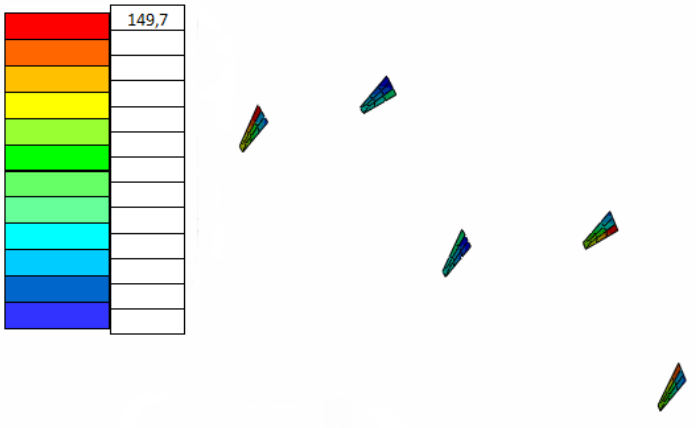
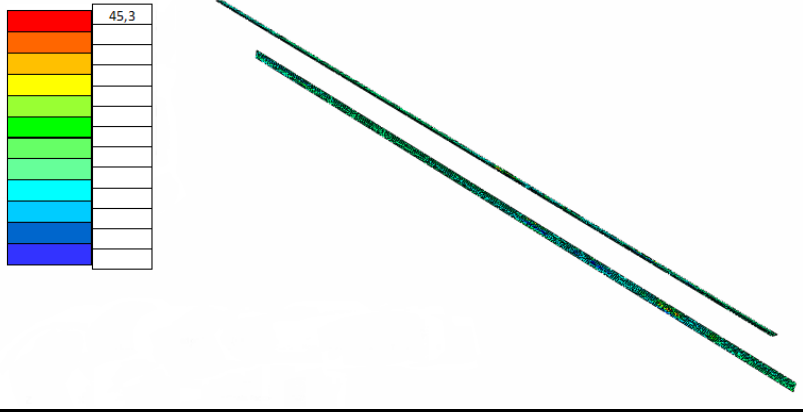
Tensión equivalente Von Mises Valor máximo (MPa): 70.37	Chapa deslizamiento Coeficiente seguridad: 5.04
	
Tensión equivalente Von Mises Valor máximo (MPa): 218.4	Chapa king-pin Coeficiente seguridad: 3.20
	
Tensión equivalente Von Mises Valor máximo (MPa): 221.1	U delanteras Coeficiente seguridad: 1.61
	

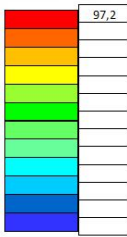

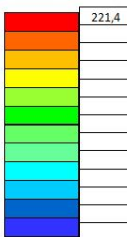
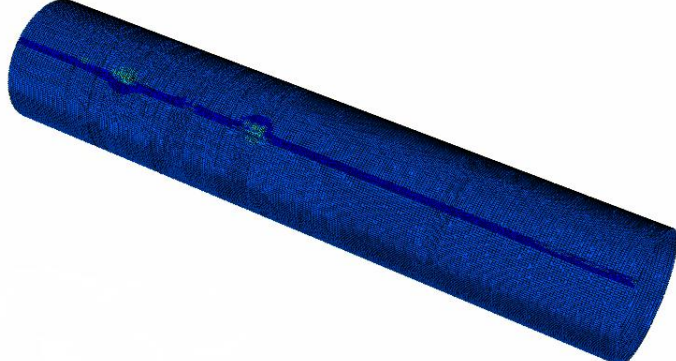

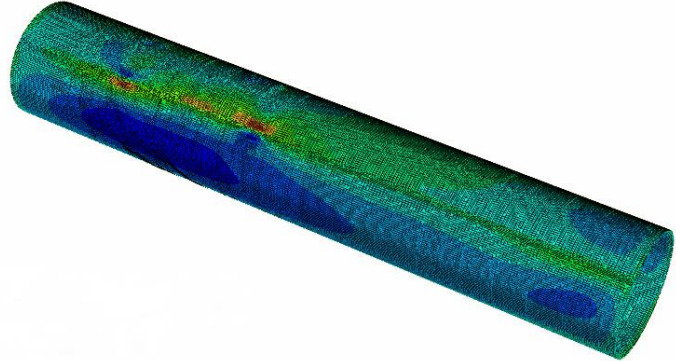
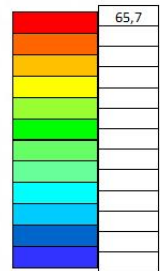
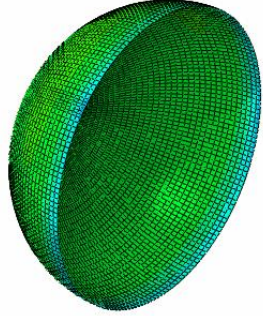
	Modelo inicial				Peso
	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa)	CS	
Chapa deslizamiento	355	4	70,37	5,04476339	46,23
Chapa Kingpin	700	6,5	218,4	3,20512821	79,54
Cierre delantero y trasero	230	2	29,55	7,78341794	7,18
U delanteras	355	12	221,1	1,60560832	237,18
Soporte estacionamiento	230	12	8,35	27,5449102	17,1
Viga estacionamiento	230	2	5,19	44,3159923	9,8
Refuerzo de llanta en soporte estacionamiento	230	2	19,36	11,8801653	2,13
Nervios	230	10	31,41	7,32250876	25,01
U rigidificadoras suspensión	230	10	60,74	3,78663154	66,76
Alas viga suspensión	230	6,5	8,9	25,8426966	28,42
Almas viga suspensión	230	4,5	12,82	17,9407176	19,41
Alas travesaño	230	2	8,6	26,744186	5,67
Almas travesaño	230	2	3,79	60,6860158	4,8
Escuadra rigidificadora superior	230	12	9,21	24,9728556	8,85
Escuadra rigidificadora inferior	230	7	35,06	6,56018254	8,31
Llanta superior	230	5,5	36,44	6,31174533	120,11
Llanta inferior	230	10	84,55	2,72028386	257,67
Almas largueros	230	10	64,38	3,57253806	871,49
Cilindro exterior	230	3	72,51	3,17197628	1074,95
Cilindro interior	230	3	79,14	2,9062421	1132,13
Semiesferas interiores	230	2	76,03	3,02512166	175,39
Semiesferas exteriores	230	2	76,89	2,99128625	194,54
Cisterna MLI(MLI)	110	50	1,3	84,6153846	203,83
					4596,5

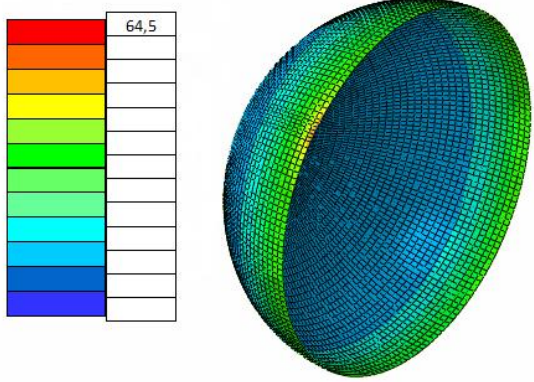
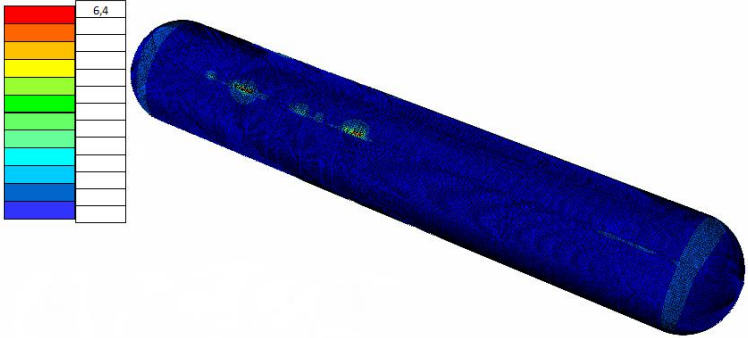
1.4. Caso radio mínimo



<u>Tensión equivalente Von Mises</u>	<u>U rigidificadora suspensión</u>
<u>Valor máximo (MPa): 199,2</u>	<u>Coefficiente seguridad: 1,15</u>
	
<u>Tensión equivalente Von Mises</u>	<u>Cierre delantero y trasero</u>
<u>Valor máximo (MPa): 19,25</u>	<u>Coefficiente seguridad: 11,9</u>
	
<u>Tensión equivalente Von Mises</u>	<u>Vigas suspensión</u>
<u>Valor máximo (MPa): 127,5</u>	<u>Coefficiente seguridad: 1,8</u>
	

<u>Tensión equivalente Von Mises</u>	<u>Travesaños</u>
Valor máximo (MPa): 118,6	Coeficiente seguridad: 1,94
	
<u>Tensión equivalente Von Mises</u>	<u>Escuadras rigidificadoras superiores</u>
Valor máximo (MPa): 149,7	Coeficiente seguridad: 1,53
	
<u>Tensión equivalente Von Mises</u>	<u>Llantas superiores</u>
Valor máximo (MPa): 45,26	Coeficiente seguridad: 5,08
	

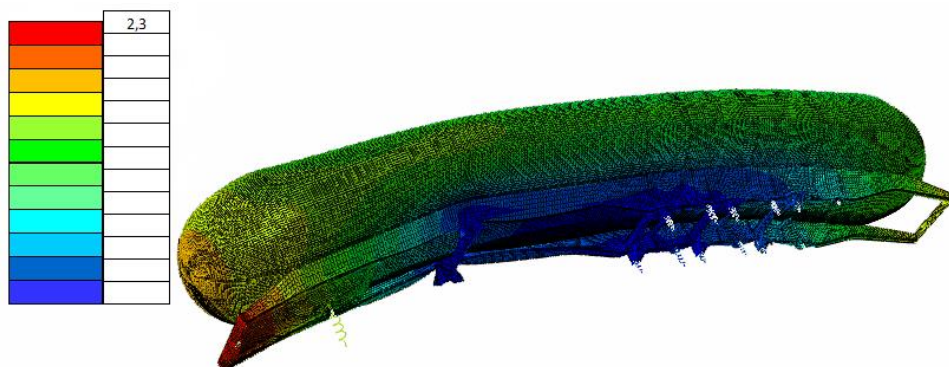
<u>Tensión equivalente Von Mises</u> <u>Valor máximo (MPa): 97,22</u>	<u>Almas largueros</u> <u>Coefficiente seguridad: 2,36</u>
	
<u>Tensión equivalente Von Mises</u> <u>Valor máximo (MPa): 221,4</u>	<u>Cilindro cisterna exterior</u> <u>Coefficiente seguridad: 1,04</u>
	
<u>Tensión equivalente Von Mises</u> <u>Valor máximo (MPa): 70,89</u>	<u>Cilindro cisterna interior</u> <u>Coefficiente seguridad: 3,24</u>
	
<u>Tensión equivalente Von Mises</u> <u>Valor máximo (MPa): 65,67</u>	<u>Semiesferas cisterna interior</u> <u>Coefficiente seguridad: 3,5</u>
	

<u>Tensión equivalente Von Mises</u>	<u>Semiesferas cisterna exterior</u>
Valor máximo (MPa): 64,48	Coeficiente seguridad: 3,56
	
<u>Tensión equivalente Von Mises</u>	<u>Cisterna MLI</u>
Valor máximo (MPa): 6,4	Coeficiente seguridad: 17,18
	

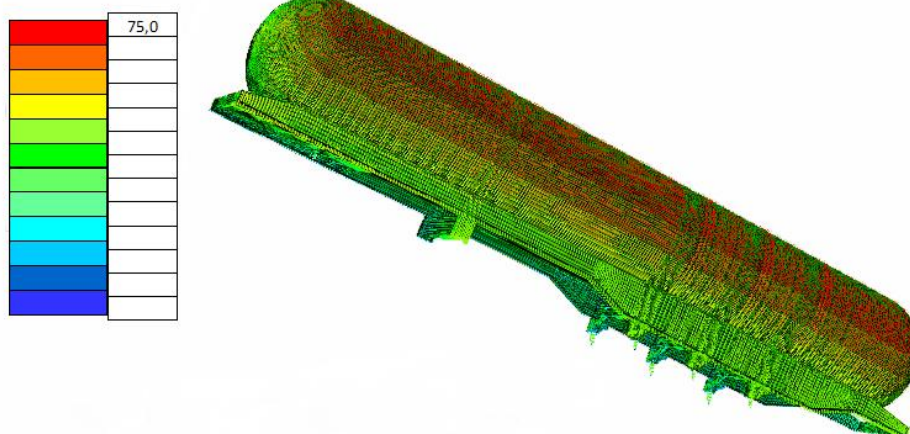
	Modelo Inicial			Iteración 1			Iteración 2			Iteración 3							
	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa.) CS	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa.) CS	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa.) CS	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa.) CS	Material	Espesor (mm.)	VM (Mpa.) CS	Peso	
Chapa deslizamiento	355	4	58,41	355	4	58,03	355	4	59,94	355	4	59,94	355	4	59,94	5,92258926	46,23
Chapa Kingpin	700	6,5	222,4	700	6,5	228,4	700	6,5	236,3	700	6,5	236,3	700	6,5	236,3	2,96233601	79,54
Cierre delantero y trasero	230	2	16,63	230	2	17,16	230	2	19,25	230	2	19,25	230	2	19,25	11,9480519	7,18
U delanteras	355	12	174,7	355	12	174,3	355	12	186,6	355	12	186,6	355	12	186,6	1,90246517	237,18
Soporte estacionamiento	230	12	11,09	230	12	9,26	230	12	8,33	230	12	8,33	230	12	8,34	27,57209376	17,1
Viga estacionamiento	230	2	13,56	230	2	9,97	230	2	8,8	230	2	8,8	230	2	8,82	26,0770935	9,8
Refuerzo de llanta en soporte estacionamiento	230	2	21,44	230	2	16,85	230	2	14,92	230	2	14,92	230	2	14,94	15,394913	2,13
Nervios	230	10	197,6	230	12	156	230	14	134,5	230	14	134,5	230	14	129,3	1,71003717	35,01
U rigidificadoras suspensión	230	10	320	230	12	259,5	230	16	223,9	230	18	199,2	230	18	199,2	1,15461847	120,18
Alas viga suspensión	230	6,5	184,4	230	8	151,5	230	8	147,1	230	8	147,1	230	8	127,5	1,80392157	43,72
Almas viga suspensión	230	4,5	173,1	230	6	132,2	230	6	128,4	230	6	128,4	230	6	102,8	2,23735409	34,5
Alas traviesa	230	2	150,1	230	2	143,9	230	2	127,1	230	2	127,1	230	2	118,6	1,95929174	5,67
Almas traviesa	230	2	59,5	230	2	60,98	230	2	53,66	230	2	53,66	230	2	50,18	4,5834994	4,8
Escuadra rigidificadora superior	230	12	178,6	230	14	152,4	230	14	146,7	230	14	146,7	230	14	148,7	1,53640615	10,32
Escuadra rigidificadora inferior	230	7	210,8	230	9	168,8	230	11	151,9	230	11	151,9	230	11	138,8	1,65706052	13,06
Llanta superior	230	5,5	143,4	230	5,5	82,88	230	5,5	47,63	230	5,5	47,63	230	5,5	45,26	5,08174888	120,11
Llanta inferior	230	10	238,4	230	12	172,2	230	12	136,4	230	12	136,4	230	12	102,1	2,25269344	104,579
Almas largueros	230	10	184,3	230	12	136,4	230	12	136,4	230	12	136,4	230	12	102,1	2,25269344	104,579
Cilindro exterior	230	3	271,5	230	5	255	230	8	230,9	230	8	230,9	230	8	221,4	1,05884372	45,285
Cilindro interior	230	3	121,3	230	3	89,64	230	3	72,1	230	3	72,1	230	3	70,89	3,24446325	113,213
Semiesferas interiores	230	2	66,32	230	2	65,66	230	2	65,67	230	2	65,67	230	2	64,48	3,56236029	175,39
Semiesferas exteriores	230	2	76,08	230	2	71,63	230	2	64,5	230	2	64,5	230	2	64,48	3,56236029	175,39
Cisterna ML(MLL)	110	50	9,88	110	50	7,89	110	50	6,7	110	50	6,7	110	50	6,4	17,1875	203,83
																8370,96	8401,68

2. DEFORMACIONES

2.1. Caso apoyo en patas



2.2. Caso curva



2.3. Caso frenada



2.4. Caso radio mínimo

