

STRENX®
PERFORMANCE STEEL

DIRECTRICES DE DISEÑO PARA REMOLQUES

STRENX®: LA RUTA MÁS RÁPIDA HACIA
UN TRANSPORTE EFICIENTE.



SSAB

Introducción

El acero es el material de ingeniería más utilizado en el mundo. En comparación con otros materiales, su producción es económica y se puede encontrar en una amplia gama de calidades aptas para un inmenso campo de aplicaciones y métodos de producción. El acero es también el material más reciclado en el mundo: cada año se recicla más acero que aluminio, papel, vidrio y plástico juntos. Desde la primera referencia al acero, que data de una excavación arqueológica en Turquía con 4000 años de antigüedad, se han invertido grandes esfuerzos en el desarrollo del acero hasta convertirlo en los aceros avanzados de alta resistencia (AHSS) de los que nos beneficiamos en la actualidad.

Los vehículos de transporte por carretera, como los camiones y los remolques, pueden beneficiarse en gran medida de las mejoras conseguidas, tanto en el diseño como en los métodos de producción. La elección del material está estrechamente relacionada con estos aspectos, y afecta al rendimiento y al coste de estos vehículos. El uso de AHSS permite el desarrollo de estructuras y componentes más ligeros, lo que se traduce directamente en ahorro económico y en la reducción de las emisiones de CO₂.

Los AHSS son una elección natural para muchas empresas que intentan mejorar su producto y ser más competitivas. Las empresas prósperas que utilizan AHSS aprovechan la oportunidad que estos les brindan de estar a la vanguardia en lo que respecta a desarrollo de procesos, diseño y material, pero también se benefician de los conocimientos y la experiencia acumulada durante años de uso de acero convencional. Al empezar a utilizar AHSS, se adquieren nuevos conocimientos que se pueden aplicar al diseño y fabricación de productos.

En SSAB estamos comprometidos en apoyar a nuestros clientes para que aprovechen de verdad las ventajas de nuestros aceros avanzados de alta resistencia. Al utilizar AHSS de SSAB, nuestros clientes no solo consiguen aceros de la más alta calidad, sino que también establecen una relación a largo plazo en la que se comparten conocimientos. Nuestros clientes conocen sus productos; nosotros les apoyamos en la elección y utilización de la calidad adecuada de acero tanto desde el punto de vista del diseño como de la producción.

Si está en el negocio de los remolques y le interesa conseguir una mayor capacidad de carga, menor mantenimiento, ahorros de combustible y mayor vida útil del producto, y si desea establecer un flujo de producción con menos contratiempos y al mismo tiempo ser respetuoso con el medio ambiente, disfrutará leyendo este documento.

ÍNDICE	Aspectos económicos y ambientales del uso de los AHSS en el sector de los remolques	4
	Diseño	8
	MEJORAS TÍPICAS	9
	RESISTENCIA AL PLEGADO	10
	ESTABILIDAD	10
	FATIGA	12
	ERRORES HABITUALES	13
	Fabricación	18
	CALIDAD DE LOS BORDES	18
	GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE	18
	MÉTODOS DE SOLDADURA POSIBLES	20
	De cara al futuro	26

ASPECTOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES DEL USO DE LOS AHSS EN EL SECTOR DE LOS REMOLQUES



Está demostrado que el uso de aceros avanzados de alta resistencia (AHSS) para desarrollar remolques más ligeros y más resistentes influye enormemente en el rendimiento económico del vehículo. Está comprobado que tanto los fabricantes de remolques como los transportistas pueden aprovechar parte de las ventajas económicas, pero también deben tenerse en cuenta las ventajas que ofrece la reducción de las emisiones de CO₂.

BENEFICIOS PARA EL FABRICANTE DE REMOLQUES

Cuando se analizan los beneficios económicos para los fabricantes de remolques es importante tener en cuenta todos los aspectos que afectan a la economía general de la producción. Simplemente comparar el nivel de precios por tonelada de las diferentes calidades de acero no nos da una imagen real del coste total de fabricación. Reducir el espesor de la lámina tendrá como resultado en la mayoría de los casos una importante reducción de costes, tanto en el coste del material como en el de su procesamiento. Incluso aunque el precio por tonelada sea mayor para los AHSS, a consecuencia de la reducción del peso final del producto, se utilizan menos

toneladas de acero. El uso de espesores más finos en el taller permite reducir el costo de los cortes, plegados y soldaduras. El corte con láser en aceros de alta resistencia no es diferente al corte de aceros blandos y el tiempo de corte es menor gracias al menor espesor. La soldadura de materiales más finos es el aspecto que, en la mayor parte de los casos, ofrece los mayores ahorros debido a que se requiere una menor cantidad de consumibles y a la posibilidad de aumentar la velocidad de soldadura. Utilizar AHSS con buena capacidad de plegado también puede permitir reducir la cantidad de soldaduras. En general, el plegado de perfiles de AHSS no requiere un mayor esfuerzo que el de un perfil de mayor espesor de acero convencional. Sin embargo, el retorno elástico del AHSS es mayor en comparación con el del acero convencional y es necesario compensarlo en el proceso.

Para tener una mejor perspectiva de estas cuestiones, se comparan los costos de producción de un chasis tradicional para remolque de suelo plano con los de un diseño aligerado fabricado con AHSS. El chasis tradicional incluido en este estudio se fabrica con vigas en I laminadas en caliente estandarizadas, cortadas y soldadas en la zona del cuello de ganso para producir la transición en altura de las vigas principales. Los miembros transversales consisten en perfiles plegados

soldados a los largueros, contemplándose igualmente perfiles laterales para sujetar el suelo. Los perfiles laterales se fabrican con vigas en U estandarizadas. Todas las piezas se fabrican de acero G50. En la solución aligerada, el larguero en I laminado en caliente se ha sustituido por uno en I longitudinal cortada con láser y soldada, y fabricada con AHSS. Construyendo el chasis con AHSS se consigue una notable reducción de espesor de los principales componentes estructurales y, con ello, el peso disminuye aproximadamente en 1500 kg.

Además de la reducción del peso, en la figura 1 se puede observar una disminución del coste de producción de un 30%. El coste se ha reducido en las operaciones de corte y de soldadura, y también en el material. En este caso se observa un ligero aumento de los costes de plegado. Debido a requisitos de diseño, se han introducido secciones transversales con nuevos perfiles, lo que requiere más operaciones de plegado. La reducción del coste de fabricación en un 30% ofrece beneficios obvios para el fabricante, pero además estamos produciendo un remolque ligero y más atractivo. Es fácil prever las ventajas que se obtendrán en el mercado. Es interesante señalar que este estudio se realizó sobre un chasis ya existente en el que la mayor parte de las piezas estructurales eran perfiles laminados en caliente. Cuando este procedimiento se aplica sobre chasis tradicionales fabricados a partir de vigas soldadas, se consiguen aún mayores ahorros.

BENEFICIOS PARA EL TRANSPORTISTA.

Un remolque más resistente y más ligero aporta ventajas obvias para el transportista ya que la legislación limita el peso máximo del vehículo. Una construcción más ligera permite el aumento de la capacidad de carga en cada viaje y, en muchas ocasiones, un importante ahorro de combustible. El ahorro

en el consumo de combustible se puede estimar, de forma conservadora, en unos 0,55 l/100 km por cada 1000 kg de reducción del peso. Esto afecta de forma directa a las cifras operativas de cualquier empresa de transportes. En función del tipo de vehículo y de la filosofía de mejora del diseño, con la introducción de AHSS el peso final se reduce entre 500 y 2000 kg. Además, seleccionando los tipos más adecuados de AHSS para cada aplicación, se puede obtener una reducción en los costes de mantenimiento. La combinación de las características de mayor resistencia mecánica, a la abrasión y a la intemperie propias de los AHSS, permite mejorar la respuesta a las intensas exigencias que recaen sobre estos vehículos.

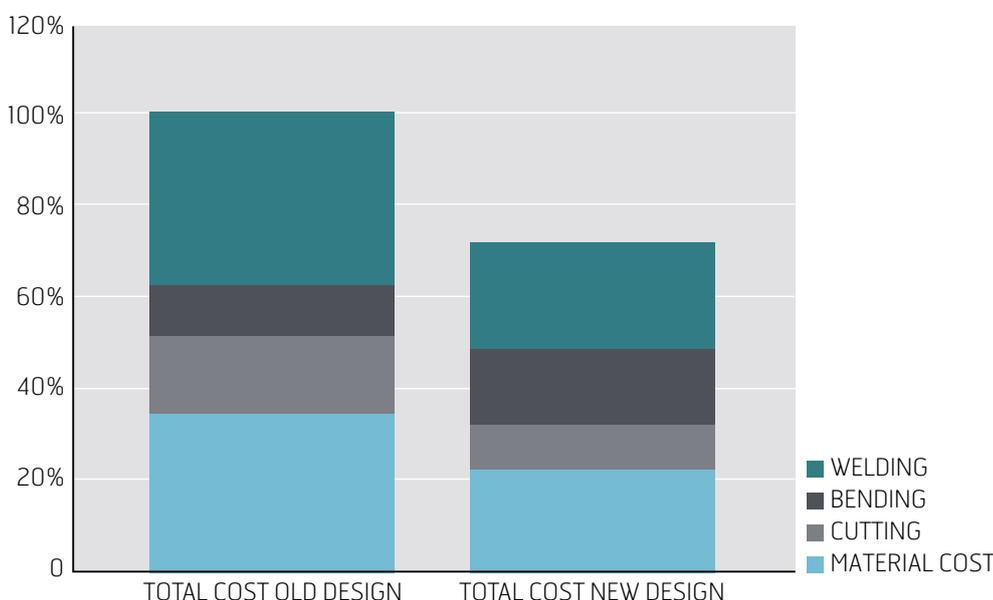
VENTAJAS MEDIOAMBIENTALES

Además de las ventajas económicas, un vehículo más ligero disminuye el impacto medioambiental al requerir menos materia prima en su fabricación y reducir las emisiones de efecto invernadero.

En la evaluación del ciclo de vida del producto se suelen analizar diferentes fases. Cuando un remolque de diseño mejorado se compara con un diseño tradicional en acero convencional en términos de impacto medioambiental, la producción del acero y la vida de servicio son los factores dominantes. Este último contribuye habitualmente al 90% del ahorro medioambiental obtenible en un vehículo.

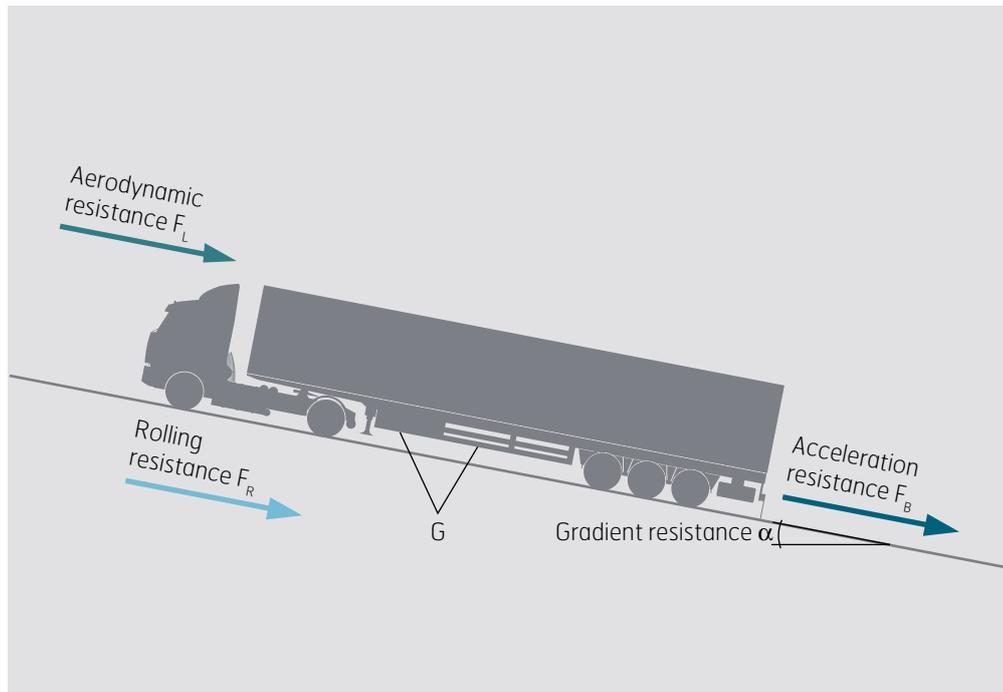
Al analizar la vida operativa de vehículos con limitación de volumen de carga, se debe tener en cuenta el balance energético del vehículo. El consumo energético de un vehículo rodante es la suma de las diferentes resistencias que debe superar durante su funcionamiento. Figura 2.

FIGURA 1 Comparación de costes de producción de un chasis convencional y ligero incluido el coste del material.



Al utilizar material de menor espesor se consigue una reducción de costes tanto en las operaciones de soldadura como de corte. Asimismo, al reducirse la cantidad de acero consumida, el coste del material también se minimiza.

FIGURA 2 Visión general de los factores de resistencia que afectan al consumo de combustible de cualquier vehículo rodado.



- F = resistencia total
- ρ = densidad atmosférica
- c_w = coeficiente de resistencia aerodinámica
- A = área frontal
- v = velocidad
- k_r = coeficiente de resistencia a la rodadura
- m = masa
- α = ángulo de la pendiente
- k_m = coeficiente de resistencia a la aceleración
- a = aceleración
- $F_{wi} = F_R + F_L + F_{St} + F_B$
- $F_L = \frac{\rho}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot v_x^2$
- $F_R = k_R \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$
- $F_{St} = m \cdot g \cdot \sin \alpha$
- $G = m \cdot g$
- $F_B = k_m \cdot m \cdot a_x$

Con la excepción de la resistencia aerodinámica, todos los factores de resistencia dependen de forma lineal de la masa. Sin embargo, la resistencia aerodinámica depende de las dimensiones del vehículo y de la velocidad. Por lo tanto, aparte de la masa, la velocidad, la aceleración y la pendiente de la vía afectan al consumo energético. Estos factores guardan una estrecha relación con las condiciones de conducción y con el estilo de conducción. Partiendo de las mismas condiciones de conducción, la relación entre el consumo y el peso del vehículo es lineal, y el ahorro energético correspondiente a una reducción de peso específica es independiente del peso absoluto del vehículo.

Por tanto, aquellos vehículos que circulan a velocidades elevadas y constantes en terreno llano presentan una mayor contribución de la resistencia aerodinámica al consumo total. Por el contrario la contribución de la resistencia a la aceleración será menor. Como resultado, el ahorro en el consumo obtenido por la reducción de peso será moderado en este caso. Inversamente, aquellos vehículos que circulen habitualmente a velocidades moderadas y/o que realicen frecuentes paradas y cambio de velocidad, y/o que circulen por vías con inclinación son susceptibles de conseguir un gran ahorro en consumo por reducción de peso.

SEMIRREMOLQUES

Los grandes semirremolques son el modo de transporte por carretera predominante en Europa y en Estados Unidos, y suponen una importante proporción del consumo de combustible en el sector del transporte. Mediante la reducción del peso se pueden conseguir ahorros directos e indirectos. Si la carga está sujeta a limitaciones de volumen, un vehículo más ligero consumirá menos combustible, y si la carga está limitada por el peso, se podrá transportar carga adicional.

CARGA LIMITADA POR EL VOLUMEN

En este caso, el ahorro en el consumo de combustible por reducción de peso depende en gran medida, como ya se ha mencionado, de las condiciones de conducción, como puede apreciarse en las cifras presentadas en la tabla 1, que muestra valores típicos de consumo de combustible de semirremolques en diferentes condiciones de conducción.

Consideremos un camión de 40 toneladas con semirremolque de caja basculante para obtener un ejemplo de la influencia de la reducción de peso en las emisiones medioambientales y en los recursos energéticos primarios. Partimos de la hipótesis de que la carga está limitada por el volumen y que estos tipos de vehículos se conducen principalmente por autopistas y carreteras nacionales y regionales. Un cálculo conservador sería considerar un ahorro en el consumo de combustible de 0,055l/100 km por cada 100 kg de reducción de peso. Para la evaluación del ciclo de vida, la vida total del remolque se estima en 1,2 millones de km.

CARGA LIMITADA POR EL PESO

En el caso de carga limitada por el peso, la reducción de la tara del vehículo permite una mayor capacidad de carga y por tanto se necesitan menos km por vehículo para transportar una determinada cantidad de productos. El ahorro energético para cargas limitadas por el peso es, por lo tanto, mayor que el ahorro energético para cargas limitadas por el volumen. Como ejemplo, se calcula el ahorro de consumo de combustible y de emisiones de CO₂ de un remolque ligero con caja basculante. El peso del vehículo se ha reducido gracias al uso de AHSS, lo que ha aumentado la capacidad de carga en 1839 kg (ver tabla 2). Con una vida de 1,2 millones de km, se produce un ahorro de 2 210 000 toneladas-km durante la vida útil del remolque con caja basculante, lo que equivale a 76 550 km-vehículo en el caso de vehículos totalmente cargados. Si partimos de la cifra de un consumo de combustible de 40l/100km, esto significa un ahorro en el ciclo de vida de 30 620 litros de gasóleo, 81,4 toneladas de emisiones de CO₂ y 316 MWh de energía primaria por vehículo.

TABLA 1 Consumo de combustible de remolques típicos en diferentes condiciones de conducción y ahorros obtenidos en consumo de combustible por reducción de peso de los vehículos.

Factor de carga	Peso total (toneladas)	Autopista (litro/100 km)		Carretera rural (litro/100 km)		Carreteras urbanas (litro/100 km)	
		Gabi ¹	NTM ²	Gabi ¹	NTM ²	Gabi ¹	NTM ²
Vacío (0%)	14	23.6	22.6	22.7	23.0	35.4	28.8
Totalmente cargado (100%)	40	37.8	36.0	41.4	39.6	64.4	50.4
Ahorro específico en el consumo de combustible tras una reducción de peso, (litro/(100 km*100 kg de reducción de peso)).		0.052	0.049	0.069	0.061	0.107	0.080

1) Gabi LCA software y base de datos PE International, Leifelden-Echterdingen, Alemania.

2) Datos medioambientales de la NTM para la International Cargo Road Transport Europe, Preliminar, Documento de trabajo sujeto a actualizaciones, versión 2009-12-22 Network for transport and the Environment, NTM, Suecia.

TABLA 2 Ejemplo de mejora de un semirremolque con caja basculante.

Peso y reducción de peso debida al cambio de acero grado 50 a Strenx® 700 MC									
Componente	Original [kg]	Actualizado [kg]	RP [%] [kg]	RP [%] [%]	R-CO ₂ Acero prod. [kg]	R-CC [l/100km]	R-CO ₂ Servicio [kg/100km]	R-CO ₂ Vida de servicio 1,2 x 106 km [kg]	R-Energía Vida de servicio 1,2 x 106 km [kg]
Chasis del remolque	1109	960	960	39.0					
Piezas adicionales del chasis	960	960	56	14.0					
Ejes, ruedas, frenos, sistema eléctrico, etc.	4000	4000	0	0					
Total semirremolque*	5509	5020	960	8.9	960	0.27	0.72	9290	36,570
Peso de caja basculante	6,500	5,150	1,350	20.8					
Total semirremolque con caja basculante en vacío*	12,009	10,170	1839	15.3	3,200	1.01	2.69	32,550	140,000
Capacidad de carga	26,991	28,830	+1839	+6.8					
Total semirremolque con caja basculante totalmente cargado**	39,000	39,000	-	-	3,200	0	0	84,650	330,730

RP = reducción de peso, R-CO₂ = R-CO₂ = reducción de CO₂, R-FC = reducción de consumo de combustible, R-Energía = reducción en consumo de energía primaria.

* Las cifra medioambientales corresponden a carga limitada por el volumen.

** Las cifra medioambientales corresponden a carga limitada por el peso con un factor de carga del 100%.

DISEÑO

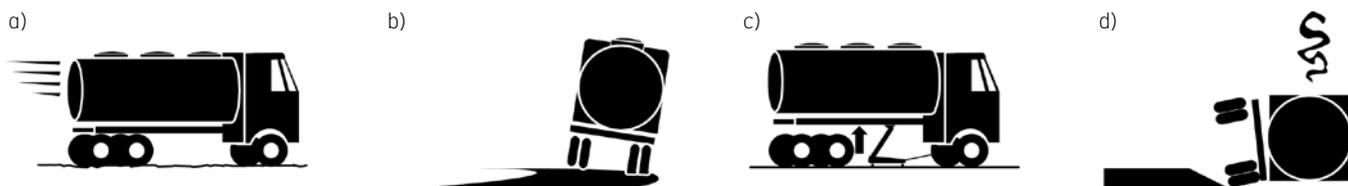
El diseño de remolques con frecuencia es el resultado de la experiencia y los conocimientos adquiridos durante años por las empresas fabricantes, y por el saber hacer de los usuarios finales. Las soluciones óptimas generalmente se pueden aplicar también a vehículos ligeros fabricados con aceros de alta resistencia. Sin embargo, el acero avanzado de alta resistencia (AHSS) permite nuevas soluciones e incluso puede requerir de cambios en el diseño para aprovechar todo el potencial de mejora que posibilita una mayor resistencia.

Un chasis normal de un remolque consiste en dos largue-ros principales, fabricados con perfiles laminados en caliente estandarizados o vigas en I soldadas y varios travesaños. Para los travesaños se pueden utilizar perfiles abiertos, tubos o perfiles de sección cuadrada. Dependiendo del tipo de remolque, se pueden fijar al chasis componentes del suelo y diferentes perfiles de soporte. La parte del "king pin" generalmente consiste en una placa con perfiles de refuerzo. El potencial que presenta la mejora del chasis utilizando AHSS no se limita a una mayor capacidad de carga estática,

sino que también se puede obtener una notable reducción de la fatiga del material y un mejor comportamiento en conducción debido a la mayor rigidez. Por lo tanto, encontrar una solución con una capacidad de carga equivalente a la del diseño de partida puede servir como base del proyecto, pero para poder extraer todo el potencial de mejora del AHSS es esencial ocuparse también de aspectos técnicos como la fatiga y la rigidez. Es importante tener en cuenta que un mal diseño o una mala calidad de fabricación reducen el potencial de la mejora.

Para un chasis de remolque fabricado con acero convencional, el dimensionamiento se establece de acuerdo a la capacidad de carga máxima para evitar deformaciones permanentes (ver figura 3). En cambio, en un chasis de remolque aligerado donde se ha reducido el espesor y se ha aumentado el nivel de tensión de trabajo, la capacidad de carga y la vida de servicio están limitadas por la fatiga, las deformaciones elásticas y la rigidez.

FIGURA 3 Remolques sometidos a diferentes situaciones de carga durante su servicio.



Para conseguir una mejora exitosa es importante tener en cuenta todas las condiciones de carga, a) Fatiga con ciclos de carga frecuentes de baja tensión, b) Deformaciones elásticas durante la operación, c) Capacidad de carga; sin deformaciones permanentes a carga máxima, d) Estabilidad durante la operación.

MEJORAS TÍPICAS

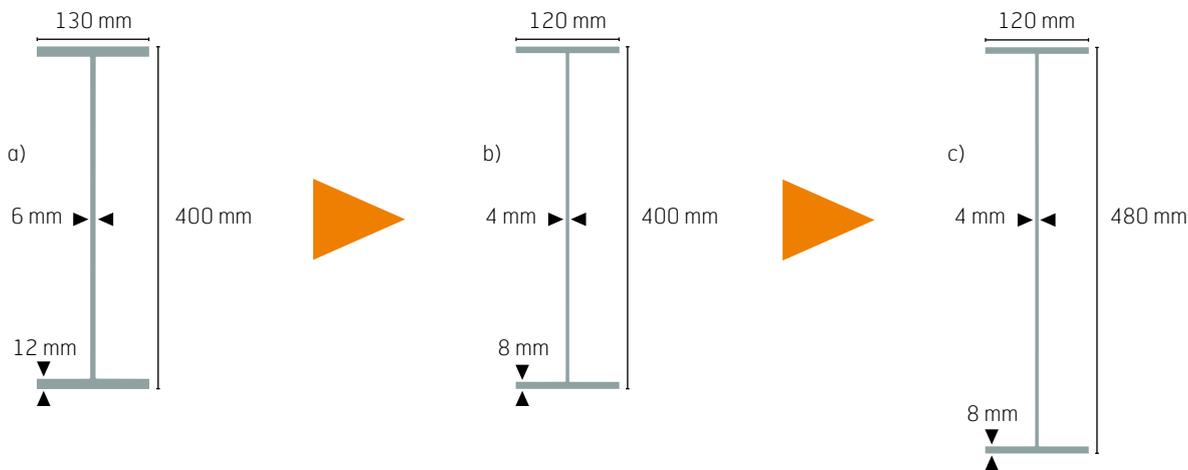
En soluciones ligeras para chasis de remolques es frecuente utilizar Strenx® 700 MC. Al mejorar el chasis de un remolque, es decir, al pasar de utilizar un acero G50 a Strenx® 700 MC, generalmente se consigue una reducción de peso de un 30% en las partes estructurales del chasis, pero dependiendo del diseño, la reducción potencial del peso puede ser mayor, llegando incluso al 50%. Como ejemplo, se ha calculado el potencial de reducción de peso de un larguero de remolque de 13,75 metros de longitud al sustituir acero G50 por Strenx® 700 MC. Se determina la capacidad de carga del diseño original y se propone una alternativa equivalente en Strenx® 700 MC (ver figura 4).

El peso total de los miembros principales originales fabricados con acero convencional es de 1085 kg, y el peso total de la alternativa mejorada con Strenx® 700 MC es de 704 kg. Esto significa una reducción de peso de 381 kg, es decir, un 35,2%. Estos resultados deben considerarse solo como un ejemplo. Dependiendo del tipo de vehículo, de los requisitos específicos y de los detalles del diseño, el potencial de mejora puede ser menor o mayor que el ejemplo anterior. Los cál-

culos solo tienen en cuenta la capacidad de carga estática, aunque sirven como un buen punto de partida en el desarrollo de un diseño de chasis aligerado.

En el caso de los largueros de un chasis de remolque de diseño tradicional, existen algunas limitaciones para poder utilizar un acero de mayor resistencia que Strenx® 700 MC. Para poder aprovechar verdaderamente la mayor resistencia es necesario explorar otros conceptos de chasis. Sin embargo, para algunos diseños, unas calidades superiores, como Strenx® 960, sí pueden constituir una opción apropiada. Para rebordes o perfiles sujetos a desgaste o a impactos, como la defensa trasera y el mamparo, se puede utilizar un acero de mayor resistencia, como Strenx® 1100, o un acero resistente al desgaste, como Hardox® 450. Para otras partes del chasis, como componentes del suelo, los aceros laminados en frío como Strenx® 700 CR y Strenx® 960 CR, ofrecen excelentes posibilidades de conseguir importantes reducciones de peso. Estas piezas se pueden fabricar mediante plegado y, para series mayores, por laminación y estampación.

FIGURA 4 Soluciones ligeras con capacidad de carga y rigidez a la flexión equivalentes.



Visión general de las propiedades y del potencial de reducción de peso de un larguero convencional a) y de alternativas mejoradas ligeras b) y c) Strenx® 700 MC.

	Diseño original a)	Diseño ligero b)	Diseño ligero c)
Calidad del acero	G50	Strenx® 700 MC	Strenx® 700 MC
Peso, m [kg/m]	42	27	30
Momento nominal a la flexión, M [kNm]	286	306	369
Momento de inercia, I [m ⁴]	140 E-06	93 E-06	140 E-06
Módulo de sección, W [m ³]	72 E-05	46 E-05	58 E-05
Reducción de peso, RP [%]	-	36	30

RESISTENCIA AL PLEGADO

Con frecuencia se seña patín la resistencia al plegado en la dirección vertical como un aspecto crítico para remolques mejorados y aligerados fabricados con acero de alta resistencia. En algunos mercados, la flexión está limitada por las normas de altura al suelo, pero en la mayoría de los casos, los límites a la flexión son una cuestión de funcionalidad. Es decir, la flexión debe ser suficientemente controlada como para, por ejemplo, no provocar el bloqueo de las puertas y por supuesto garantizar que queda suficiente espacio entre la cabeza tractora y el remolque en el área de la quinta rueda, incluso bajo carga. Para algunos remolques especiales, como las góndolas rebajadas, los requisitos de flexión pueden limitar la elección de material.

Como todas las calidades de aceros tienen el mismo módulo de Young, la resistencia al plegado viene dictada por la geometría. Es decir, al reducir el espesor como consecuencia del empleo de AHSS, la resistencia a la flexión también se reduce si no se varía la geometría de los perfiles. Para el chasis de un remolque, la resistencia a la flexión en la dirección vertical viene dictada por la geometría de los largueros. Cuando la flexión representa un problema, la resistencia a la flexión puede mejorarse aumentando la altura de las secciones transversales.

Aumentar la altura de los largueros es el modo más eficiente de aumentar la resistencia a la flexión. Sin embargo, en áreas donde la altura de los perfiles está restringida, la rigidez al plegado se puede mejorar aumentando el ancho de los patines (ver figura 5). Esta medida también se puede tomar en áreas críticas para reducir el nivel de tensión de trabajo y mejorar la rigidez en la dirección lateral de los perfiles. Mediante técnicas modernas de fabricación, el ancho del patín se puede ajustar a lo largo de la viga en función de la distribución de la carga. Sin embargo, al reducir el espesor del patín, la anchura solo se puede aumentar en cierta medida, ya que el patín en la zona sometida a compresión puede sufrir pandeo y eso limita su colaboración en la resistencia al esfuerzo. Por otro lado, si el larguero previsto en el diseño original ya es muy alto, el pandeo del alma debido al esfuerzo cortante puede reducir la posibilidad de aumentar la altura y reducir el espesor. En el Manual de Láminas de Acero de SSAB¹ se describen con más detalle la inestabilidad y los métodos de cálculo.

ESTABILIDAD

La estabilidad estructural del vehículo al circular por carretera o, para remolques de caja basculante en una situación de descarga, depende de diferentes factores, siendo un componente la rigidez a la torsión del chasis. Esto debe tenerse en cuenta durante la mejora del diseño del chasis para remolques de caja basculante y otros remolques donde existan cargas de torsión importantes. La rigidez a la torsión de un chasis viene dictada por el diseño y la posición de los miembros transversales y por la presencia de arriostrados. La reducción del espesor del alma en los largueros del chasis tendrá un efecto muy limitado sobre la rigidez a la torsión del chasis, mientras que reducir el espesor de los travesaños afectará de forma importante a dicha característica. A fin de evitar problemas de estabilidad, es recomendable introducir cambios en el diseño para alcanzar una rigidez a la torsión igual, o incluso superior, a la del diseño original.

Mediante la introducción de perfiles con secciones transversales cerradas para los travesaños, la rigidez a la torsión se ve significativamente mejorada (ver figura 6). Pero para alcanzar el nivel óptimo de utilización de material, la posición de dichos travesaños es igual de importante. La redistribución o el añadido de uno o dos miembros transversales adicionales influye en la rigidez a la torsión total. Como recomendación general, los travesaños deben situarse en la parte posterior del chasis. Sin embargo, esta práctica se ha exagerado en multitud de ocasiones, de forma que moviendo algún travesaño hacia delante o mediante la adición de una traviesa en un punto estratégico de la parte frontal, se puede mejorar el comportamiento general de forma considerable. Esto es debido al hecho de que una pequeña rotación en la parte frontal tiene como resultado un importante desplazamiento en la parte posterior. Por tanto un aumento de la rigidez a la torsión en la parte frontal puede mejorar el comportamiento a la torsión.

Otra medida efectiva es introducir arriostrados. Para obtener una utilización de material óptima del arriostrado, es importante diseñarlo de modo que solo una barra soporte carga de tracción y se permita el pandeo de la otra. Por lo tanto, las barras deben ser esbeltas y no deben estar soldadas entre sí en el centro. Para ilustrar el efecto de estas medidas se realiza una comparación del ángulo de torsión correspondiente a un momento de torsión aplicado en la parte posterior de un chasis de caja basculante común. Los resultados de los cálculos representan un caso particular, pero ilustran claramente el efecto de estas medidas en la rigidez a la torsión del chasis. En todos los casos calculados, la masa total de los travesaños ha sido constante. Es decir, en el caso en el que se han utilizado travesaños cerrados, el espesor del perfil se ha reducido. Los resultados muestran que al reducir el espesor del alma se obtiene una rigidez a la torsión ligeramente menor en comparación con el diseño original, mientras que introducir travesaños cerrados o un arriostrado doble proporciona una importante mejora de la rigidez.

1. SSAB Sheet Steel Handbook, ISBN 978-91-978573-1-4.

FIGURA 5 El ancho del patín se puede hacer variable para aumentar la resistencia y disminuir la flexión en zonas críticas.

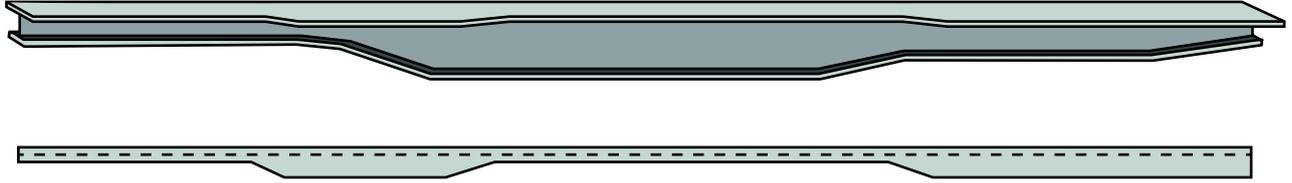
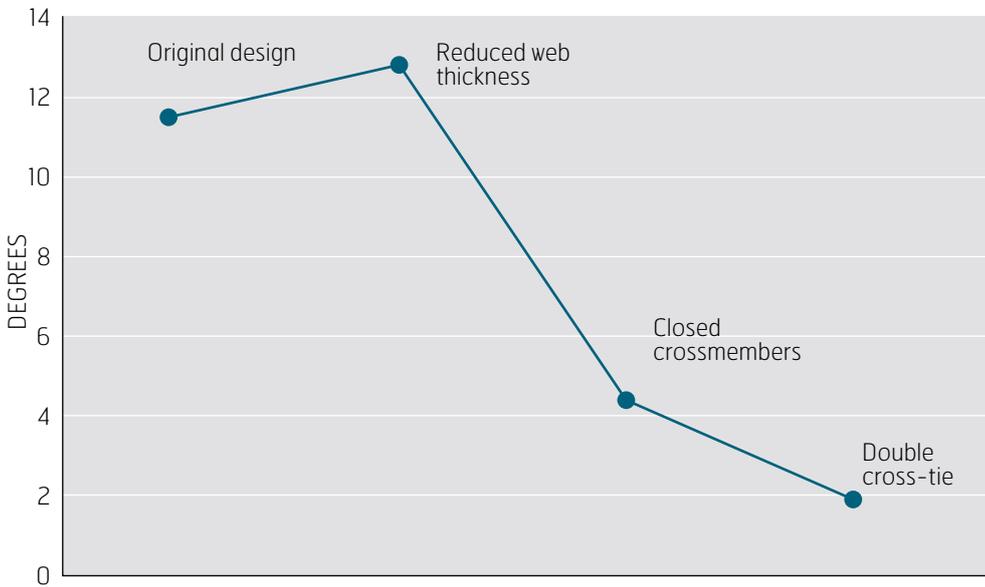


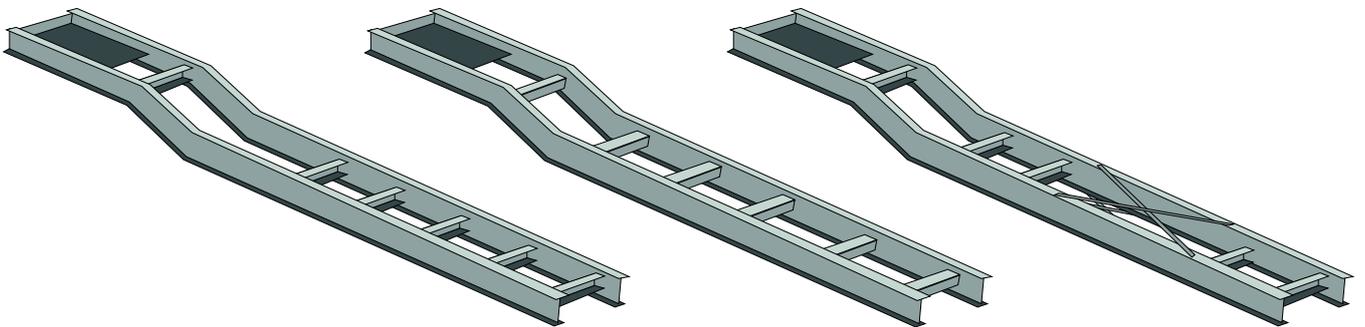
FIGURA 6 Comparación entre resistencia a la torsión de un chasis de un remolque con travesaños abiertos y un diseño con travesaños y riostras de sección cerrada.



Diseño original

Travesaños cerrados

Arriestrado doble



FATIGA

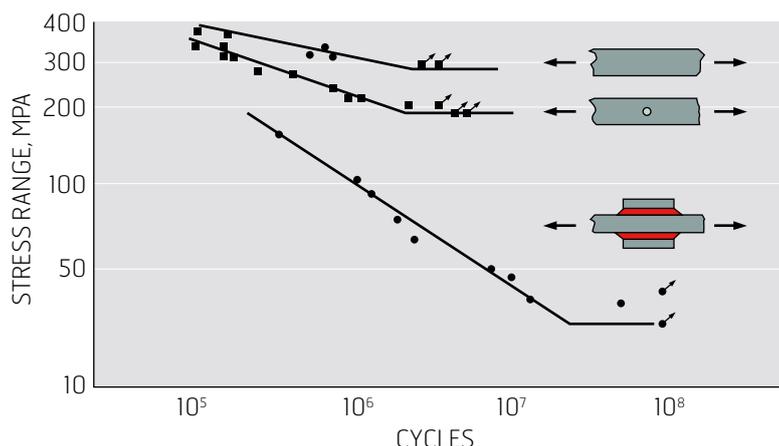
Todos los remolques sufren cargas de fatiga durante la conducción y durante la carga. El historial de cargas que determina la vida del chasis de un remolque consiste en el conjunto de todas las cargas de diferentes valores y magnitudes. La aparición del historial de carga de un remolque varía en función del tipo de remolque, las condiciones de la carretera y la situación de la carga. Al mejorar el chasis tradicional de un remolque con AHSS, el espesor de las piezas estructurales generalmente se reduce. Reducir el espesor de los elementos tendrá como resultado un mayor nivel de tensión en el chasis completo. Un material más resistente aporta también una mayor resistencia a la fatiga del material base. Para uniones soldadas, sin embargo, esta mejora es limitada debido a la concentración de tensiones y a las imperfecciones introducidas en las juntas soldadas. Por lo tanto, la vida en cuanto a fatiga de las uniones soldadas es más una cuestión de diseño y fabricación que de material elegido. Utilizando el mismo diseño y calidad, se acaba por reducir la resistencia de unión soldada a la fatiga del chasis.

RESISTENCIA A LA FATIGA

La resistencia a la fatiga de un material se puede ilustrar con curvas S/N creadas a partir de ensayos de fatiga con un historial de carga de amplitud constante. Es decir, una muestra se somete al mismo ciclo de carga de forma repetida hasta que se produce el fallo. Tras la prueba de varias muestras a diferentes niveles de carga, se puede dibujar una curva S/N. En la figura 7, en la parte superior izquierda de las curvas, la resistencia a la fatiga viene dictada por las propiedades estáticas del material. En la parte inferior derecha de la figura 7, la resistencia a la fatiga viene dictada por las discontinuidades de la muestra. Las discontinuidades son, por ejemplo, la textura superficial de la lámina, los bordes de corte, orificios, muescas y soldaduras. Están mencionadas aquí de mayor a menor resistencia a la fatiga.

¿POR QUÉ SON LAS UNIONES SOLDADAS ZONAS CRÍTICAS?

FIGURA 7 Curvas S/N de muestras de laminados, con orificio perforado y unión soldada.

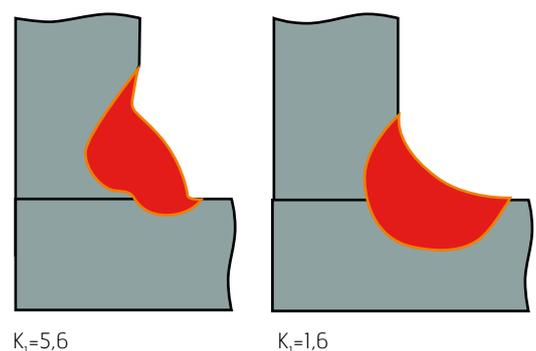


Las uniones soldadas tienen una resistencia a la fatiga menor en comparación con el material base, debido a la geometría aguda de la junta soldada y a las tensiones residuales introducidas por el calor durante el proceso de soldadura. Habitualmente se atribuye la disminución de la resistencia a la fatiga en las soldaduras a las características microestructurales, las zonas afectadas por el calor y la dureza, pero la causa principal del debilitamiento de la junta soldada son los defectos y la concentración local de tensiones. Todos los métodos de post tratamiento de las juntas soldadas tienen como objeto la reducción de la tensión residual y la mejora de la geometría. Para obtener una buena resistencia a la fatiga es importante tener un ángulo y radio de transición suave en el borde de la soldadura (ver figura 8).

POSICIONES DEL COMIENZO Y FINAL DE L CORDÓN DE SOLDADURA

Las posiciones de comienzo y final del cordón son las partes más críticas de la soldadura en cuanto a la fatiga. Como el proceso de soldadura no es continuo, el riesgo de generar defectos e inclusiones en estas posiciones es mayor. Por lo tanto, debido a su menor longitud, las soldaduras por punteo tienen menor resistencia a la fatiga que las soldaduras continuas. Las soldaduras por punteo de vigas longitudinales deben evitarse en la medida de lo posible y hacerse solamente en zonas de poca tensión. La soldadura entre el reborde superior y el alma es menos problemática en términos de fatiga y se puede ejecutar por punteo, ya que esta parte está sometida principalmente a tensiones de compresión. Como norma general, es importante diseñar uniones soldadas de forma que permitan que las posiciones de comienzo y de final de la soldadura estén situadas en zonas de poca tensión. En algunos casos se puede utilizar el diseño en cola de pez para que tanto la posición de comienzo como la de final estén lejos de las zonas sometidas a mayor tensión, como al final de una placa de refuerzo (ver figura 9).

FIGURA 8 Borde de soldadura con geometría aguda y suave.



TRANSVERSAL VS. LONGITUDINAL CARGA DE FATIGA DE UNA SOLDADURA

Las discontinuidades en una junta soldada están orientadas en la dirección de la soldadura y siguen la raíz y el borde de la soldadura. Si las discontinuidades son paralelas a la dirección de la tensión principal, tendrán una menor influencia en la resistencia a la fatiga de la junta soldada. Por el contrario, si las tensiones son transversales a la dirección de la junta soldada, la resistencia a la fatiga de la junta soldada será muy baja. Por ejemplo, la vida a fatiga de una orejeta soldada en el patín inferior tiene menos del 5 % de la vida a fatiga que una soldadura entre el alma y el patín.

HISTORIAL DE CARGA

El historial de carga de los remolques es irregular y aleatorio por naturaleza, y el número total de ciclos de carga durante su vida está entre 10^8 – 10^9 . Incluso si la mayoría de los ciclos de carga son de pequeña magnitud, combinarlos con cargas mayores los hace potencialmente críticos para la fatiga. Se podría decir que las grandes cargas inician las fisuras y las pequeñas cargas las propagan. A consecuencia de estos efectos combinados, el límite de fatiga determinado para cargas de amplitud constante apenas importa en aplicaciones de remolques. La única excepción es cuando todas las cargas en el historial completo son menores que el límite de fatiga. Por lo tanto, en zonas de alta tensión es importante que las juntas soldadas tengan una buena resistencia a la fatiga, como la de las juntas soldadas en la dirección longitudinal de la carga. Las soldaduras con menos resistencia a la fatiga deben realizarse en zonas de poca tensión como, por ejemplo, cerca de la fibra neutra del alma de los largueros.

Como ejemplo, se puede realizar una comparación de un diseño alternativo de una pestaña de sujeción soldada a una viga sometida a flexión en la dirección vertical. Cuando se carga a flexión, la tensión máxima se localiza en las patines de la viga y pasa de compresión a tensión de un lado a otro de la fibra neutra. En el diseño superior a) de la figura 10, la pestaña de sujeción se ha soldado cerca de las patines, con las posi-

ciones de comienzo y final de la junta soldada situadas en las zonas de mayor tensión de la sección transversal de la viga. En el diseño inferior b) de la figura 10, la pestaña se ha rediseñado para que la soldadura esté más cerca de la capa neutra. Como resultado, el nivel de tensión en la unión soldada se reduce un 50 %. Dicha reducción del nivel de tensión hace que la vida a fatiga sea 8 veces mayor en comparación con el diseño anterior.

ERRORES HABITUALES

Al cambiar de acero convencional a aceros AHSS para desarrollar una solución ligera, se dan algunos errores habituales que se pueden evitar aplicando sencillas medidas. El primer consejo y el más importante es simplificar las cosas, es decir, mantener el número de piezas al mínimo y utilizar técnicas modernas de fabricación para integrar sujeciones y minimizar el número de uniones soldadas. Para los largueros del chasis se recomienda utilizar una única pieza para los patines y el alma a lo largo de todo el remolque. Dicha solución reduce el número de juntas soldadas, especialmente en dirección transversal, favoreciendo la resistencia a la fatiga.

Con frecuencia se utilizan chapas de refuerzo tanto para las almas como para los patines con la intención de aumentar la capacidad de carga y la rigidez del chasis. Desde un punto de vista estático esta medida puede funcionar, en cambio, en lo que respecta a la fatiga, este diseño crea más problemas que ventajas.

En un larguero fabricado a partir de piezas individuales longitudinales sin placas de refuerzo, la junta soldada longitudinal del larguero en I es la que dicta la vida en cuanto a fatiga. Cuando el remolque está cargado, el patín inferior se ve sometido a una tensión de tracción en la dirección longitudinal en línea con la junta soldada. Si se suelda una placa de refuerzo en el patín inferior, habrá una carga transversal en la unión soldada, lo que producirá una reducción de la vida en cuanto a fatiga de al menos 8 veces (ver figura 11).

FIGURA 9 Se puede utilizar el diseño en cola de pez para que tanto la posición de comienzo como la de final estén lejos de las zonas sometidas a mayor tensión.

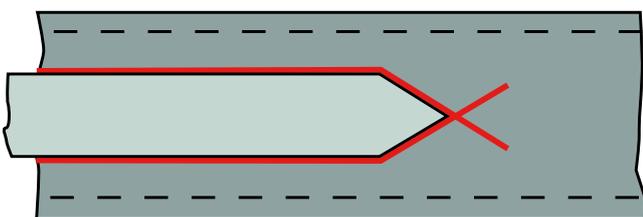
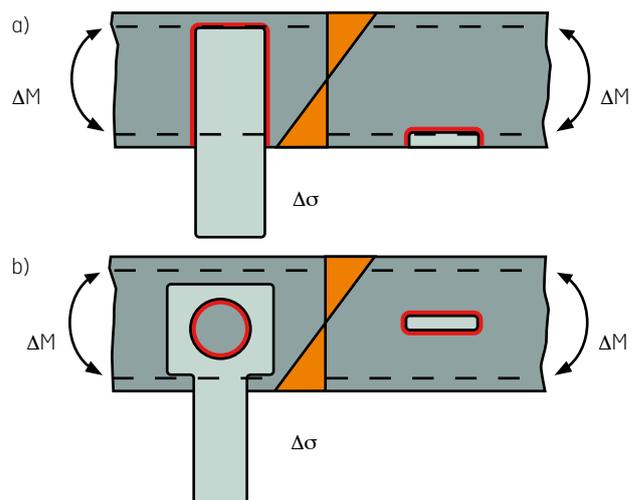


FIGURA 10 Al rediseñar las uniones soldadas para situarlas en zonas de baja tensión, la vida a fatiga mejora.



Introducir una placa de refuerzo en el alma o el patín crea una concentración de tensión en la unión soldada, ya que se crea un gradiente de rigidez en esta zona. Por tanto, esta unión soldada limitará la vida a fatiga del chasis y podría causar problemas de fisuras en un diseño mejorado con AHSS donde el nivel de tensión de trabajo es mayor por ser los espesores menores.

SUJECIÓN DE LAS PATAS

Una de las zonas más críticas de un chasis de remolque es la zona del cuello de ganso. Debido al cambio de altura, es una zona donde se concentran tensiones. Esto generalmente no representa ningún problema para la capacidad de carga estática del remolque, pero se debe prestar especial cuidado cuando se diseñan estructuras secundarias para esta zona, como la sujeción de las patas.

Si la sujeción de las patas se diseña para soldarse a las patines, la unión soldada estará situada en la zona de mayor tensión de la sección transversal de la viga. Podemos rediseñar el soporte de sujeción para que se sujete al alma, de tal forma trasladamos la unión soldada a una zona con menos tensiones (ver figura 12). Esto mejorará de forma considerable la vida en cuanto a fatiga de la unión soldada (ver ejemplo A).

FIGURA 11 Soldar una placa de refuerzo en el patín inferior, reduce rápidamente la vida a la fatiga.

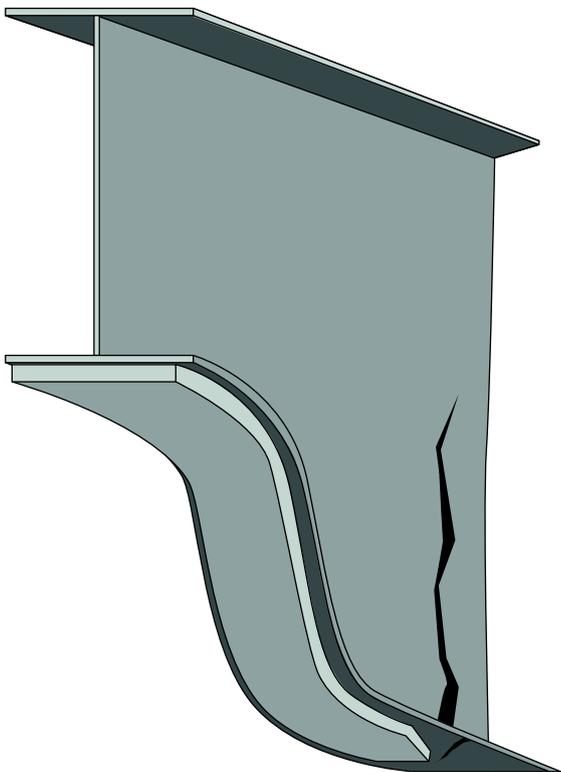
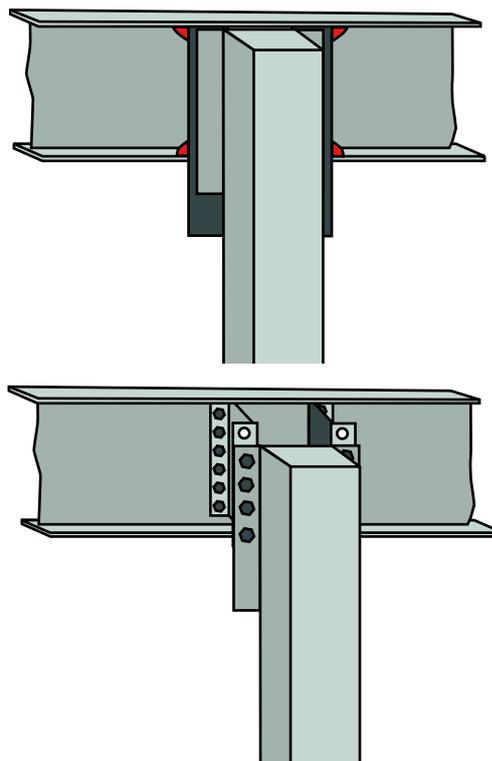


FIGURA 12 Para mejorar la vida a fatiga de la sujeción de las patas del remolque, ésta debe situarse cerca de la fibra neutra de la viga principal. Una unión atornillada mejorará la vida a la fatiga de forma considerable.



EJEMPLO - A

En un chasis convencional de remolque, es habitual que se proyecten las patas soldadas a una placa de refuerzo sujeta al patín inferior en la zona del cuello de gancho del remolque (ver figura 13). Esta soldadura entre las patas y la placa de refuerzo está situada en una zona crítica en lo que respecta a la fatiga. Desarrollar un chasis de remolque ligero y reducir el espesor resulta en un mayor nivel de tensión. Esto reducirá la vida a fatiga de esta junta soldada si no se rediseña. Este ejemplo ilustra cómo afecta a la vida a fatiga un rediseño de la sujeción.

Los cálculos se realizan en una viga convencional fabricada de acero blando a) y una alternativa rediseñada en AHSS b) (ver figura 14). Se parte de la hipótesis de que la vida a fatiga de esta junta soldada en el remolque convencional es de 16 años. También se parte de la hipótesis de que en el rediseño, la sujeción está soldada directamente al patín inferior, sin placa de refuerzo. La tensión nominal por flexión del larguero se calcula según la fórmula

$$\sigma = \frac{M_B}{W}$$

El segundo momento de inercia, I , y el módulo de sección, W , se determinan utilizando el teorema de Steiner o mediante software CAD. De este modo, la tensión en la junta soldada para ambas alternativas se puede determinar según las fórmulas

$$\sigma_b = \frac{M_B}{W_b}, \quad \sigma_a = \frac{M_B}{W_a}, \quad \sigma_b = \frac{\sigma_a W_a}{W_b} = \frac{\sigma_a \cdot 685\,000}{348\,000} = \sigma_a \cdot 2$$

Esto demuestra que el nivel de tensión en la junta soldada crítica del chasis convencional es de 100 MPa.

En el remolque rediseñado será $100 \cdot 2 = 200$ MPa. La vida a fatiga de una junta soldada está dividida por el cubo del rango de la tensión aplicada; por tanto, la vida a fatiga de esta junta soldada crítica del remolque rediseñado se verá reducida por

$$\left(\frac{\sigma_b}{\sigma_a}\right)^3 = 23 = 8$$

Es decir, la vida a la fatiga de la junta soldada del diseño actualizado se reducirá de 16 años a $\frac{16}{8} = 2$ años!

Si la junta soldada se rediseña según la figura 10 de la sección anterior y se elimina la junta soldada, la junta soldada longitudinal entre el patín y el alma se convierte en el factor dimensional desde el punto de vista de la fatiga. La resistencia de una junta soldada longitudinal es mucho mayor que la de una junta soldada transversal. Si comparamos la resistencia a la fatiga de estas juntas soldadas vemos que la junta soldada crítica de la sujeción tiene una resistencia a la fatiga característica, FAT, de 63 MPa, pero la longitudinal tiene una FAT de 125 MPa (ver figura 15). Esto significa que la junta soldada longitudinal puede soportar una tensión del doble que la junta soldada transversal.

De manera que incluso aunque las tensiones de trabajo se hayan multiplicado por 2 en la viga en I mejorada, simplemente rediseñando la sujeción, la resistencia a la fatiga de la junta soldada crítica se multiplica también por 2. Por lo tanto, hemos conseguido mantener la vida en cuanto a fatiga del diseño original.

FIGURA 13 Sujeción de las patas soldadas al patín reforzada del larguero de un remolque convencional.

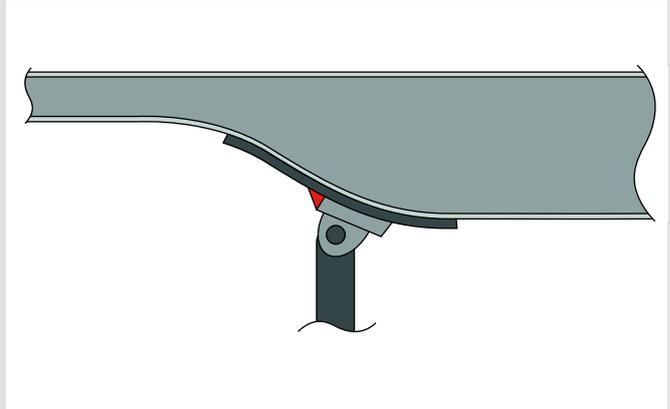


FIGURA 14 Geometría y propiedades transversales de un larguero convencional a) y rediseñado b) incluidas en los cálculos.

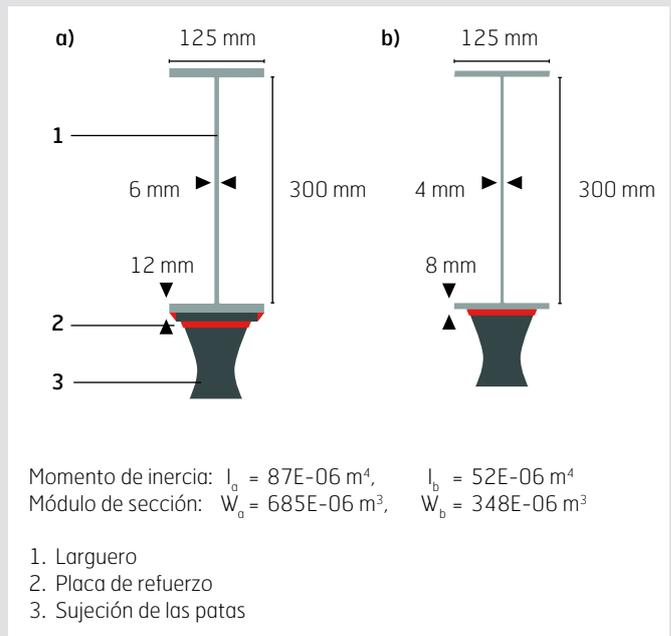
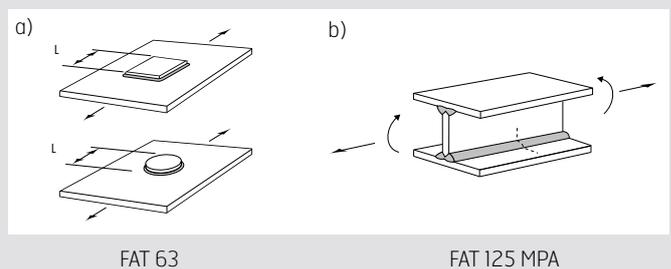


FIGURA 15 Resistencia a la fatiga característica (FAT) de uniones soldadas sometidas a cargas transversales a) y longitudinales b).





SUJECIÓN DEL PRIMER EJE

Al igual que la zona del cuello de ganzo, la zona del soporte colgante del eje es una zona crítica del remolque. Aparte de la flexión vertical, esta zona está sometida también a cargas laterales. Por lo tanto es importante evitar soldaduras en los bordes de los patines por ser zonas sometidas a grandes tensiones.

Para poder reducir el gradiente de rigidez entre el soporte colgante del eje y el patín inferior del larguero, es conveniente soldar el soporte a una placa de sujeción. Es importante que la placa tenga el espesor suficiente y que las juntas soldadas entre la placa y el reborde estén situadas al menos a 20 mm del borde del patín. Se puede introducir un ancho variable de patín para aumentar el momento nominal a la flexión y el área disponible para sujetar los soportes colgantes. Para mejorar aún más la vida a fatiga, la sujeción del soporte colgante se puede diseñar como una unión atornillada (ver figura 16).

Cualquier refuerzo del alma que se ocupe de los esfuerzos cortantes verticales de esta zona debe estar posicionado en línea con la dirección de la carga que ejercen los soportes colgantes. Situar el refuerzo a cierta distancia del soporte colgante introducirá un plegado adicional del patín inferior y reducirá la vida en cuanto a fatiga de forma significativa.

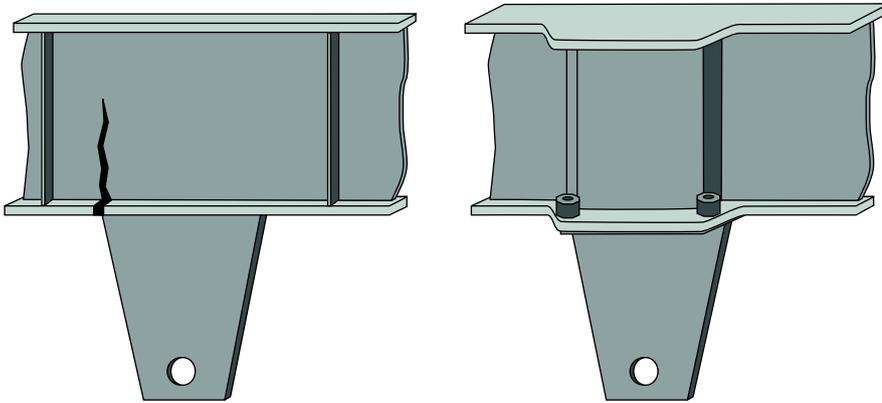
SUJECIÓN DEL MIEMBRO TRANSVERSAL

Para remolques en los que el chasis esté sometido a carga de torsión, por ejemplo remolques con caja basculante y remolques para madera, se recomienda encarecidamente utilizar perfiles de sección cerrada para los travesaños. En la mayoría de los casos, esta solución permite que se puedan soldar los miembros transversales directamente al alma sin ningún refuerzo adicional. Para vehículos pesados, se puede integrar un refuerzo del alma en la sujeción del miembro transversal para aumentar la rigidez y reducir el nivel de tensión en esta zona (ver figura 17).

Se pueden utilizar perfiles con secciones transversales abiertas en remolques donde los travesaños estén sujetos principalmente a flexión p. ej., con cortina lateral, portacontenedores y cajas secas. Es posible cortar aberturas para cada perfil en el alma, y los perfiles se pueden soldar a la placa del alma del larguero. Sin embargo, es importante mencionar, aunque se repita, que no se recomienda utilizar perfiles con travesaños de sección abierta en chasis que estén sometidos a cargas de torsión.

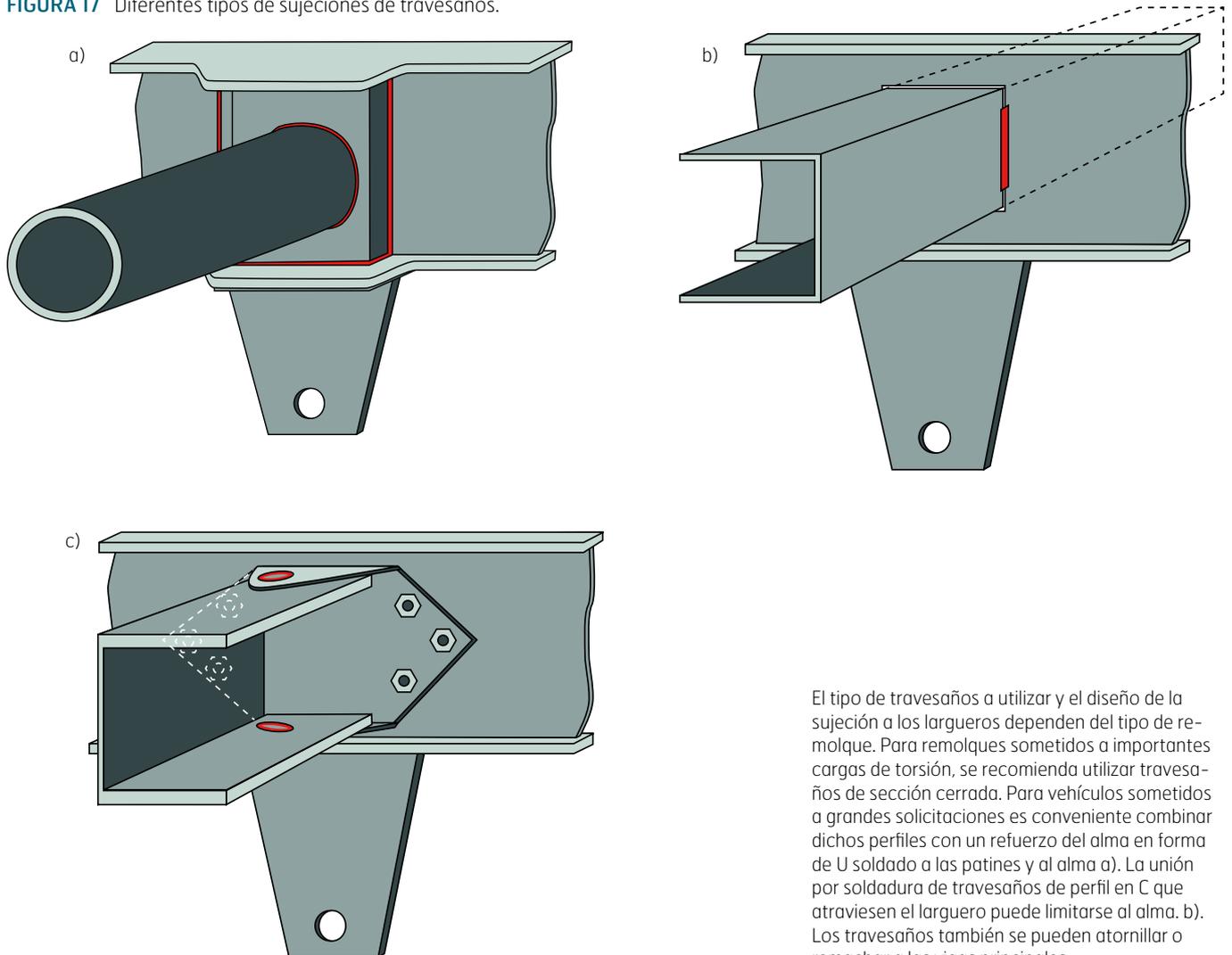
Otra solución es utilizar una base de soporte para distribuir las tensiones a lo largo de un área mayor. La base de soporte se puede soldar, remachar o atornillar al alma del larguero.

FIGURA 16 Sujetar el refuerzo del alma a cierta distancia del soporte colgante introduce una flexión adicional en el patín inferior, lo que reduce la vida a fatiga considerablemente.



Para mejorar las propiedades de fatiga, todo refuerzo del alma de esta zona debe estar alineado con el soporte. Introducir un reborde más ancho proporciona una mayor resistencia a la flexión lateral y permite que las juntas soldadas se sitúen a cierta distancia de la zona crítica en el patín inferior. Para mejorar la vida a fatiga aún más, se puede optar por una unión atornillada.

FIGURA 17 Diferentes tipos de sujeciones de travesaños.



El tipo de travesaños a utilizar y el diseño de la sujeción a los largueros dependen del tipo de remolque. Para remolques sometidos a importantes cargas de torsión, se recomienda utilizar travesaños de sección cerrada. Para vehículos sometidos a grandes solicitaciones es conveniente combinar dichos perfiles con un refuerzo del alma en forma de U soldado a las patines y al alma a). La unión por soldadura de travesaños de perfil en C que atraviesen el larguero puede limitarse al alma. b). Los travesaños también se pueden atornillar o remachar a las vigas principales.

FABRICACIÓN

Según nuestra experiencia, la principal causa de fallos por fatiga en chasis de remolque es la ejecución deficiente de las juntas soldadas. Por lo tanto es importante no solo evaluar con detenimiento el nuevo diseño, sino también garantizar la calidad en el proceso de producción. Las soldaduras con una ejecución pobre y los bordes con un mal acabado reducen considerablemente la vida útil de un remolque.

CALIDAD DE LOS BORDES

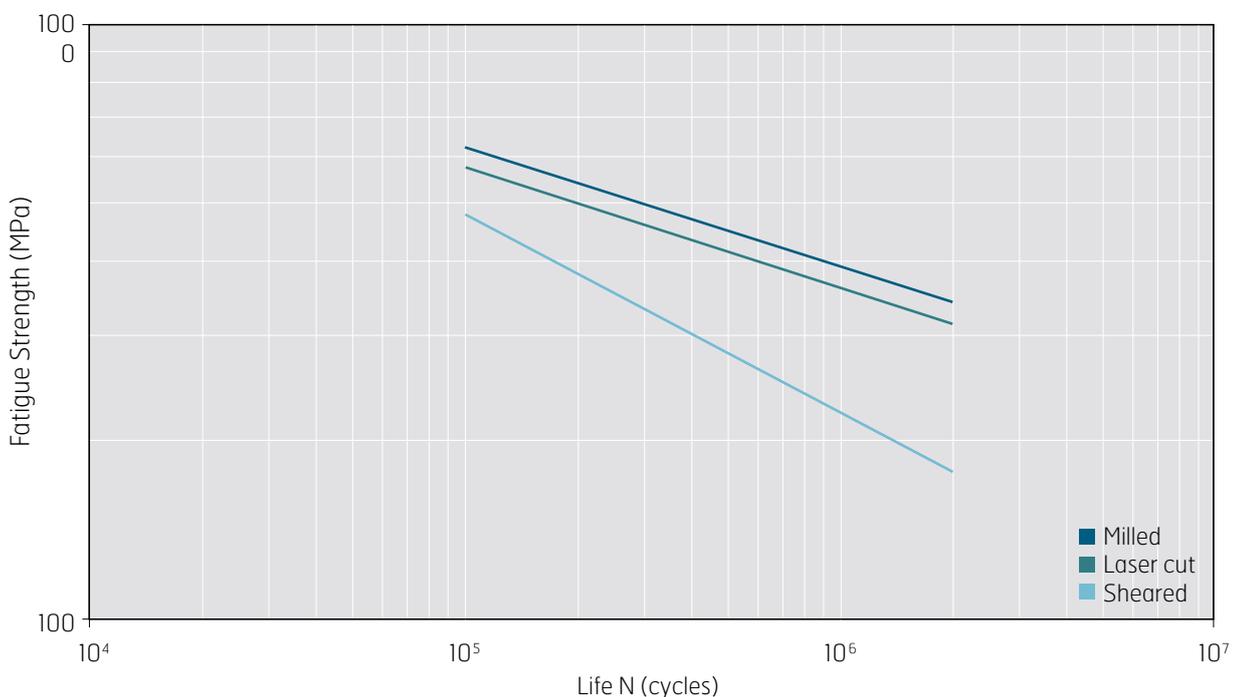
La calidad de los bordes también es importante para la resistencia a la fatiga. Los diferentes métodos de corte producen diferentes calidades de borde. La figura 18 muestra el resultado de ensayos de fatiga con Strenx® 700 MC donde el borde de la placa se ha fresado, cortado a láser o cizallado. Los bordes cortados a láser son generalmente mejores que los bordes cortados mecánicamente. Para conseguir tener una buena resistencia a la fatiga de los bordes cortados de

forma mecánica es importante eliminar todos los defectos visuales de tipo fisura. Los procesos modernos de corte térmico, como el láser o el plasma de alta definición, producen generalmente cortes con buenas propiedades frente a la fatiga en Strenx® 700 MC. El orden de preferencia de dichos métodos desde el punto de vista de la fatiga sería láser, plasma y oxicorte manual. Para evitar problemas de fatiga también es importante situar las posiciones de comienzo y de final de la soldadura en zonas de poca tensión. El granallado de una estructura con bordes cortados generalmente tiene un efecto positivo en la resistencia a la fatiga.

GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE

El galvanizado por inmersión en caliente tiene como objetivo la mejora de la resistencia a la corrosión. Los aceros de alta resistencia Strenx® hasta el grado 700 MC se pueden solicitar especialmente aleados para el galvanizado por inmersión

FIGURA 18 Resultados de ensayos de fatiga de Strenx® 700 MC con diferentes condiciones de borde.





en caliente. En este caso se entregan con un determinado contenido de Si que los hace especialmente adecuado para este tratamiento. Las propiedades mecánicas de los aceros generalmente no se ven afectadas por el proceso de galvanizado; por ejemplo, no hay influencia en las propiedades de fatiga de las uniones soldadas. Sin embargo, sí se puede observar que la resistencia a la fatiga del material base se ve ligeramente reducida a consecuencia de la capa de cinc y de la interfaz entre la capa de cinc y la superficie del acero. Para el Strenx® 700 MC, el galvanizado en caliente generalmente reduce la resistencia a la fatiga del material base en aproximadamente un 10%.

MÉTODOS DE SOLDADURA POSIBLES

Para los aceros AHSS se pueden utilizar todos los métodos de soldadura convencionales. Los métodos de soldadura utilizados con más frecuencia en el sector de los remolques son:

- Soldadura MAG (con electrodo sólido o revestido)
- Soldadura por arco sumergido (utilizado en ocasiones para producir largueros)

METALES DE APORTACIÓN.

La resistencia del material de aportación generalmente debe ser similar a del material base (ver tabla 3). Sin embargo las soldaduras en remolques muy rara vez se ven sometidas a niveles de tensión que requieran metal de aportación equivalente. Por lo tanto, en la mayoría de los casos es posible utilizar metales de aportación de resistencia inferior a la del material base. Si se utiliza la soldadura por arco sumergido para soldar aceros AHSS, se recomienda recubrimiento básico.

APORTACIÓN DE ENERGÍA – STRENX®

Los aceros de alta resistencia son bastante sensibles a la aportación de altos niveles de energía. Una aportación de energía excesivamente elevada reduce la resistencia y la tenacidad de las uniones soldadas. Si el límite elástico mínimo del material base debe conservarse en la unión soldada, los valores de energía aportada no deberían exceder los mencionados en la figura 19.

La gráfica de la figura 19 es válida para soldaduras a tope, soldaduras con metal de relleno equivalente, y cuando el refuerzo se haya eliminado antes del ensayo. La temperatura máxima entre pasadas es de 100 °C. La aportación de energía se puede calcular según la figura 20.

Los valores de eficiencia de arco para soldaduras SAW y MAG se pueden ver en la tabla 4.

Si la junta soldada está situada en una zona de poca tensión y los requisitos de tenacidad son secundarios, se pueden utilizar mayores aportaciones de energía.

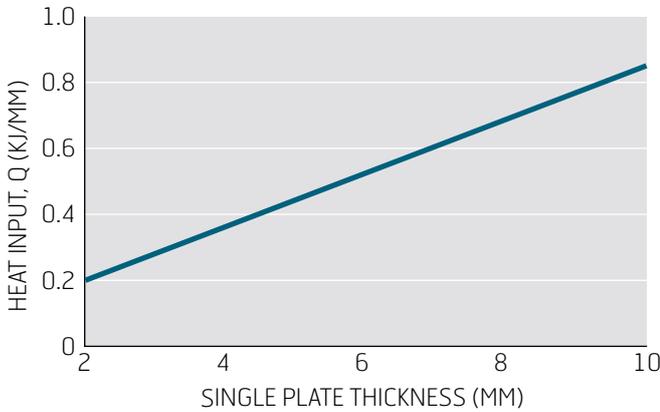
APORTACIÓN DE ENERGÍA – STRENX® 700 CR

Los aceros Strenx® AHSS se fabrican en menores espesores, lo que hace más difícil que la aportación de energía sea lo suficientemente reducida como para producir una Zona Afectada por Calor limitada que permita que el modo de fallo sea en el material base. Como regla general, se debe soldar con la mínima aportación de energía posible.

TABLA 3 Material de aportación para aceros AHSS Strenx®.

Calidad del acero	Soldadura MAG (GMAW)	Soldadura por arco sumergido (SAW)
Strenx® 700 MC	AWS: A5.28 ER100S-X AWS: A5.28 ER110S-X EN 12534: G Mn3Ni1CrMo EN 12543: G Mn4Ni2CrMo	AWS: A5.23 F10X AWS: A5.23 F11X EN ISO 26304-A S69X
Strenx® 700 CR Strenx® 960 CR	AWS: A5.28 ER110S-X AWS: A5.28 ER120S-X EN 12534: G Mn3Ni1CrMo EN 12543: G Mn4Ni2CrMo	

FIGURA 19 Aportación de energía máxima recomendada (Q) para Strenx® 700.



Aportación de energía máxima recomendada para poder cumplir el límite elástico mínimo (Re) y requisitos en ensayo de tenacidad por impacto a -40°C.

FIGURA 20 Fórmula utilizada para calcular la aportación de energía.

$$E = \frac{U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 1000} \text{ kJ/mm} \quad Q = E \cdot k$$

U = tensión, I = intensidad, v = velocidad de avance (mm/min), k = eficiencia de arco.

TABLA 4 Eficiencia de arco para diferentes métodos de soldadura.

Método de soldadura	Eficiencia de arco
Soldadura MAG	0.8
SAW, soldadura por arco sumergido	1.0

DISTORSIÓN–STRENX®

En la práctica, para aplicaciones de remolques, la distorsión debida a la soldadura es más crítica que la resistencia estática de las juntas soldadas. Para poder minimizar la cantidad de distorsión debida a la operación de soldadura, se debe:

- soldar con la mínima aportación de energía posible
- minimizar el área de sección transversal del cordón (ver figura 21)
- plegar, sujetar con abrazaderas o poner en ángulo las piezas antes de la soldadura para poder compensar por la contracción
- evitar irregularidades en la abertura de raíz
- utilizar soldaduras simétricas (ver figura 22)
- minimizar refuerzos y optimizar el espesor de la garganta de las soldaduras en ángulo
- soldar desde las zonas rígidas hacia los extremos sueltos
- optimizar la secuencia de soldadura

FIGURA 21 Sección transversal del cordón y cómo influye en el ángulo de desviación.

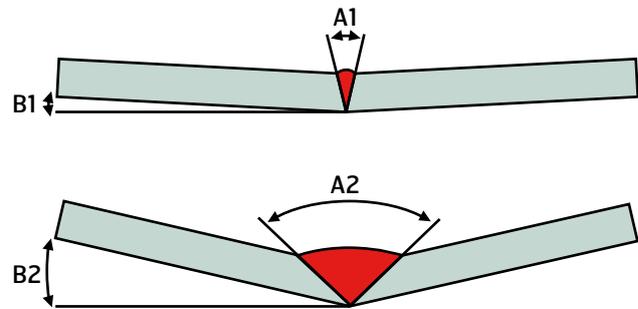
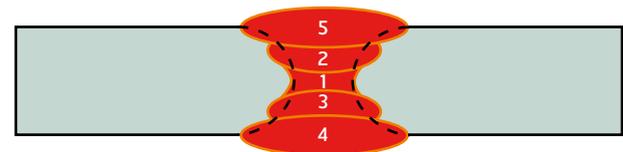


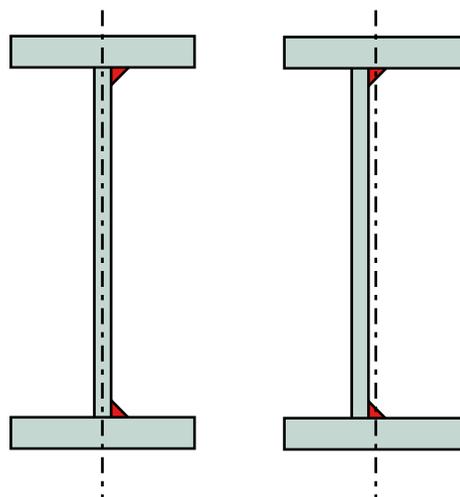
FIGURA 22 Utilizar una secuencia de soldaduras simétricas.





Para evitar un larguero curvado o deformado tras soldar el alma, es conveniente desplazar el alma en relación con el centro del patín. Esto hace posible situar las juntas soldadas longitudinales en la fibra neutra de los patines (ver figura 23).

FIGURA 23 Desplazar el cordón respecto al patín hace posible soldar en la capa neutra del mismo, lo que evita deformaciones causadas por la soldadura.



DISTORSIÓN – STRENX® CR

Para evitar una fuerte deformación en aceros Strenx® CR, es conveniente seguir las siguientes recomendaciones:

- soldar con la menor aportación de energía posible
- utilizar un electrodo de pequeño diámetro (0,8 mm)
- usar la técnica de soldadura vertical descendente, que reduce la aportación de energía, si lo permite la aplicación y las condiciones de producción
- usar soldadura intermitente si la aplicación permite un pequeño espacio entre láminas
- si la aplicación requiere una junta sellada, se pueden utilizar adhesivos o silicona en lugar de soldadura para sellar la junta y prevenir que aparezca corrosión
- utilizar soldadura en solape en lugar de soldadura a tope
- la soldadura de placa fina requiere minimizar la distancia entre punteos
- las fuentes de energía para la soldadura MAG han mejorado sustancialmente en los últimos años, lo que hace posible soldar placa fina con aproximadamente el 50% menos de aportación de energía
- si la unión es accesible desde ambas partes, se puede utilizar soldadura por puntos de resistencia en lugar de soldadura por fusión
- evitar soldaduras y utilizar uniones mecánicas que garanticen que no haya ninguna deformación, o que esta sea muy pequeña

ENDEREZAMIENTO

El enderezamiento en caliente es un método muy común para restaurar largueros para chasis de remolques que se han distorsionado debido a la soldadura. No se recomienda utilizar el enderezamiento en caliente para aceros Strenx® y Strenx® CR. No se recomienda utilizar el enderezamiento en caliente para aceros Strenx® y Strenx® CR. Esto se debe a que el acero puede perder sus propiedades garantizadas en la zona sometida a calentamiento.

La máxima temperatura recomendada a la que se puede someter a estos aceros sin perder sus propiedades mecánicas garantizadas es:

Strenx® 700 MC	650 °C
Strenx® 700 CR	300 °C
Strenx® 960 CR	200 °C

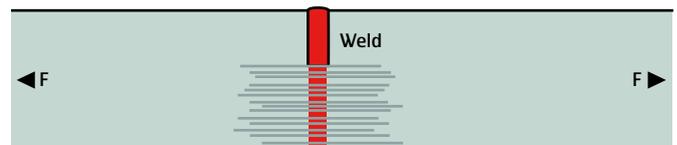
CALIDAD DE LA JUNTA SOLDADA

Si los patines del larguero se han soldado (lo que no se recomienda), para poder alargar el patín o el larguero se debe utilizar una placa temporal de sacrificio para situar el comienzo y final de estas soldaduras. La placa temporal se puede eliminar mediante amoladora tras la soldadura Figura 24.

FIGURA 24 Tener especial cuidado con las paradas. Es conveniente situarlas en un placa de sacrificio. Esta placa se eliminará a continuación mediante corte con amoladora.



FIGURA 25 Dirección adecuada de las marcas del disco de desbaste, orientadas de forma longitudinal a la tensión.



Cortar el borde y desbastar con un disco fino situando la amoladora de forma que las marcas de desbaste queden longitudinales a la dirección de carga (ver figura 25). Otra alternativa es proyectar la unión soldada a un ángulo de 45 grados respecto al largo del patín para evitar que las tensiones principales sean perpendiculares a la junta soldada.

Los electrodos de rutilo producen transiciones muy suaves entre el cordón y el material base. Esta propiedad puede utilizarse para poder aumentar el rendimiento de la soldadura frente a la fatiga, especialmente en zonas críticas como la sujeción de las patas delantero y las sujeciones de los ejes.

Para poder garantizar la calidad del trabajo de soldadura es importante inspeccionar todas las soldaduras. Los defectos que son especialmente perjudiciales para la vida a fatiga del remolque, son los defectos de soldadura y superficiales como:

- socavados
- defectos de raíz
- fusión incompleta
- traslapes fríos
- todos los tipos de fracturas

Con una técnica de soldadura apropiada y conocimientos sobre cómo pueden producirse estos defectos es posible evitar reparaciones innecesarias. En la figura 26, de a) a f), a continuación, describe las discontinuidades más frecuentes de soldadura, cómo suceden y qué acciones se deben tomar para evitarlas.

FIGURA 26 Defectos de soldadura. Por qué suceden y acciones que se deben de emprender para evitarlos:
a) Falta de penetración b) Socavados c) Falta de fusión d) Cráteres e) Porosidad f) Concavidad.



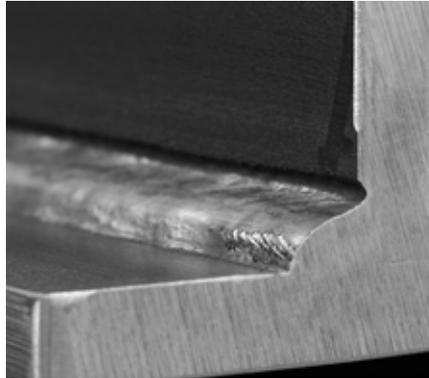
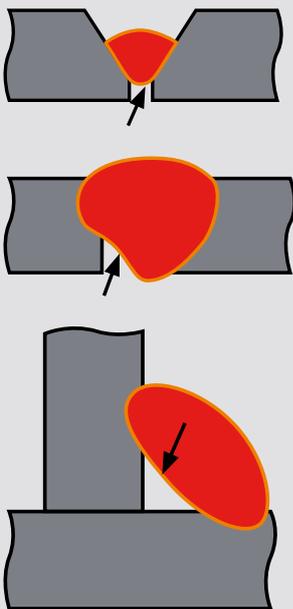
**a) FALTA DE PENETRACIÓN/
DEFECTO DE RAÍZ**

CAUSA

- Ángulo de chaflán demasiado pequeño
- Separación demasiado pequeña
- Talón de raíz demasiado grande
- Técnica de soldadura equivocada
- Aportación de energía demasiado baja

SOLUCIONES

- Aumentar el ángulo de chaflán (45 – 60°)
- Aumentar la separación
- Establecer una talón de raíz adecuado a la aportación de energía (1 – 2 mm)
- Reducir la oscilación del electrodo
- Aumentar la aportación de energía



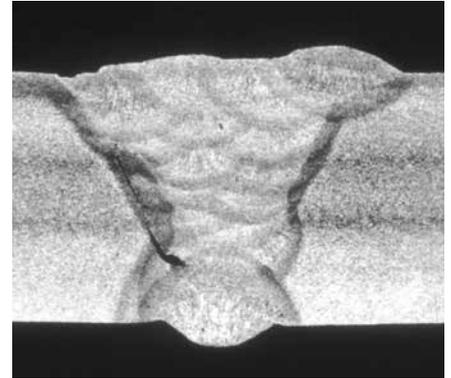
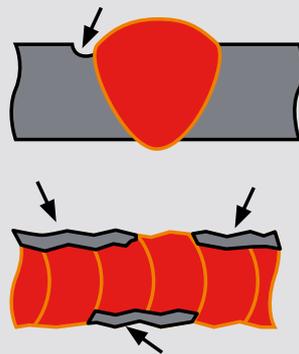
b) SOCAVADOS

CAUSA

- Velocidad de avance demasiado alta
- Técnica de oscilación incorrecta
- Ángulo de soldadura incorrecto
- Tensión excesiva
- Aportación de energía excesiva

SOLUCIONES

- Reducir la velocidad de avance
- Efectuar pequeñas paradas al final de cada oscilación
- Es beneficioso un ángulo hacia el avance cercano o igual a 90°
- Reducir la tensión
- Reducir la aportación de energía



c) FALTA DE FUSIÓN

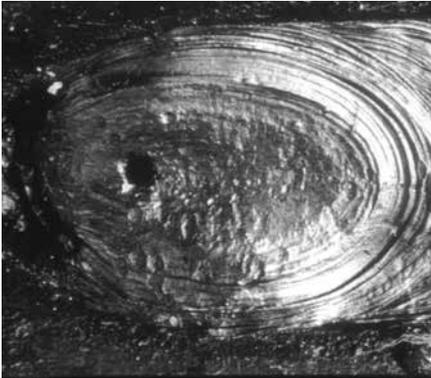
CAUSA

- Velocidad de avance demasiado lenta (el metal soldado empieza a fluir delante del arco)
- Velocidad de avance demasiado alta
- Tensión del arco demasiado baja
- Distancia "stick out" demasiado grande
- Punta de contacto gastada
- Limpieza entre ejecuciones insuficiente
- Soldadura en posición inclinada (en descenso)

SOLUCIONES

- Aumentar la velocidad de avance
- Reducir la velocidad de avance
- Aumentar la tensión de arco
- Reducir la distancia "stick out"
- Sustituir la punta de contacto
- Eliminar la escoria de la superficie antes de la siguiente pasada
- Ajustar la velocidad de avance en relación con la posición





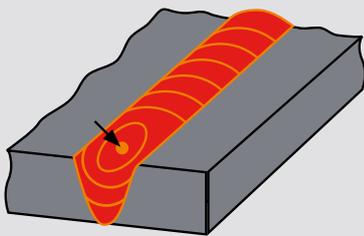
d) CRÁTERES

CAUSA

- Técnica de soldadura equivocada

SOLUCIONES

- Utilizar una técnica de soldadura apropiada. Retroceder y volver a encender para rellenar el cráter. Los cordones o secciones transversales grandes pueden necesitar un breve periodo de reposo (2 -3 s) antes de llenar al cráter.



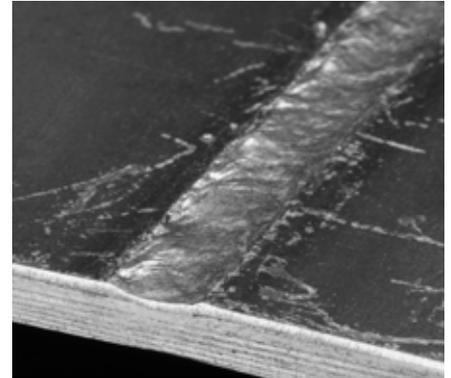
e) POROSIDAD

CAUSA

- Impurezas en la unión (humedad, aceites, corrosión, etc.)
- Soplado del arco
- Flujo de gas demasiado alto
- Flujo de gas demasiado bajo
- Gas de protección contaminado (equipo)
- Efecto inyector
- Revestimiento superficial (cinc, imprimación)

SOLUCIONES

- Mantener la unión limpia de impurezas
- Controlar el equipo
- Controlar el flujo del gas
- Técnica de soldadura (ángulo de soldadura)
- Eliminar el revestimiento superficial



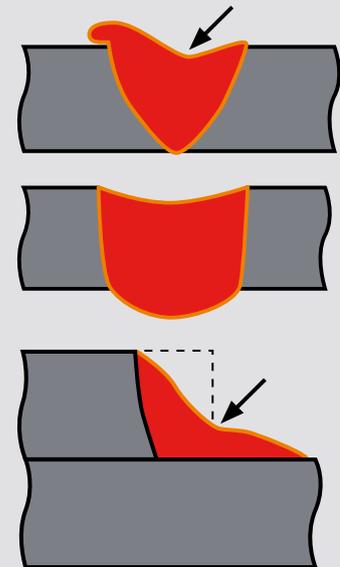
f) CONCAVIDAD (CONCAVIDAD DE LA JUNTA SOLDADA)

CAUSA

- Velocidad de avance demasiado alta
- Escaso número de cordones
- Soldadura en posición inclinada (en descenso)

SOLUCIONES

- Reducir la velocidad de avance
- Utilizar un número suficiente de cordones
- Cambiar a posición PA (horizontal)





2000 BC

DE CARA AL FUTURO

Los remolques actuales han heredado el diseño de chasis tradicional de los primeros carros de la antigüedad, que eran tirados por bueyes o caballos hace aproximadamente 4000 años. Sería lógico pensar que las nuevas técnicas de producción y la disponibilidad de materiales más avanzados daría lugar a nuevos conceptos de diseño para un producto que virtualmente ha permanecido sin cambios desde entonces, pero solo en los últimos 150 años se comenzó a utilizar el acero en las estructuras de los vehículos, y solo hace 30 años se introdujo el acero de alta resistencia (AHSS). En el caso de los vehículos aparecidos durante el siglo 20, como el automóvil y el avión, se produjo un desarrollo más rápido en la mejora de los diseños y la reducción del peso, promovido por una producción masiva, demanda de un mejor rendimiento o costes operativos muy altos.

DEMANDA DE VEHÍCULOS MÁS RESISTENTES Y LIGEROS

Hoy, los vehículos rodados pesados, como los camiones y remolques, se enfrentan a demandas exigentes en eficiencia de transporte y coste operativo. Se ha producido un aumento natural del uso de AHSS para estas aplicaciones; principalmente en la gama de límite elástico de 500 a 700 MPa. Dar este paso evolutivo es bastante sencillo y el diseño conceptual de 4000 años de antigüedad todavía en uso para los chasis de los remolques se puede actualizar para desarrollar chasis más resistentes y ligeros mediante la reducción del grosor y la implementación de mejoras puntuales de diseño.

NUEVAS CALIDADES DE ACERO MÁS RESISTENTES

Sin embargo, en SSAB desarrollamos constantemente nuevas calidades de acero más resistentes. Hoy en día, ya existen calidades disponibles con límites elásticos de 960 y 1100 MPa, lo que ofrece nuevas oportunidades y retos en el futuro desarrollo de productos. La disponibilidad de calidades nuevas más resistentes no significa necesariamente que se puedan adoptar fácilmente para el antiguo concepto de diseño. El dimensionado de los chasis de remolques tradicionalmente ha sido validado por años de experiencia, ensayos y errores y, más recientemente mediante simulaciones, FEA y ensayos controlados. Con la introducción de los AHSS, el material permite trabajar bajo tensiones más altas y en algunos casos mayores flexiones, pero el deseo de explotar todo el potencial del material empleado encuentra su límite en las uniones soldadas. Las uniones soldadas son uno de los factores más restrictivos a la hora de seguir recortando el peso del chasis, debido a su limitada resistencia a la fatiga. Por tanto, la introducción de métodos de post tratamiento, como el refuerzo con TIG o el tratamiento por UIT, y los métodos de unión alternativos como atornillado, remachado, engarzado, juntas adheridas y otras tecnologías puede ayudar a impulsar el uso de aceros de alta resistencia. El desarrollo de chasis más resistentes y ligeros mediante la introducción de aceros de alta resistencia requiere un nuevo planteamiento de diseño en el que la utilización de soldadura sea mínima y la disposición del material esté optimizada frente a las cargas para extraer todo su potencial.



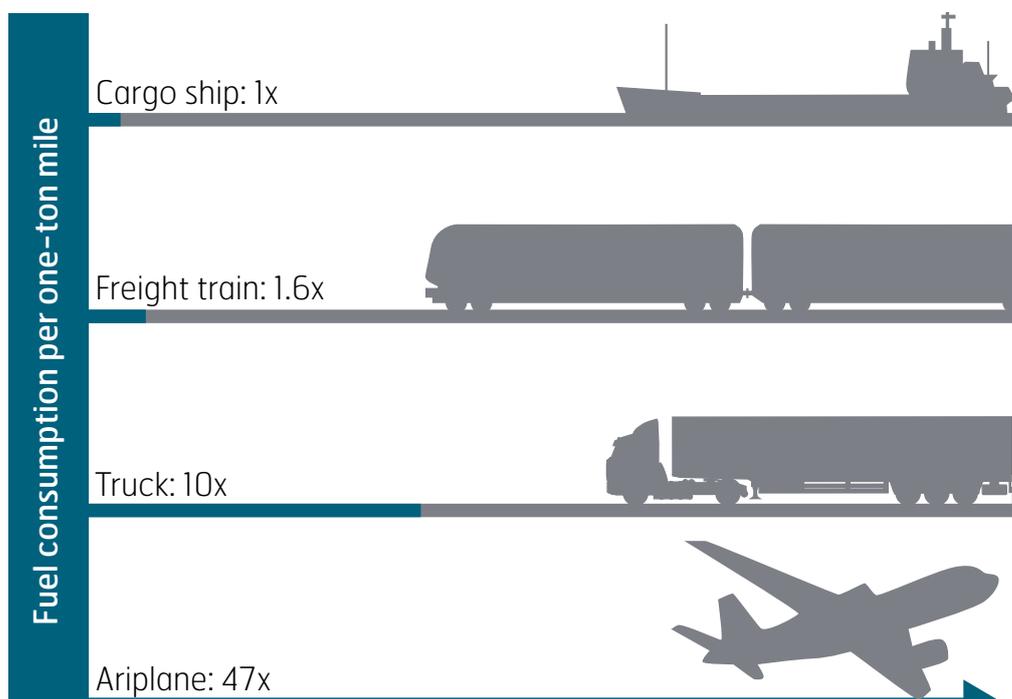
EXPLORANDO NUEVOS CONCEPTOS DE DISEÑO

La introducción de menores espesores y nuevas técnicas de fabricación permite explorar conceptos completamente nuevos. Un chasis monocasco independiente, similar a los usados en la industria del automóvil, es una solución interesante. Estas estructuras continuas de espesores finos también implican la necesidad de un nuevo enfoque en el moldeado del material, introduciendo procesos que hoy por hoy no son comunes en los talleres de producción de remolques, como laminación y prensado. También es posible utilizar métodos más avanzados para estos nuevos materiales, como laminación y estampado en 3D. Las estructuras continuas en espesores finos normalmente no solo son más ligeras, sino también más rígidas, y ofrecen la posibilidad de integrar componentes y funciones en la misma estructura. Sin embargo,

la adopción de nuevos diseños requiere que se ponga mucho más esfuerzo en entender el comportamiento estructural del chasis bajo todos los casos de carga, y también es necesario investigar los requisitos de rigidez, resistencia a la fatiga y resistencia al impacto de componentes como la defensa trasera o el mamparo.

Dar el siguiente paso en el desarrollo de remolques más ligeros y resistentes requiere que toda la experiencia de diseño de chasis adquirida con el paso de los años se combine con los nuevos conocimientos en distintas áreas, donde el conocimiento y la elección de los materiales desempeñan un papel importante. En SSAB nos complace compartir nuestro conocimiento en esta área y estamos siempre deseosos de ayudar a nuestros clientes.

FIGURA 27 Consumo de combustible y emisiones de efecto invernadero por una tonelada-milla.



SSAB es una empresa nórdica siderúrgica con sede también en Estados Unidos. SSAB ofrece productos y servicios de valor añadido desarrollados en estrecha colaboración con sus clientes para crear un mundo más sólido, ligero y sostenible. SSAB proporciona empleo a personas en más de 50 países. SSAB cuenta con instalaciones de producción en Suecia, Finlandia y Estados Unidos. SSAB cotiza en la bolsa de los países nórdicos Nasdaq OMX Nordic Exchange de Estocolmo, y de manera secundaria en la bolsa Nasdaq OMX de Helsinki. www.ssab.com

SSAB Mexico

Batallón San Patricio 109, Loc 403
San Pedro Garza García, NL, 66269
Mexico
+52 (81) 8192 9130
contactmexico@ssab.com
www.ssab.com.mx

www.strenx.com

SSAB