

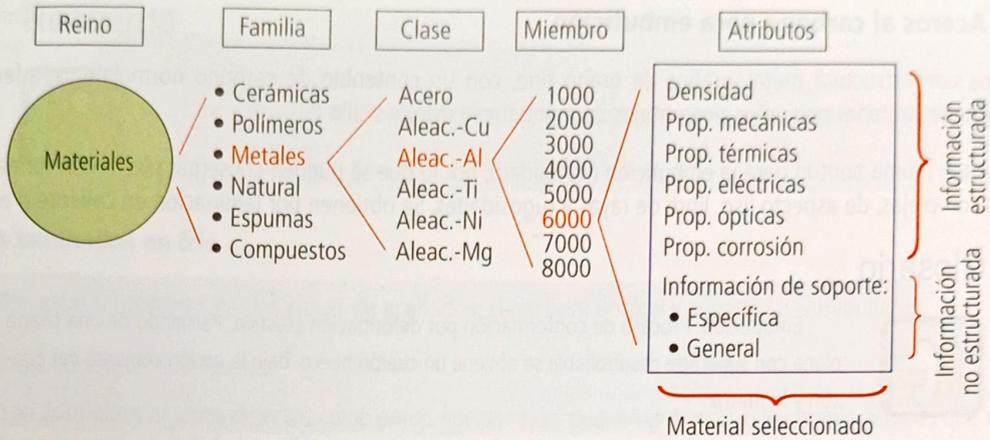
El automóvil actual es un conglomerado de materiales de la más diversa naturaleza, adaptados a diferentes necesidades y requisitos. Entre ellos, destacan el acero, el aluminio, el magnesio, los materiales plásticos y compuestos, etc. También puede encontrarse una mezcla de ellos para la fabricación de una misma pieza, dando lugar a elementos híbridos (por ejemplo, se construyen frentes híbridos de acero y poliamida)¹.

EVOLUCIÓN DEL USO DE MATERIALES (Modelos similares en un mismo fabricante)

	Berlina años 90	Berlina desde 2000
Acero	63%	46,2%
Aluminio	6%	19,5%
Metales no féreos	-	2,5%
Plásticos	8%	11%
Goma	3,5%	3%
Vidrio	-	3%
Elementos operacionales (lubricantes, refrigerantes, pintura)	4,5%	6,4%
Otros	14%	8,4%

La adecuada selección y aplicación del material que se va a emplear para un fin determinado es un problema crucial, tanto en las etapas de diseño como de desarrollo. Los factores que influyen en la elección de un material u otro, así como los criterios a la hora de seleccionarlo, son muy diversos; por ello, es difícil generalizar o establecer una pauta sistemática. No obstante, habrá que tener siempre presentes factores tales como prestaciones, duración, proceso de fabricación, disponibilidad de material, fiabilidad, etc., compatibilizando todo ello con un mínimo coste y un peso adecuado.

¹ Los materiales plásticos pueden ser de muy diversos tipos, entre los que se incluyen productos de alta tecnología, como los materiales compuestos. Se emplean no sólo para la fabricación de accesorios, sino que también tienen una destacada presencia en la fabricación de paneles de la propia carrocería. Ahora bien, salvo excepciones, se usan, fundamentalmente, para paneles exteriores, sin que participen en la transmisión de esfuerzos. Por su reducido compromiso estructural, no se consideran en este libro.



Ejemplo de selección de materiales: selección de aluminio serie 6000

1.1. ACEROS EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE CARROCERÍAS

El acero ha sido el material más empleado, tradicionalmente, en la fabricación de carrocerías, debido a las siguientes razones:

- Presenta la mejor relación coste-resultados.
- Se ha utilizado con gran amplitud en procesos de transformación y fabricación y existe una gran infraestructura industrial desarrollada a su alrededor.
- Proporciona resistencia y rigidez con una relación peso/coste razonable.
- Posee alta capacidad de absorción de energía.
- Tiene buenas propiedades frente a la fatiga.
- Es altamente conformable.

Además, cumple otros requisitos más específicos para la industrial del automóvil:

- Apto para recibir acabados de pintura de calidad.
- Buena resistencia a la corrosión (aceros prerrevestidos).
- Mejora en el peso final de la estructura (aceros de alto límite elástico y aleados).
- Apto para recibir revestimientos superficiales (revestimientos electrolíticos, fosfatación, pintura).
- Fácil de embutir.
- Buena soldabilidad.

Recuerda



Los aceros empleados para la fabricación de carrocerías pueden agruparse en tres categorías: aceros al carbono para embutición, aceros de alta resistencia y aceros de muy alta resistencia.

1.1.1. Aceros al carbono para embutición

Aceros con estructura metalográfica de grano fino, con un contenido de carbono normalmente inferior al 0,20%. Puede contener pequeños porcentajes de manganeso (Mn) y silicio (Si).

Presentan buena aptitud para la embutición (ductilidad), por lo que se pueden conseguir piezas con formas más o menos complejas, de aspecto liso, libre de rayas y rugosidades. Se obtienen por laminación en caliente o en frío.

Glosario



Embutición: Proceso de conformación por deformación plástica. Partiendo de una chapa plana con superficie desarrollable se obtiene un cuerpo hueco, bajo la acción conjunta del punzón y la matriz.

Debes saber



La laminación en frío permite espesores más delgados, mejora las propiedades mecánicas y la maquinabilidad, proporciona un acabado brillante y permite una gran perfección en las dimensiones geométricas.

Aceros laminados en caliente

Se producen en cuatro calidades diferentes: embutición normal, embutición profunda, profunda resistente al envejecimiento y embutición extraprofunda. Algunos fabricantes de acero contemplan la superprofunda, pero está fuera de normas.

Son diseñados para sufrir deformaciones en frío, desde las más sencillas (DD11) a las más exigentes (DD14).

En líneas generales, los aceros laminados en caliente presentan las siguientes características:

- Mínima presencia de nitrógeno libre, lo que evita el envejecimiento del material.
- Características mecánicas muy isotrópicas (las propiedades del material son independientes de la dirección en la que se apliquen las fuerzas).
- Grano fino, que mejora la embutición y previene la *piel de naranja*, razón por la que son muy apropiados para la industria del automóvil.

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS ACEROS LAMINADOS EN CALIENTE

Tipo	Grado	Designación	Composición química de colada (% max.)				Características mecánicas (MPa)	
			C	Mn	P	S	Límite elástico σ_e	Resistencia a tracción σ_r
Embutición	Normal	DD11	0,12	0,60	0,045	0,045	170-360	440
	Profunda	DD12	0,10	0,45	0,035	0,035	170-340	420
	Profunda resistente al envejecimiento	DD13	0,08	0,40	0,030	0,030	170-330	400
	Extraprofunda	DD14	0,08	0,35	0,025	0,025	170/310	380
	Superprofunda ⁽¹⁾	Extra DD14	0,06	0,25	0,020	0,020	120/290	360

(1) No está contemplado en la norma.

Recuerda



La aptitud para la conformación decrece con el incremento de la resistencia y la dureza.

Aceros laminados en frío

Suelen estar disponibles en dos clases de acabados: superficial normal y superficial semibrillante.

A. Acabado superficial normal

Son admisibles algunos defectos como poros, ligeras rayas, pequeñas marcas o leves coloraciones que no afecten a la conformabilidad o adherencia de los recubrimientos superficiales.

B. Acabado superficial semibrillante

La cara de mejor aspecto está prácticamente libre de defectos y no debe afectar al aspecto uniforme de la pintura o a un acabado electrolítico. La otra tendrá, al menos, el acabado A.

Los diferentes tipos de acabado existentes son definidos por sus valores de rugosidad (R_a).

Brillante	$R_a \leq 0,4 \mu$
Semi-brillante	$R_a \leq 0,9 \mu$
Normal	$0,6 < R_a < 1,9 \mu$
Rugoso	$R_a > 1,6 \mu$

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS ACEROS LAMINADOS EN FRÍO

Designación	Grado de embutición	Estado de desoxidación	Composición química de colada (% max.)					Características mecánicas (MPa)	
			C	Mn	P	S	Ti	Límite elástico σ_e	Resistencia a tracción σ_r
DC 01	Moderada	A elección	0,12	0,60	0,045	0,045	-	280	270/410
DC 03	Profunda	Calmado	0,10	0,45	0,035	0,035	-	240	270/370
DC 04	Profunda	Calmado	0,08	0,40	0,030	0,030	-	210	270/350
DC 05	Extraprofunda	Calmado	0,06	0,35	0,025	0,025	-	180	270/330
DC 06	Extraprofunda	Calmado	0,02	0,25	0,020	0,020	0,3	180	270/350

En resumen, están presentes las siguientes calidades de acero desde el punto de vista de su actitud para la conformación.

ACEROS AL CARBONO PARA EMBUTICIÓN

Aceros laminados en caliente	Embutición normal
	Embutición profunda
	Embutición profunda resistente al envejecimiento
	Embutición extraprofunda
	Embutición superprofunda (no es muy normal)
Aceros laminados en frío	Embutición moderada
	Embutición profunda
	Embutición extraprofunda

1.1.2. Aceros endurecibles en horno (BH / Bake Hardenable)

Son una nueva clase de productos de acero, desarrollados específicamente para la industria del automóvil, con el propósito de eliminar un paso caro en el proceso de fabricación, el tratamiento térmico convencional.

Fueron desarrollados en 1980 por *Sumitomo Metal Industries* para conseguir un acero que alcanzase unas propiedades mecánicas notables mediante un tratamiento térmico a muy bajas temperaturas ($\approx 170\text{ }^\circ\text{C}$, frente a los $600\text{ }^\circ\text{C}$ habituales). Como esta solución es imposible con aceros aleados, se partió de aceros al carbono, a los que se les adicionó nitrógeno, entre otros elementos.

El resultado es un acero que combina la buena formabilidad del producto de partida con la alta resistencia de la aplicación final. Puede sustituir al acero para embutición sin realizar grandes modificaciones en las prensas.

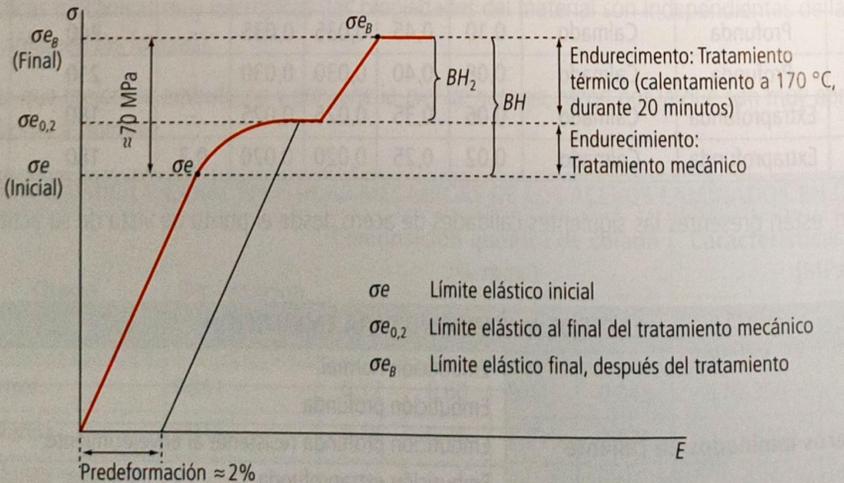
Debes saber



El acero endurecible en horno es un buen material para aplicaciones por embutición y estiramiento, en las que sea importante la resistencia a pequeños impactos y el acabado superficial.

La resistencia final se obtiene por un doble camino:

- Estiramiento mecánico: proceso de transformación (estampado, embutición...), que da lugar a dislocaciones. Dislocaciones son imperfecciones de la estructura cristalina del metal que ejercen un acusado efecto sobre propiedades de dicha estructura como la resistencia, dureza, ductilidad y tenacidad.
- Tratamiento térmico: ciclo de pintura en el horno ($\approx 170\text{ }^\circ\text{C}$; 20-30 min.), que producirá el bloqueo de dichas dislocaciones.



Efecto del endurecimiento

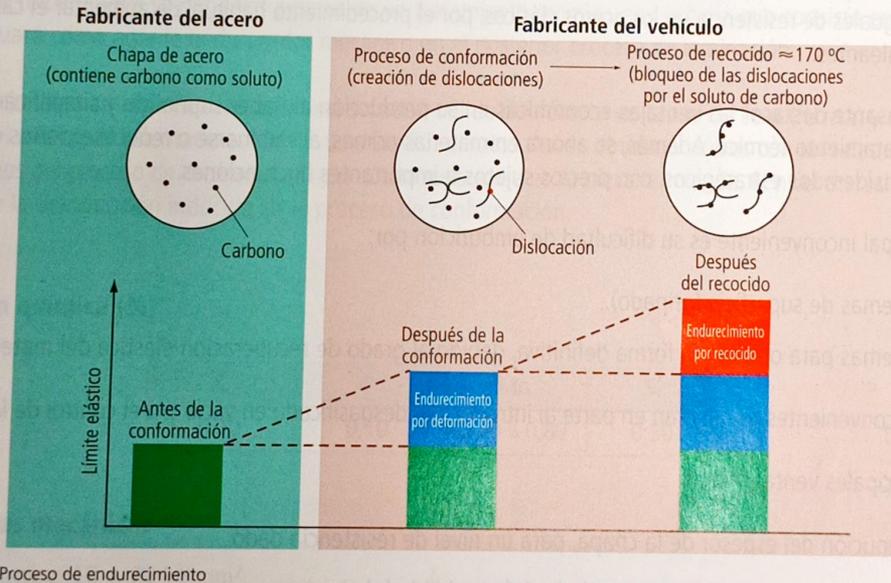
Las propiedades del producto acabado estarán en función del grado de estiramiento en el proceso de embutición y de la temperatura del horno de pintura.

Estos aceros destacan por su buena soldabilidad, debido a los bajos niveles de carbono. Si se utilizan apropiadamente presentan buena resistencia a la fatiga y frente a los pequeños impactos. Están presentes, por tanto, en la fabricación de paneles exteriores.

Este tipo de aceros suelen emplearse en la fabricación de elementos como puertas, aletas, costados, capós y techos.

Todavía no está decidido un estándar que permita definir las propiedades mecánicas de estos aceros. Algunos fabricantes de automóviles indican que el incremento del límite elástico esperado es de unos 70 MPa, obteniéndose límites elásticos del orden de 280 MPa.

En resumen, se trata de aceros que dan respuesta a las demandas de embutibilidad, resistencia a pequeños impactos y aligeramiento de las piezas.



Hoy en día, la carrocería de un automóvil está fabricada mediante el uso de diferentes tipos de acero, con propiedades muy variadas. Esta circunstancia supone que su clasificación resulte compleja, así como que su distribución por el automóvil difiera de unos modelos a otros. En este sentido, se podría hablar de dos grandes grupos: aceros de «alta resistencia» (HSS) y aceros de «ultra alta resistencia» (UHSS).

Acotar esos dos grupos no es una tarea sencilla, debido a que las numerosas familias de productos existentes impiden delimitar claramente una frontera, existiendo productos que podrían encuadrarse en ambos grupos.

Recuerda



En términos de la industria automovilística, suelen considerarse aceros de alta resistencia aquéllos cuyo límite elástico oscila entre 210 y 550 Mpa. Y de muy alta resistencia, los que sobrepasan ese límite.

A continuación, se relacionan los tipos empleados más frecuentemente en la fabricación de carrocerías.

1.1.3. Aceros de alta resistencia (HSS / High Strength Steel)

Dentro de los aceros de alta resistencia, se incluyen los denominados aceros microaleados o dispersoides, los refosforados, los aceros sin intersticiales y los isótopos.

Aceros microaleados o dispersoides (HSLA / High Strength Low Alloy)

Pueden considerarse como aceros de construcción clásicos aquellos a los que se les añaden pequeñas cantidades de ciertos elementos de aleación (Nb, V, Ti) que, junto con el carbono y el nitrógeno, forman microconstituyentes altamente eficaces (carbonos, nitruros y carbonitruros), que mejoran sus propiedades en los procesos termomecánicos controlados.

La principal característica de estos aceros es obtener altas propiedades resistentes, manteniendo bajos niveles de carbono. Esto supone una tenacidad y soldabilidad notablemente superiores a las que se obtendrían al intentar alcanzar niveles iguales de resistencia en los aceros clásicos, por el procedimiento habitual de aumentar el carbono y/o los elementos aleantes.

Es interesante destacar las ventajas económicas en su producción al haber suprimido y simplificado las operaciones de tratamiento térmico. Además, se ahorra en materias primas, al eliminarse o reducirse ciertos elementos de aleación considerados estratégicos, con precios sujetos a importantes fluctuaciones.

El principal inconveniente es su dificultad de embutición por:

- Problemas de superficie (gripado).
- Problemas para obtener la forma definitiva, debido al grado de recuperación elástica del material.

Estos inconvenientes se mejoran en parte al introducir el desgasificado en vacío y/o el control de las inclusiones.

Las principales ventajas son:

- Disminución del espesor de la chapa, para un nivel de resistencia dado.
- Aumento de la rigidez, disminuyendo la deformabilidad de la chapa.
- Alto límite elástico.

Estos aceros pueden ser laminados en caliente y en frío. Sus características son:

Composición química (%)

C	Mn	Si	P	S	Al	Nb	V	Ti
≤ 0,10	0,20 a 0,80	≤ 0,50	≤ 0,030	≤ 0,030	0,020 a 0,080	0,010 a 0,060	0,010 a 0,080	0,010 a 0,120

Características mecánicas

- Límite elástico: 28 ÷ 46 kg/mm²
- Tensión de rotura: 37 ÷ 65 kg/mm²
- Alargamiento: 15% ÷ 28%

Glosario



Límite elástico: Es la tensión máxima que puede soportar un material elástico sin sufrir deformaciones permanentes.

Aceros refosforados

Los aceros refosforados surgen por necesidad de mejorar las características de embutición y el aspecto superficial de los aceros microaleados. Se trata de aceros extradulces (con bajo contenido de carbono), calmados al aluminio y con un contenido máximo en fósforo (P) de 0,1%, con el fin de conservar una soldabilidad aceptable. El fósforo facilita la embutición y contribuye a evitar la corrosión.

Los aceros refosforados se obtienen a partir de un tratamiento químico *en cuchara*, que consiste en añadir fósforo, que actuará como agente endurecedor mecánico en el posterior proceso de laminación.

El endurecimiento se obtiene mediante una solución sólida del fósforo en la red de Fe- α (ferrita) y una precipitación fina del mismo, al calentarlo a 170 °C durante 20 minutos. Así se obtienen aceros con un relativo bajo límite elástico antes del proceso de conformación y una alta resistencia en la pieza terminada. El nivel de resistencia final dependerá de la deformación inducida en el proceso de conformación.

Composición química (%)

C	P	Mn	Si
0,10	0,10	0,20 a 0,80	0,30

Características mecánicas

- Límite elástico: 15 ÷ 21 kg/mm²
- Tensión de rotura: 25 ÷ 35 kg/mm²
- Alargamiento: 28% ÷ 34%

Aceros sin intersticiales (IF / *Interstitial Free*)

Estos aceros han sido diseñados para lograr un buen equilibrio entre las características de embutición y la resistencia mecánica.

Su endurecimiento se debe a la puesta, en la ferrita, de una solución sólida de manganeso, silicio y fósforo. La metalurgia sin elementos de inserción optimiza las características de embutición.

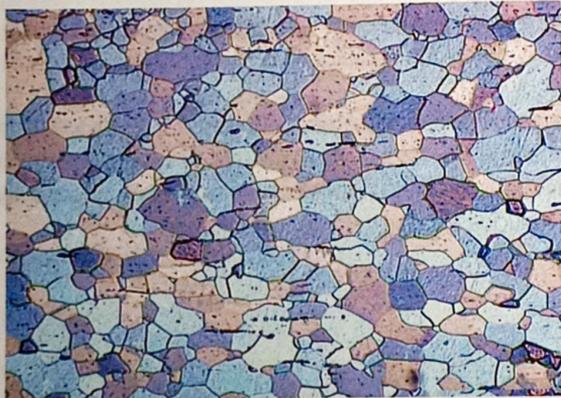
Estos aceros resultan particularmente aptos para piezas complejas, que requieren simultáneamente altas características mecánicas, como pases de rueda, refuerzos...

Debido a su gran potencial de consolidación durante los procesos de conformación, proporciona, a aquellas piezas sometidas a embutición profunda, una buena resistencia frente a pequeños impactos.

Existen diferentes calidades. Unas son más adecuadas para piezas externas y visibles; otras, para piezas cuya estructura implica que su embutición sea compleja, como largueros, traviesas, etc.

Las principales calidades se indican en esta tabla.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS (MPa)		
Calidades	Límite elástico (σ_e)	Resistencia a tracción (σ_T)
IF 180	180 – 230	340 – 400
IF 220	220 – 260	350 – 400
IF 260	260 – 300	380 – 440
IF 300	300 – 340	400 – 460



Microestructura del grado IF 180

Aceros isotrópicos (IS / Isotropic Steel)

Gama de aceros disponible por determinados fabricantes, con la que se logra una buena conformación (con una alta isotropía), asociada a una mayor resistencia a los pequeños impactos. Su metalurgia suele estar basada en añadir elementos endurecedores como manganeso (Mn) y silicio (Si), por ejemplo, a una composición de referencia que permita alcanzar una alta ductilidad.

Glosario



Ductilidad: Es la propiedad que presentan algunos metales y aleaciones para, bajo la acción de una fuerza, deformarse sin romperse, permitiendo la obtención de alambres o hilos.

La microestructura de estos aceros se caracteriza por granos equiaxiales, que son los que le aportan su fuerte isotropía.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS (MPa)		
Calidades	Límite elástico (σ_e)	Resistencia a tracción (σ_T)
IS 220	220 – 260	300 – 380
IS 260	260 – 300	320 – 400



<http://www.arcelormittal.com/> Compañía líder en el campo del acero, presente en 60 países. Trabaja en automoción, construcción y tecnología. En España, opera en Barcelona, Bilbao, Madrid y Valencia.

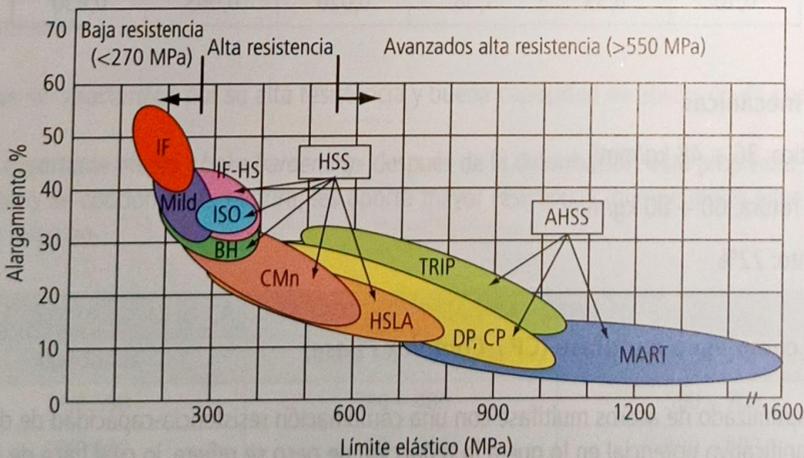


Microestructura del grado IS 220

1.1.4. Aceros de ultra alta resistencia (UHSS / Ultra High Strength Steel)

En este grupo se incluyen aquellos aceros que presentan un límite elástico superior a 550 MPa.

Los aceros de alta y ultra alta resistencia se solapan, encontrándose la principal diferencia en su microestructura. Los aceros de muy alta resistencia son multifase, que contienen martensita, bainita y/o austenita, retenidas en cantidad suficiente para producir propiedades mecánicas únicas.



Aceros utilizados en la carrocería

Aceros de doble fase (DP / Dual Phase)

Se han convertido en uno de los más populares y versátiles de la industria del automóvil. Se emplean, comúnmente, en aplicaciones estructurales, donde están reemplazando a aceros más populares, como los de alta resistencia y baja aleación (HSLA) o dispersoides.

Son aceros con un bajo contenido de carbono y sin elementos de aleación. Su estructura se modifica al someterlos a un tratamiento térmico consistente en un calentamiento por encima de su temperatura de transformación, seguido de un enfriamiento rápido, perfectamente controlado.

En lugar de obtener una estructura ferrita-perlita, se obtiene una estructura ferrita-martensita.

La ferrita es la fase blanda, que hace de matriz, aportando ductilidad. La martensita, en contenidos del 5 al 15%, es la fase dura, que aporta resistencia. Siempre que no se supere el 20% de martensita, se seguirá conservando una gran ductilidad en este tipo de acero, consiguiendo una buena soldabilidad.



Travesía delantera fabricada en acero de doble fase

Entre las principales características de los aceros de doble fase destacan:

- Comportamiento predecible en los procesos de estampación.
- Excelente respuesta a la fatiga y alta resistencia mecánica, que les proporciona una buena capacidad de absorción de energía, motivo por el que su aplicación es idónea para elementos estructurales y de refuerzo.
- Alto potencial de reducción de peso (hasta un 40% comparado con el acero HSLA equivalente).
- Cumple con los requerimientos de seguridad demandados por la industria del automóvil.

Composición química (%)

C	Si	Mn	P	S	Al
0,10	0,55	1,58	0,020	0,003	0,030

Características mecánicas

- Límite elástico: 36 ÷ 48 kg/mm²
- Tensión de rotura: 60 ÷ 80 kg/mm²
- Alargamiento: 22%

Aceros de fase compleja o multifase (CP / Complex Phase)

El desarrollo optimizado de aceros multifase con una combinación resistencia-capacidad de deformación mejorada ofrece un significativo potencial en lo que a la reducción de peso se refiere, lo cual hace de este tipo de acero un producto muy idóneo para múltiples aplicaciones, incluida la fabricación del automóvil.

Estos aceros presentan una microestructura muy fina de ferrita y un gran volumen de fracciones de fases duras (bainita, martensita), que actuarán en forma de precipitados finos, que endurecerán el acero.

Emplea el mismo tipo de elementos de aleación que los aceros de Doble Fase y por Transformación Plástica Inducida (TRIP), presentando adicionalmente pequeñas cantidades de niobio (Ni), titanio (Ti) y/o vanadio (V), que darán lugar a precipitados endurecedores.

Debes saber



Los aceros multifase se comportan muy bien ante impactos, mostrando gran deformabilidad y alta capacidad de absorción de energía.

Se suelen emplear en elementos que requieran alta capacidad de absorción de energía, como refuerzos de paraportes, pilares centrales, etc.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS (MPa)		
Calidades	Límite elástico (σ_e)	Resistencia a tracción (σ_t)
CP 600	360 – 440	600 – 700
CP 750	620 – 750	> 750
CP 800	680 – 830	> 780
CP 1000	700 – 850	980 – 1200
CP 1200	900 – 1150	> 1.200

Aceros por transformación plástica inducida (TRIP / Transformation – Induced Plasticity)

Los aceros TRIP son unos de los más nuevos y espectaculares que se han desarrollado para la industria. Presentan la mejor ductibilidad para el nivel de resistencia alcanzado, debido a su particular microestructura.

Su microestructura consiste en una matriz continua de ferrita, que contiene, en dispersión, segundas fases duras, como martensita y/o bainita. Estos aceros también contienen fracciones de austenita retenida en porcentajes superiores al 5% en volumen.

Son aceros que se caracterizan por su alta resistencia y buena capacidad de absorción de energía.

Presentan un importante efecto «*bake hardening*» después de la deformación. Esta propiedad, que aparece después del tratamiento de cocción de la pintura, les aporta mayor resistencia, que permitirá aligerar los elementos estructurales y de refuerzo.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS (MPa)		
Calidades	Límite elástico (σ_e)	Resistencia a tracción (σ_t)
TRIP 590	380 – 480	590 – 700
TRIP 690	410 – 510	690 – 800
TRIP 780	450 – 550	780 – 900

Composición química (%)

C	Mn	Al+Si
< 0,250	< 2,0	< 2,0

Características mecánicas

- Límite elástico: $38 \div 55 \text{ kg/mm}^2$
- Tensión de rotura: $59 \div 90 \text{ kg/mm}^2$
- Alargamiento: $> 23\%$

Aceros al boro (B / Boron)

El boro es un potente elemento aleante del acero; añadido en muy pequeñas cantidades (alrededor del 0,001 %) tiene un importante efecto en la dureza del material. El efecto endurecedor conseguido varía en función del contenido de carbono del acero, siendo más efectivo su resultado en los aceros con bajo contenido de carbono.

Los aceros al boro son aceros de altas características mecánicas, que se sitúan en la gama de los desarrollados para responder a las exigencias de aligeramiento de los vehículos. Se trata, por tanto, de un acero de estampación destinado a piezas estructurales y de seguridad del automóvil.

Los aceros al boro están diseñados para recibir un tratamiento térmico durante o después de la operación de estampación. Las características mecánicas finales permiten obtener un aligeramiento muy significativo (hasta un 50%), presentando un buen comportamiento frente a sollicitaciones mecánicas.

El acero al boro empleado en la fabricación de elementos estructurales de la carrocería suele presentar un límite elástico del orden de 1.200 MPa.

Se emplean, fundamentalmente, para funciones anti-intrusión en el vehículo: pilar central, barras de protección lateral, almas de paragolpes, faldones y sus refuerzos, etc.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS (MPa)	
Límite elástico (σ_e)	Resistencia a tracción (σ_r)
1.200	1.600

Debes saber



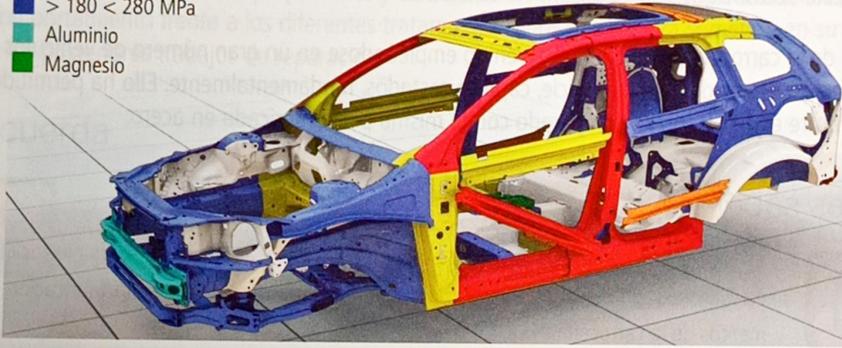
Las propiedades mecánicas implican una **readaptación del taller** en lo referente a las técnicas y herramientas empleadas.

Aceros martensíticos (MART)

En los aceros martensíticos la austenita presente durante el laminado en caliente o el recocido se transforma casi enteramente en martensita durante la fase de enfriamiento del recocido.

En su microestructura hay presentes, de forma importante, láminas de martensita, que les proporcionan altos niveles de resistencia, del orden de 1.500 MPa de carga de rotura. Estos aceros, a menudo, están sujetos a un tratamiento térmico de cara a mejorar su ductilidad, pudiendo llegar a presentar una capacidad de conformación importante, incluso para niveles de resistencia muy altos.

- > 800 MPa
- > 300 < 800 MPa
- > 280 < 380 MPa
- > 180 < 280 MPa
- Aluminio
- Magnesio



Empleo de aceros de diferentes calidades en una carrocería

1.2. ALUMINIO EN LA FABRICACIÓN DE CARROCERÍAS

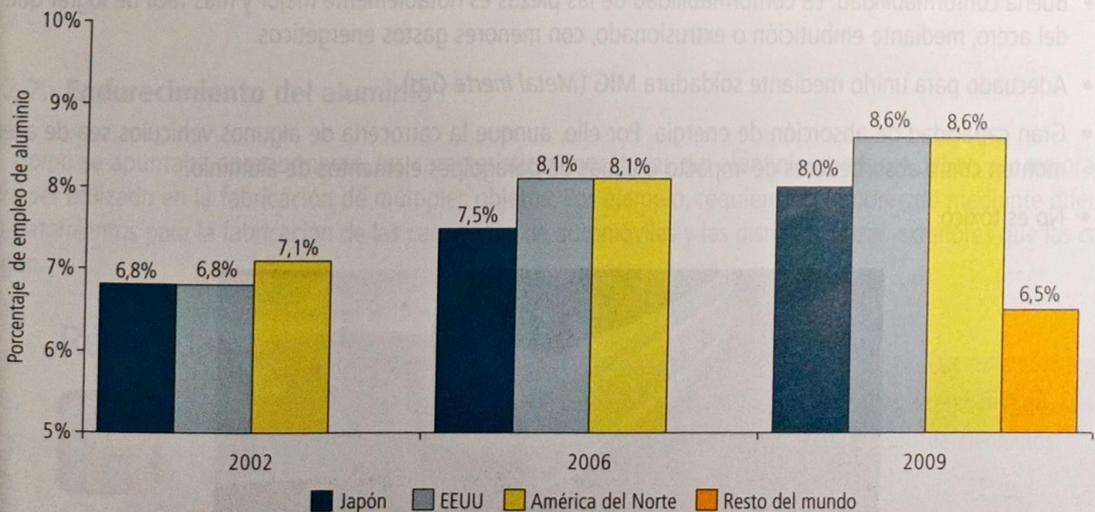
El aluminio es el tercer material más abundante en la naturaleza, después del oxígeno y del silicio. Encabezan el grupo de los metales. Esta circunstancia, unida a sus características y propiedades, hacen de él un material interesante para múltiples aplicaciones, siendo, en la actualidad, el segundo material metálico más empleado.

Debes saber



El único inconveniente que presenta el aluminio es que su proceso de obtención, mediante electrólisis, a partir de la alúmina, consume una gran cantidad de energía.

El consumo de aluminio es absorbido prácticamente por cuatro sectores: transporte, eléctrico, construcción y embalajes. El automóvil se encuadra dentro del sector *transporte*.



Fuente: Ducker Worldwide

Porcentajes de empleo de aluminio en la fabricación de vehículos

Desde mediados de los años 70 el porcentaje de utilización de aluminio en el automóvil se ha multiplicado prácticamente por tres. En la actualidad, más de cien piezas diferentes de un vehículo están fabricadas con aluminio, y su penetración en este sector sigue creciendo.

En el campo de la carrocería, el aluminio ha venido empleándose en un gran número de vehículos para la fabricación de paneles exteriores de gran superficie, capós y costados, fundamentalmente. Ello ha permitido alcanzar un ahorro en peso entre el 40 y el 60%, comparado con la misma pieza fabricada en acero.

Debes saber



Las buenas propiedades y, sobre todo, el bajo peso específico del aluminio facilitan una elevada relación resistencia-peso y le auguran un gran desarrollo en la fabricación de elementos de la carrocería.

La aplicación del aluminio frenará el aumento de peso que han experimentado progresivamente los vehículos e, incluso, lo reducirá. Los constructores de vehículos han tenido muy en cuenta este dato, debido a la influencia determinante que ejerce el peso sobre el consumo de energía y la contaminación del medio ambiente.

1.2.1. Ventajas del aluminio en la fabricación de carrocerías

Entre las ventajas que aporta el aluminio para la fabricación de carrocerías, destacan las siguientes:

- Su peso específico es, aproximadamente, la tercera parte que el del acero, lo que puede llegar a suponer una disminución del 40% del peso total de la carrocería.
- El óxido de aluminio forma una fina capa muy estable, que se renueva periódicamente, pasivando al aluminio y, por lo tanto, evitando la degradación del material.
- Las aleaciones de aluminio puede reciclarse fácilmente al final de su vida útil. Para su reaprovechamiento, se precisa mucha menos energía que para la obtención del aluminio primario o metalúrgico.
- Posee valores de rigidez (a torsión y flexión) favorables.
- Buena conformabilidad. La conformabilidad de las piezas es notablemente mejor y más fácil de lograr que la del acero, mediante embutición o extrusionado, con menores gastos energéticos.
- Adecuado para unirlos mediante soldadura MIG (*Metal Inerte Gas*).
- Gran capacidad de absorción de energía. Por ello, aunque la carrocería de algunos vehículos sea de acero, montan como absorbedores de impacto o almas de paragolpes elementos de aluminio.
- No es tóxico.



Traviesa de aluminio

Propiedades del aluminio

En la tabla adjunta, se indican las propiedades y características más significativas del aluminio, que van a condicionar su comportamiento frente a los diferentes tratamientos a los que se verá sometido en su proceso de producción o en los posteriores trabajos de reparación.

Recuerda



Las propiedades del aluminio condicionarán el comportamiento de todo aquel elemento de la carrocería fabricado en aluminio, tanto en lo referente a la seguridad y gestión de la energía en un siniestro como en los posteriores procesos de conformación.

	Aluminio	Acero
Densidad	2,69 kg/dm ³	7,87 kg/dm ³
Temperatura de fusión	660,2 °C	1.538 °C
Resistencia a la tracción	12 kg/mm ²	35-41 kg/mm ²
Límite elástico	10 kg/mm ²	23 kg/mm ²
Alargamiento	11%	25-37%
Dureza	≈ 15 HB	50-67 HB
Resistencia eléctrica específica	0,02655 Ω x mm ² /m	0,13 Ω x mm ² /m
Conductividad calorífica	235 W/m x K	58 W/m x K
Coefficiente de dilatación lineal	23,6 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹	12,0 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹

Los valores indicados se refieren al aluminio puro, aunque, como tal, no presenta grandes aplicaciones industriales debido a sus relativamente escasas propiedades mecánicas. Por esta razón en la fabricación de carrocerías se emplean aleaciones de aluminio, que se caracterizan por sus propiedades mecánicas mejoradas.

1.2.2. Endurecimiento del aluminio

Como se apuntaba anteriormente, las características mecánicas del aluminio pueden y deben ser mejoradas para ser utilizado en la fabricación de múltiples objetos. Por ejemplo, requiere ser endurecido mediante diferentes tratamientos para la fabricación de las carrocerías de automóviles y las distintas piezas exteriores que las componen.

Recuerda



Al igual que en la mayoría de los materiales metálicos, existen dos formas de endurecer las aleaciones de aluminio: por deformación o trabajo en frío y por la adición de elementos aleantes.

Ambos métodos se basan en entorpecer el movimiento de las dislocaciones en la red de aluminio.

Endurecimiento por deformación (acritud)

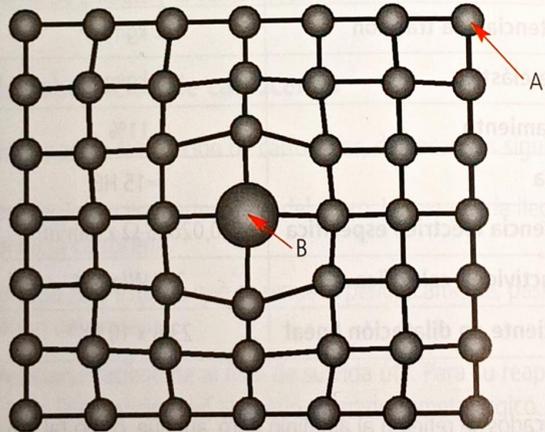
El límite elástico de los metales se incrementa con el grado de deformación plástica. En este sentido, para el endurecimiento en frío de un metal es condición indispensable que se induzca una deformación plástica en el metal, a una temperatura inferior a la de recristalización.

De esta manera, durante la deformación en frío se produce un apilamiento de dislocaciones, que actuará como una barrera frente al movimiento de nuevas dislocaciones.

Endurecimiento por adición de elementos aleantes

Este endurecimiento se basa en la creación de líneas de dislocación por la introducción de átomos extraños (elementos aleantes). La distribución de estos átomos afectará de diferente forma a la red de aluminio y, por lo tanto, al endurecimiento. Pueden presentarse dos casos: endurecimiento por solución sólida y endurecimiento por precipitación.

- A) Átomos de aluminio
- B) Átomos del elemento aleante



La introducción de elementos aleantes varía las propiedades del metal

Endurecimiento por solución sólida

El reemplazamiento de átomos de aluminio por átomos extraños produce una distorsión de la red atómica, que inhibirá la movilidad de las dislocaciones.

Los átomos de soluto se encuentran más estables alrededor de la dislocación, por lo que se concentrarán en los alrededores de una dislocación más que en cualquier otra zona de la red. Por esta razón, para desplazar una dislocación a otra zona, se necesitará mayor energía, lo cual implica que la resistencia del material se ha incrementado.

Web



www.aluminumtransportation.org Perteneciente a la Asociación de productores primarios de aluminio y recicladores.

Endurecimiento por precipitación

Se da en las aleaciones tratables térmicamente. Este fenómeno se conoce como «endurecimiento por envejecimiento» o «envejecimiento» a secas.

Para que tenga lugar, han de darse dos condiciones:

- La aleación ha de contener elementos que, a una determinada temperatura, entren en un estado de solución sólida en aluminio y, a otra, precipiten como otra fase. Es decir, la solubilidad sólida ha de ser mayor a altas temperaturas que a bajas.
- La fase que precipita ha de dar lugar a un precipitado duro y coherente, es decir, que se conecte con la red de aluminio.

El término «solución por tratamiento térmico» significa el tratamiento térmico de un metal con el propósito de precipitar partículas del soluto en la matriz. Se da mediante el calentamiento de un material a una temperatura por debajo de la de solución de las partículas en cuestión, manteniéndola por un periodo de tiempo.

El envejecimiento puede ser natural o se puede provocar, artificialmente:

- Natural. Se da cuando la aleación se mantiene a la temperatura ambiente después de la solución y enfriamiento. El porcentaje de cambio varía con el tipo de aleación e, incluso, dentro de su mismo grupo. Este envejecimiento, hasta alcanzar la condición estable, puede requerir desde varios días a varios años.
- Artificial. Manteniendo la solución a una temperatura superior a la temperatura ambiente se acelera la precipitación y se incrementa la resistencia final, en comparación con el envejecimiento natural. Se lleva a cabo a temperaturas alrededor de 200 °C.

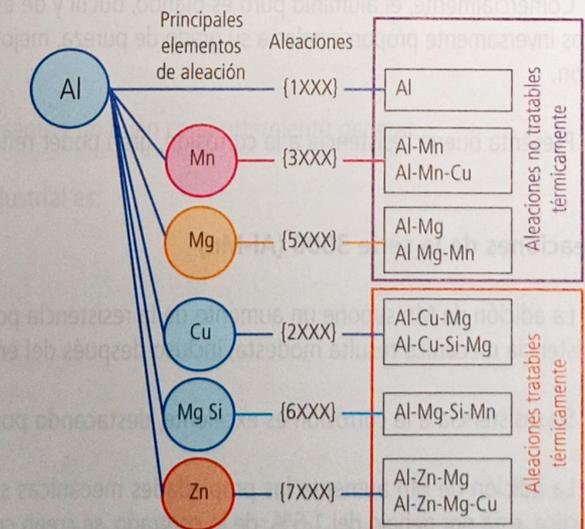
Diferentes combinaciones de temperaturas y tiempos darán lugar a distintas propiedades.

1.2.3. Principales aleaciones de aluminio

Aunque la mayoría de los metales y algunos no metales son capaces de formar soluciones sólidas con el aluminio, la mayor parte de las aleaciones con interés técnico se basan, únicamente, en algunos sistemas como Al-Mn, Al-Mg, Al-Cu, Al-Si y Al-Mg-Si.

Atendiendo al modo de transformación de las aleaciones, se distinguen dos grandes grupos:

- Aleaciones para forja: Son aleaciones coladas en fundición en forma de tochos o placas. A continuación se transforma en semiproductos mediante técnicas de conformación por deformación plástica, tales como laminación, extrusión, forja y embutición.
- Aleaciones para moldeo: Se utilizan en fundición para la obtención de piezas por colada (colada en arena o colada en coquilla). Este tipo de aleaciones están desarrolladas específicamente para el tipo de operación de moldeo a seguir.



Aleaciones de aluminio

Recuerda



Dentro de las aleaciones para forja, que son las más utilizadas a nivel industrial y también para la fabricación de elementos de carrocería, se hallan dos grandes grupos: aleaciones no tratables térmicamente y aleaciones tratables térmicamente.

Aleaciones de aluminio no tratables térmicamente

Son aquéllas no tratables térmicamente, como consecuencia de su reducido intervalo de solidificación.

Sus características mecánicas se consiguen por trabajo en frío o por el control del contenido de los elementos aleantes: magnesio (Mg) y manganeso (Mn).

También se conocen como no aleaciones no bonificables.

Comprenden tres series:

Serie 1000	Aluminio puro (Al)
Serie 3000	Aleaciones de aluminio-manganeso (Al-Mn)
Serie 5000	Aleaciones de aluminio-magnesio (Al-Mg)

A continuación, se indican las principales características de estas tres aleaciones, teniendo en cuenta que el aluminio puro no se emplea para la fabricación de automóviles.

Aluminio puro (Al). Serie 1000

Comprende las aleaciones de aluminio puro, con diferentes grados de pureza, pero siempre con un contenido mínimo de aluminio del 99,00%, correspondiendo el resto a impurezas, fundamentalmente hierro, silicio, cobre y zinc.

Comercialmente, el aluminio puro es blando, dúctil y de escaso valor estructural, siendo sus propiedades mecánicas inversamente proporcionales a su grado de pureza, mejorando las mismas con la adición de elementos de aleación.

Presenta buena resistencia a la corrosión, gran poder reflectante y excelente capacidad de conformación.

Aleaciones de la serie 3000 (Al-Mn)

La adición de Mn supone un aumento de la resistencia por reforzamiento de la solución sólida. Sin embargo, su resistencia mecánica resulta modesta, incluso después del endurecimiento por deformación.

Su resistencia a la corrosión es excelente, destacando por su buena aptitud al conformado.

La adición de Mn aumenta las propiedades mecánicas sin afectar a la estabilidad química. Su cantidad, en la práctica, está por debajo del 1,5%; de lo contrario, se crean cristales de Al_6Mn , que ocasionarán problemas en su trabajo posterior.

Aleaciones de la serie 5000 (Al-Mg)

Destacan por su buena resistencia a la corrosión, superior incluso a la del aluminio en ambientes marinos. Tiene buena resistencia mecánica, conformabilidad y aptitud para el anodizado. Sus cantidades varían en función de la cantidad de Mg:

- **Contenidos bajos de Mg:** Buena conformabilidad. En aleaciones para forja, el contenido se ubica entre 0,5%-5%.
- **Contenidos altos de Mg:** Buena colabilidad. En aleaciones para moldeo, la cantidad de Mg están entre 5%-12%.

El contenido de Mg suele variar entre el 0,5% (5005) y el 5% (5056) en aquellas aleaciones empleadas para paneles de carrocería. Las de mayores características mecánicas son las de contenido igual o superior a 2,5% de Mg.

Se emplean en la fabricación de refuerzos de carrocería no visibles, a los cuales se les exige una buena capacidad de deformación, a causa de su complicada geometría (módulo resistente).

Aleaciones de aluminio tratables térmicamente

Se trata de aquellas aleaciones cuyos elementos aleantes tienen una solubilidad apreciable a elevadas temperaturas, decreciendo a temperaturas más bajas. También se conocen como bonificables.

Comprende, fundamentalmente, las tres series siguientes:

Serie 2000Aleaciones de aluminio-cobre (Al-Cu)

Serie 6000Aleaciones de aluminio-magnesio-silicio (Al-Mg-Si)

Serie 7000Aleaciones de aluminio-zinc-magnesio, con o sin cobre (Al-Zn-Mg / Al-Zn-Mg-Cu)

A continuación, se comentan las principales características de las series 6000 y 7000, las más usualmente en este campo.

Aleaciones de la serie 6000 (Al-Mg-Si)

Sin propiedades especialmente destacables, sí presentan un buen comportamiento general.

La zona de composiciones de interés técnico o industrial es:

Mg 0,3 ÷ 1,5%

Si 0,2 ÷ 1,6%

Mn 0 ÷ 1%

Cr 0 ÷ 0,35%

Sus principales características son:

- Incrementan su resistencia por la precipitación Mg_2Si (silicato de magnesio). Presentan un rango de propiedades mecánicas desde suaves hasta similares a las del acero estructural.

- El Mg en exceso mejora la resistencia a la corrosión y disminuye la conformabilidad y las propiedades mecánicas.
- El Si en exceso aumenta la resistencia, sin empeorar la conformabilidad y la soldabilidad.
- Este tipo de aleaciones presenta una capacidad de extrusión muy buena, por lo que el 80% de los productos extruidos a nivel mundial están hechos con la serie 6000.
- Son soldables, presentan buena resistencia a la corrosión y son apropiadas para la mayor parte de los tratamientos superficiales (anodizado, cromatado, fosfatado, pintado, etc.).
- Las aleaciones más frecuentes son la 6060 (si se busca acabado superficial) y la 6063 (si se busca alta resistencia). Para aplicaciones estructurales, la 6082.

En elementos de la carrocería, se emplea en paneles exteriores, consiguiéndose, mediante tratamientos termomecánicos, una resistencia frente a deformaciones plásticas locales semejante a la de acero.

Glosario



Extrusión es, en general, la acción de dar forma o moldear una masa haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta.



Aleta trasera del Audi TT, fabricada en aluminio

Aleaciones de la serie 7000 (Al-Zn-Mg / Al-Zn-Mg-Cu)

La adición conjunta de Zn y Mg favorece el endurecimiento y la consecución de una gran resistencia. La suma de sus contenidos suele estar limitada al 7% para evitar el peligro de corrosión en las grietas bajo tensión.

Las más corrientes contienen 4,5% Zn y 1,3% Mg.

Las aleaciones de la serie 7000 son más sensibles al agrietamiento en caliente, lo que supone que su soldado sea muy delicado.

Existen dos grupos importantes de esta familia, diferenciados por la presencia o no de cobre.

- Aleaciones sin Cu:

- Características mecánicas medias, próximas a las del acero de construcción.
- Buena aptitud a la deformación en frío y en caliente.
- Importante aptitud al temple mediante la puesta en solución (350 ÷ 550 °C).
- Débil velocidad crítica de temple, que permite el temple al aire, si el espesor es suficientemente reducido ($\leq 1,2$ mm).
- Buena soldabilidad operatoria y metalúrgica.
- Buena resistencia a la corrosión bajo tensión y a los agentes atmosféricos.

La aleación más representativa es la 7020, empleada en vehículos ferroviarios y de transporte.

- Aleaciones con Cu:

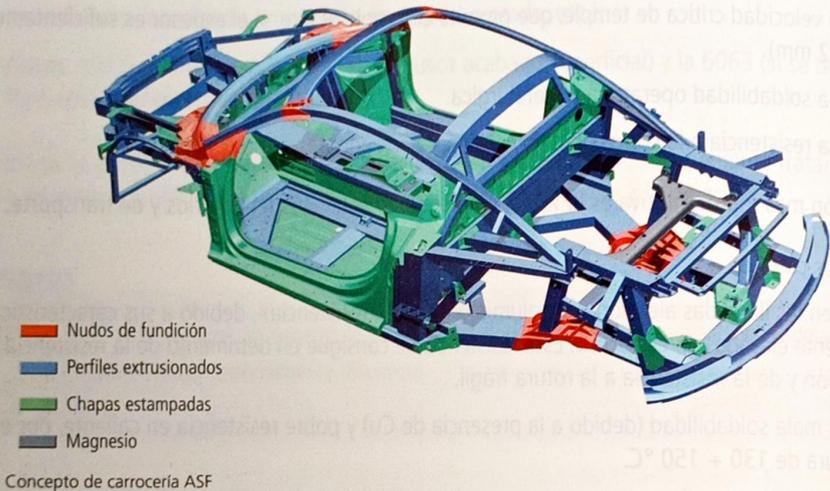
Constituyen las llamadas aleaciones de aluminio de «alta resistencia», debido a sus características mecánicas, relativamente elevadas en estado T6. Esta resistencia se consigue en detrimento de la resistencia a la corrosión bajo tensión y de la resistencia a la rotura frágil.

Presentan mala soldabilidad (debido a la presencia de Cu) y pobre resistencia en caliente, por encima de una temperatura de 130 + 150 °C.

PRINCIPALES APLICACIONES DEL ALUMINIO	
Aplicaciones	Aleaciones
Paneles interiores de carrocería	5052
	5182
	5754
	6009
	6010
Paneles exteriores de carrocería	6022
	6009
	6010
	6022
Armazones de puerta	6111
	6016
Armazones de asiento	6060
	6009
	6010
	7003
	7004
Barras de reposacabezas	7129
	7129
Refuerzos de paragolpes	6014
	7003
	7004
	7108
	7129
Absorbedores de impactos	6063
	7003
Paragolpes de camiones	5052

1.2.4. Concepción de una carrocería fabricada en aluminio

La construcción de una carrocería de aluminio no consiste en sustituir la chapa de acero por aluminio. El éxito de este proyecto radica en la integración de diferentes aleaciones, fabricados y técnicas de unión para satisfacer las necesidades exigibles a una carrocería autoportante. A este respecto, Audi ha sido pionero en el desarrollo del concepto *Audi Space Frame* (ASF) para la fabricación integral de una carrocería en aluminio.



Debes saber



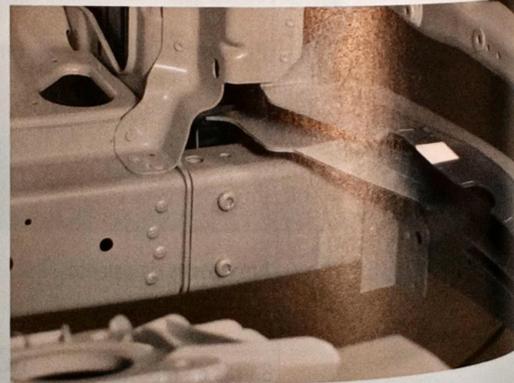
Este tipo de estructura conjuga el empleo de perfiles extrusionados, nudos de fundición inyectada y chapa estampada.

Tipos de fabricados empleados

La estructura del bastidor se forma, principalmente, por perfiles extrusionados rectos y curvados, unidos entre sí mediante unas piezas de fundición inyectada denominadas nudos.

Perfiles extrusionados

Los perfiles extrusionados son los responsables de conformar la célula resistente del vehículo.



Perfil extrusionado

Debes saber



Los perfiles extrusionados se aplican en las zonas expuestas a mayores riesgos de colisión, como largueros, refuerzos interiores del estribo, traviesas, etc. Además, están pensados para que actúen como zonas de deformación programada.

En su fabricación se emplean aleaciones de aluminio-silicio termofraguantes, que permiten extruir los perfiles en un estado de máxima reparabilidad. Una vez realizada la extrusión, son sometidos a un tratamiento térmico a 205 °C durante unos 30 minutos, mejorando sus propiedades mecánicas. Normalmente, se emplean aleaciones de las series 6000 y 7000.

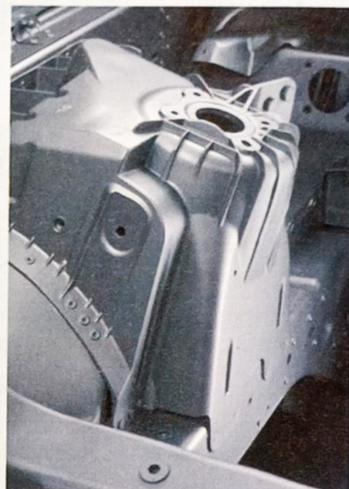
Se aumenta el límite elástico y su resistencia a la tracción, logrando valores que en algunos casos son comparables con los aceros convencionales para estampación profunda.

Nudos de fundición injectada

Son las piezas encargadas de unir entre sí los diferentes perfiles extrusionados, haciendo de nudos para la transmisión de esfuerzos. Suponen una considerable reducción de peso y, a la vez, aportan una notable rigidez al conjunto de la carrocería.

Son piezas de una geometría muy compleja, creadas por fundición a presión bajo vacío. Se caracterizan por aportar una gran resistencia, a la vez que son maleables, presentando también una gran tolerancia a la soldadura y un alto grado de deformabilidad. Se garantiza, de esta forma, un alto nivel de seguridad en caso de impacto.

Algunas de las zonas con nudos de fundición son: largueros delanteros, pilares delantero y central, parte posterior de los largueros traseros, etc.



Nudo de fundición

Recuerda



Los nudos de fundición son las piezas encargadas de unir entre sí los diferentes perfiles extrusionados, haciendo de nudos para la transmisión de esfuerzos.

Chapas estampadas

Se utilizan principalmente materiales termofraguables, por presentar una buena maleabilidad inicial, lo que posibilita el proceso de conformación y unas buenas propiedades mecánicas finales después del tratamiento térmico, a su paso por cabina.

El logro de la mejora de las propiedades específicas del material a través del tratamiento térmico descrito, permite una optimización del peso del vehículo con relación a la resistencia alcanzada.



Chapa termofraguada

Recuerda



Aproximadamente, un 80% de las piezas de la carrocería son estampadas, un 10% nudos de fundición y el otro 10% corresponde a elementos extrusionados.



Aceros de alta resistencia

Por Alberto Garnelo Fernández

Revista CESVIMAP
www.revistacesvimap.com

En los últimos años, una de las novedades más destacables en la construcción de carrocerías es el empleo masivo de aceros de alta resistencia. Estos materiales incrementan considerablemente la *resistencia de estructural* del vehículo, al mismo tiempo que permiten una disminución del peso final del conjunto.

Cuando se habla de aceros de alta resistencia, por regla general nos referimos a aceros que soportan presiones de rotura por encima de los 210 MPa. Sin embargo, aunque se piense que la fabricación de aceros de alta resistencia es una invención de la última década, su desarrollo comenzó a partir de la Primera Guerra Mundial y resurgió con fuerza en los años 70, debido a la crisis del petróleo. Por tanto, estos aceros surgen como una necesidad frente al aumento de peso de los vehículos; paralelamente, elevan la resistencia estructural y el rendimiento en el consumo de combustible, sin menoscabo para la seguridad.

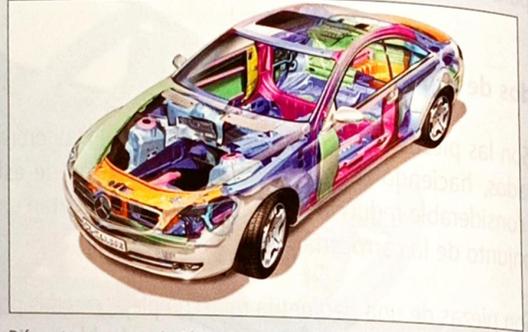
Hoy en día, el incremento de accesorios que facilitan la vida a bordo es una evidencia. A los conocidos elementos de seguridad como airbags o centralitas electrónicas se suman elementos de confort que suponen una interesante oferta comercial, como DVD integrados en los reposacabezas, navegadores de serie, climatizadores, etc. Todo ello se comporta como un lastre, que obliga a los fabricantes a buscar soluciones que aligeren sus vehículos.

Es en este entorno en el que se decide apostar claramente por los aceros ALE (alto límite elástico) con unas propiedades que multiplican las de los aceros convencionales, motivo por el que están siendo empleados, cada vez en mayor medida, por los fabricantes en todo tipo de vehículos.

¿Dónde se sitúan?

La carrocería de un vehículo se puede dividir en tres secciones. Por un lado, se distinguen las secciones delantera y trasera, que deben ser capaces de absorber la mayor cantidad de energía posible en un impacto, de forma que el habitáculo permanezca lo más estable posible. Y por otro lado, está la sección central, una zona de seguridad en la que viajan los ocupantes del vehículo y que es, prácticamente, indeformable.

Mientras que las zonas delantera y trasera cuentan con multitud de elementos que absorben las fuerzas del impacto (traviesas, largueros, refuerzos, etc.), la zona central únicamente se encuentra protegida por el pilar central y el estribo. Es aquí, en la zona central, donde se podrán encontrar algunas de las piezas clave para la protección de los ocupantes. Conviene, entonces, fabricar estas piezas en aceros de alta



Diferentes aceros en la Clase CL, de Mercedes

resistencia, de forma que impidan cualquier posible intrusión de elementos exteriores en el habitáculo del vehículo.

Fabricación y tipos de aceros de alta resistencia

Estos nuevos materiales pueden conseguirse en fabricación de forma sencilla, variando los procesos termomecánicos originales de fabricación del acero o bien incidiendo directamente sobre su composición química.

En cuanto a los sistemas termomecánicos, basta incidir sobre la velocidad de enfriamiento o los ciclos de recocido para influir en sus características finales. Mientras que en la composición química es el carbono el principal actor responsable de la dureza del material final. Variando su concentración, y añadiendo otros materiales como vanadio, magnesio o boro se puede cambiar la resistencia del material original.

Pueden considerarse aceros convencionales aquellos que tienen presiones de ruptura de hasta 210 Mpa. Desde aquí y hasta unos 510 Mpa encontramos aceros de alto límite elástico y, a partir de aquí, y con presiones de hasta 1500-1600 Mpa, se hallan los de muy alto límite elástico.

Comportamiento de los aceros de alta resistencia frente a una reparación

A la hora de trabajar con este tipo de aceros, se deben tener en cuenta una serie de importantes recomendaciones, ya que sus propiedades un tanto especiales condicionarán los procesos de reparación en el taller.

Operaciones de estiraje

Cuando se trate de aceros de muy alta resistencia, como el acero al boro, los trabajos de estiraje estarán muy limitados. Cuando este tipo de acero se deforma como resultado de una colisión, el endurecimiento por trabajo en frío que experimenta lo hace demasiado frágil para poder restaurar su forma original, llegando a aparecer fisuras en dicha operación. El



Aceros en el Volvo XC60



Soldadura por puntos de resistencia en acero ALE



Empleo de plasma para el corte de aceros de alta resistencia

empleo de calor puede evitar esta circunstancia, pero hace que el material pierda sus propiedades mecánicas.

El estiraje debe hacerse en frío. Calentamientos incluso a temperaturas del orden de 400 °C, en este tipo de aceros, harán que puedan perder sus propiedades originales. En los aceros de alto límite elástico, el componente a trabajar necesitará ser estirado más de lo usual.

Repaso de chapa

En las operaciones de repaso de chapa los aceros de alto límite elástico tienen tendencia a quedar cóncavos, hecho a considerar para su conformación mediante tratamientos mecánicos.

En los aceros de muy alto límite elástico, como los aceros al boro y martensíticos, este tipo de trabajos está muy limitado. No es posible su conformación debido a sus elevadas propiedades mecánicas.

Operaciones de corte y desgrapado

Cuando estemos trabajando con aceros de muy altas prestaciones, las operaciones de corte y desgrapado se verán lógicamente dificultadas. Para proceder al corte de estos materiales debemos recurrir al empleo de discos de corte de unos 75 mm de diámetro, no siendo factible realizar el corte con hojas de sierra alternativa.

Para el desgrapado o taladrado de puntos de soldadura existen en el mercado brocas especiales con tres labios de corte y revestimiento de carburo de titanio, pero cuando se trata de aceros al boro su efectividad se encuentra muy limitada, perdiendo sus capacidades de corte al desgrapar unos pocos puntos de soldadura. No son aconsejables las brocas convencionales de aceros rápidos o de cobalto para trabajar con estos aceros.

Una solución, allí donde se pueda, es taladrar el punto por la parte de la pestaña de la pieza de acero más blando, en lugar de sobre el acero al boro directamente. Ello implicará un posterior acondicionamiento de dicha pestaña antes de soldar el recambio nuevo.

Como alternativa eficaz, tanto para el corte como para el desgrapado, existen equipos de plasma que permiten regular la penetración, de forma que podamos cortar la chapa superior sin llegar a dañar la inferior.

Operaciones de soldadura

Normalmente, las operaciones de soldadura MIG/MAG no presentan problemas especiales, dada la pequeña cantidad de elementos aleantes empleados, no siendo por ello sensible a la fisuración en caliente.

En el caso de la soldadura por puntos de resistencia eléctrica, hay que prestar atención a tres aspectos clave:

La **potencia** necesaria para realizar una soldadura correcta en aceros de alta resistencia es de 8.000 amperios, aproximadamente. En estas condiciones, el punto de soldadura presentará una pequeña marca quemada alrededor de él, lo cual implica que la resistencia del metal permanece constante.

La **fuerza de cierre** de los electrodos recomendada es de 300 kg para asegurar una correcta forja del punto. Fuerzas inferiores pueden producir pequeños arcos eléctricos, que podrían dar lugar a la aparición de poros y a una soldadura debilitada.

La **geometría** de la punta de los electrodos es otro tema a tener presente. Es recomendable que presenten una forma plana y no esférica. Con ello, se obtiene una forma plana como en fabricación, evitándose debilitamientos del material.

PARA SABER MÁS

- Área de Carrocería carroceria@cesvimap.com
- Ceviteca, biblioteca multimedia CESVIMAP, www.cesvimap.com
- Reparación de carrocerías de automóviles. CESVIMAP, 2009
- www.revistacesvimap.com

MATERIALES USADOS EN LA FABRICACIÓN DE CARROCERÍAS

Presenta la mejor relación coste/resultado.
Resistencia y rigidez por relación peso/coste razonable.
Alta capacidad de absorción de energía.
Resistencia a la fatiga.
Altamente conformable.
Buena resistencia a la corrosión.
Buena soldabilidad.
Fácil de embutir.
Apto para recibir revestimientos

Aceros empleados en la fabricación de carrocerías

Aceros al boro para embutición

Aceros laminados en caliente

Aceros laminados en frío

Acabado superficial normal

Acabado superficial semibrillante

Aceros de alta resistencia (HSS)

Aceros microaleados o dispersoides (HSLA)

Aceros refosforados

Aceros endurecibles en horno (BH)

Aceros sin intersticiales (IF)

Aceros isótropos (IS)

Aceros de ultraalta resistencia (UHSS)

Aceros de doble fase (DP)

Aceros de fase compleja o multifase (CP)

Aceros por transformación plástica inducida (TRIP)

Aceros al boro (B)

Su peso específico es la tercera parte que el del acero.
Se autoprotege de la corrosión.
Fácilmente reciclable.
Gran capacidad de absorción de energía

Aluminio empleado en la fabricación de carrocerías

Endurecimiento del aluminio

Por deformación

Por adición de elementos aleantes

Aleaciones de aluminio no tratables térmicamente

Serie 3000 (Al-Mn)

Serie 5000 (Al-Mg)

Aplicado en elementos interiores y estructurales: largueros, estribos...

Aleaciones de aluminio tratable térmicamente

Serie 6000 (Al-Mg-Si)

Aplicado en elementos exteriores: aletas, faldones, almas de paragolpes...

Serie 7000 (Al-Zn-Mg; Al-Zn-Mg-Cu)

Almas de paragolpes

Carrocerías de aluminio

Estructura

Perfiles extrusionados

Conforman la célula resistente del vehículo

Nudos de fundición inyectada

Unen los perfiles extrusionados. Se aplican en largueros y pilares

Chapas estampadas

Disminuyen el espesor de la chapa.
Incrementan la rigidez, disminuyendo la deformabilidad de la chapa.
Alto límite elástico