

ACEROS AVANZADOS D'ALTA RESISTENCIA

Por **Pablo García Chao**
Inxenieru i+D ya investigador predoctoral
Universidá de Manchester



*Prototipu d'estructura d'automóvil desendolcada nel contestu del proyeutu ULSAB, nel que participaron 35 fabricantes d'aceru de 18 países y nel que s'emplegaron per primer vegada los aceros avanzaos d'alta resistencia.
Semeya: WorldAutoSteel*

Esti trabayu consiste nun averamientu a los aceros avanzaos d'alta resistencia, desenvolcaos va poco más d'una década col envís de tresformar los automóviles en vehículos más llixeros y seguros. Lloñe de representar namái una posibilidá de futuru, esti tipu de materiales empléguese yá güei de mou mayoritariu nes carrocerías de los coches y ye previsible que s'inxerte n'otros sectores cola mesma fuerca nos años vinientes. D'esta miente, la inversión d'al rodiu de tres millones d'euros anunciada por ArcelorMittal pa entamar a producilos nes sos instalaciones d'Avilés constitúi una oportunidá única p'asegurar la continuidá de la metalurxa asturiana. L'amenaza de territorios más competitivos en costos, como son l'este d'Europa o Asia, obliga a Asturias a seguir los pasos de países punteros como Suecia o Alemaña, onde se va dexando amodo la producción intensiva d'aceru corriente en favor de la fabricación

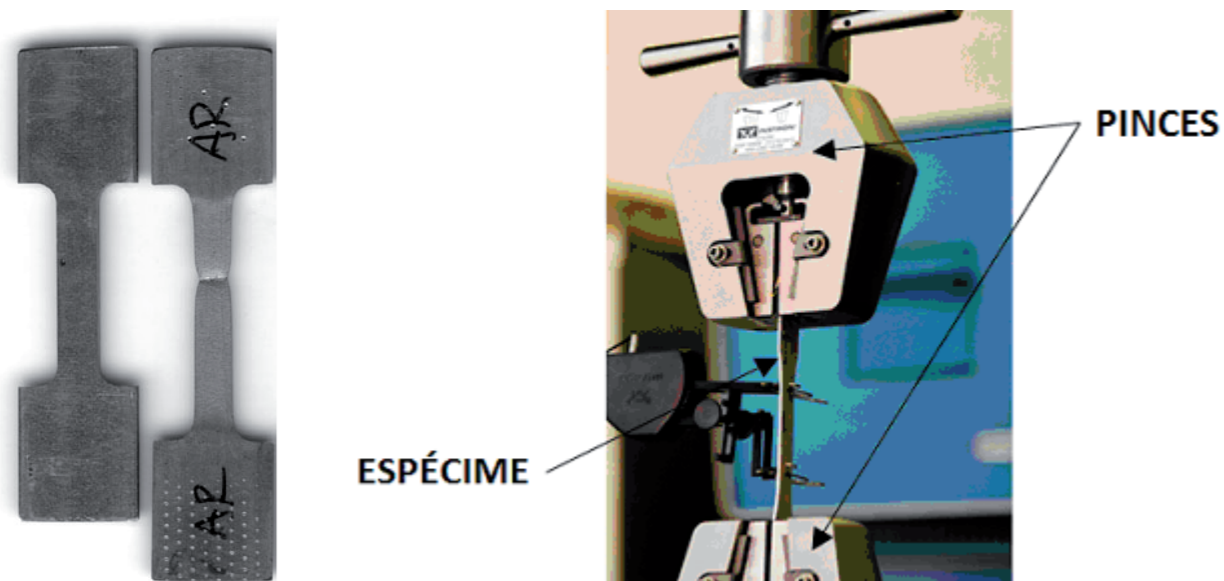
d'aleaciones especiales, qu'apurren un mayor valor amestáu, pero requieren un conocimientu teunolóxicu más avanzáu.

PROPIEDAES MECÁNIQUES DE LOS METALES: L'ENSAYU DE TRACCIÓN

El comportamientu mecánicu d'una aleación metálica carauterízase na industria pente medies del llamáu **ensayu de tracción**, que básicamente tien como oxetivu comprobar cuánto pue allargase una pequeña muestra del metal ensin que ruempa. Enantes d'escomenciar, esti material de prueba, que se denomina **espécime** y tien la forma d'una barra pequeña, gárrase pelos dos extremos con pinces hidráuliques o neumátiques (Fig. 1) Son estes dos pinces les que, al separase ente sí a velocidá constante colos extremos bien suxetos, faen que'l material vaya estirándose hasta qu'acaba por romper y queda dixebráu en dos trozos pela metá.

ABAXO

Figura 1. Espécime enantes y dempués del ensayu de tracción [izquierda] y mientres lu estiren les pinces [derecha]. Semeyes: Pablo García Chao y Northern Michigan University.



El valor de la llende elástica de los materiales ye fundamental cuando se planien estructuras de construcciones o de máquinas, como ye'l casu de les carrocerías de los coches

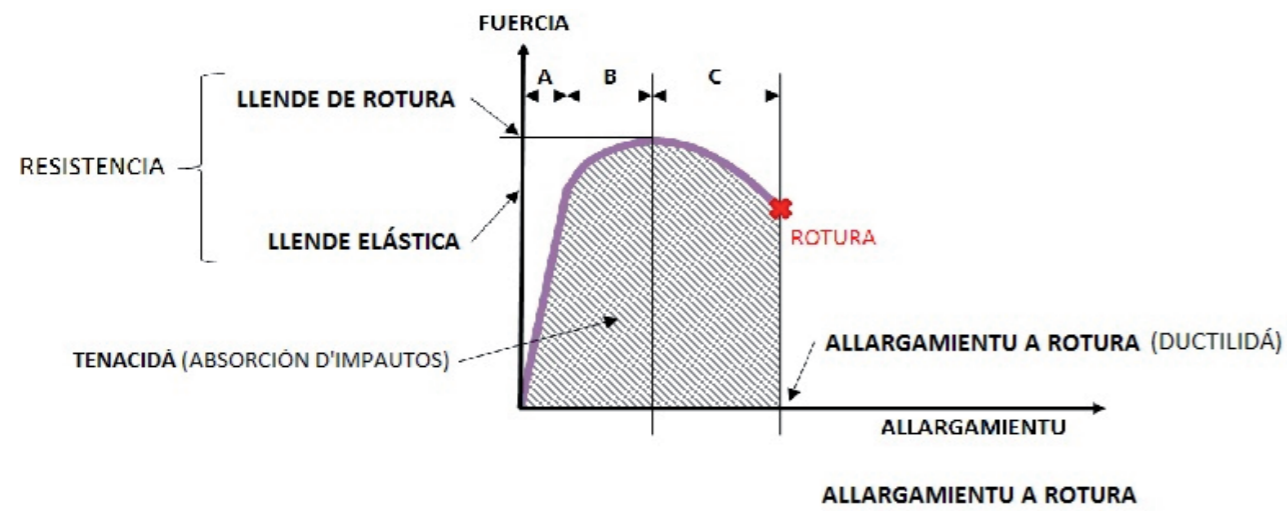
Mentanto que l'ensayu tien llugar, tanto l'allargamientu del espécime como la fuerca preciso pa xeneralu rexístrense de mou instantaneu hasta que se produz la rotura. La representación gráfica ente entrambos pa un metal típico amuése na figura 2 y nella puen estre-mase les mesmes tres faces de comportamien-tu qu'esperimenten los componentes metálicos cuando formen parte de los sistemas reales. Esto ye asina porque l'ensayu de tracción nun fai más que reproducir de manera controlada sobre l'espécime lo que-y asocede a cualesquier pieza metálica que tenga d'aguantar fuerces nuna estructura real.

- La faza A denomáse **faza elástica** y corresponde a los allargamientos más baxos. Equí los allargamientos son entá recuperables, ye dicir, si se dexa de facer la fuerca, l'espécime torna al so llargor orixinal como si fore un muelle. Compruébase nesta faza que la fuerca que tien d'aplicase aumenta cuasi llinialmente col estiramientu'l material.
- Cuando se perpassa un allargamientu determináu, parte del mesmu dexa de ser recuperable, colo que l'espécime nun recupera yá'l so llargor inicial, sinón que queda permanentemente allargáu. La faza na que tien esto llugar ye la **faza B** o **faza plástica** y nella l'augmentu de la fuerca cola deformación dexa de ser llinial y amenorga en comparanza col de la elástica.
- Finalmente, la **faza C** ye la **faza de rotura**,

que s'anicia nel momentu nel que l'espécime entama a perder espesor per un puntu situáu a metá del so llargor. Dende que s'entra nella, l'espesor nesi puntu amenorga pasu ente pasu hasta que l'espécime acaba rompiendo perhí. Como un material ye siempre más débil cuanto más endelgazao tea, la fuerca necesario pa seguir allargándolo mengua dende que s'entra nesta faza hasta la rotura final.

Acordies colo anterior, nel comportamientu de los componentes metálicos hai un primer rangu de magnitú de fuerces pa les que, aunque se deformen, los componentes recuperen la so xeometría orixinal cuando la carga dexa d'aplicase. Pela cueta, hai otu rangu de fuerces más altes pa les que les deformaciones son yá permanentes. El llímite ente les dos faces llámase **llende elástica** y representa la fuerca qu'un material pue resistir ensin deformase. Pa que'l valor seya representativu de l'aleación, el valor midíu nel gráficu del ensayu tien de dividise ente l'espesor del espécime, de mou que la llende elástica de l'aleación seya la mesma cualquiera que fore l'espesor emplegáu nel ensayu.

El valor d'esta llende elástica de los materiales ye fundamental cuando se planien estructuras de construcciones o de máquinas, como por exemplu les carrocerías de los coches. Nestos casos ye'l llabor de los diseñadores asegurase de qu'en nengún casu los componentes van tener deformaciones permanentes, esto ye, de que les

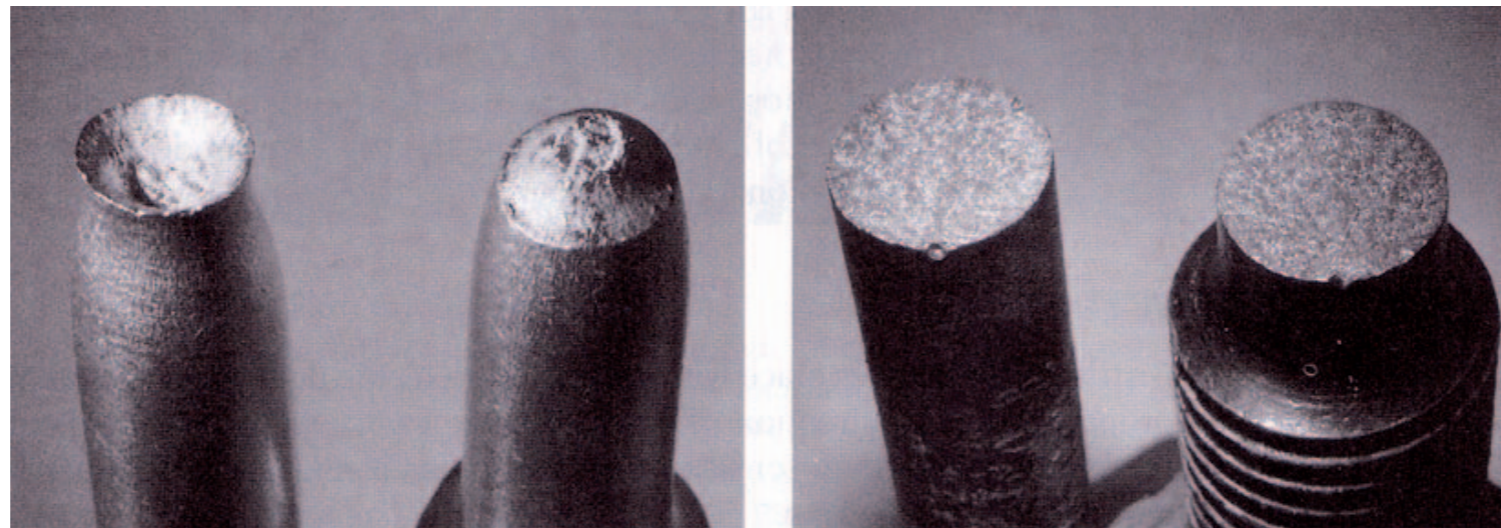


ARRIBA

Figura 2. Curva fuerza-allargamiento típica d'una aleación metálica, coles principales propiedaes mecániques representaes sobre ella. Imaxe: Pablo García Chao.

fuercies que van tener de soportar na estructura nun pasarán enxamás de la llende elástica de l'aleación na que se fabricaron. Esta ye la manera de garantizar la seguridad y la estabilidad de tol sistema na función pa la que se conciere y, polo tanto, son preferibles en xeneral llendes elásticas mayores, que faigan que los componentes aguanten fuercies más altes ensin qu'apaezan deformaciones non recuperables. Ye por esto que les aleaciones con llendes elásticas más altes considérense davezu na industria como «de mayor calidad», ye decir, «más resistentes».

Sicasí, l'usu final de los materiales siderúrxicos como parte de construcciones y máquinas nun ye la so única aplicación. Con frecuencia –pa da-yos la forma de componentes determinaos– les aleaciones tienen de pasar per procesos de fabricación intermedios. En munchos d'ellos, los denomaos como procesos de conformáu, esa xeometría algámase precisamente



ARRIBA

Figura 3. Exemplu de barra de material dúctil (izquierda) y de material frágil (derecha) después de la rotura nel ensayu de tracción. Semeya: Springer Handbook of Mechanical Engineering.

deformando'l material per aciu d'una presión, ye decir, haciendo una fuerza sobre él. Un exemplu ye la estampación, el procesu más común y tradicional pa fabricar piezas pa les carrocerías d'automóviles. Néi, una prensa fai presión sobre una chapla orixinalmente plana pa que s'adaute a la xeometría d'un moldu tridimensional, que pue tener por exemplu la forma del capó o de la puerta d'un vehículu. Al contrariu qu'enantes, pa estos procesos les llendes elásticas baxes son beneficioses, porque faen que seya más reducida la presión qu'hai que facer pa que la chapla nun recupere la xeometría plana en cuantes se saca de la prensa. Les aleaciones con estes carauterístiques puen trabayase d'esta miente más fácilmente y suel llamáseles aleaciones «blandes».

Na curva fuerza-allargamiento del ensayu de tracción viose cómo'l colapsu del espécime escomenciaba nel puntu onde la fuerza yera máximu. El valor de la mesma llámase **llende de rotura** y entiéndese como la capacidá d'un material pa resistir fuerza ensin entamar a romper y, poro, quedar inservible. Como la llende elástica, esta propiedá espresase dividiendo la midida estrayida del ensayu ente l'espesor utilizáu, porque como yá se comentare la mesma aleación aguanta más fuerza cuanto mayor seya l'espesor del componente. Aparte, l'estiramiento nel puntu nel que l'espécime ruempe conózese como **allargamiento a rotura**, y amuesa cuánto ye capaz d'estirase un metal ensin que-y apuerte'l fallu.

Como la llende elástica, estes dos propiedaes son básiques pa definir la manera de comportarse d'una aleación. Per un llau, la llende de rotura ye otra midida de la resistencia d'un material, esta vegada non hasta que se deforma permanentemente sinón hasta qu'entama a romper. Pel otru, los materiales con alargamientos a rotura altsos son materiales «dúctiles», y ye evidente qu'interesen nos procesos de conformáu cola finalidá de ser pa da-yos a los productos xeométrics más alloñaes de la inicial ensin que ruempan pel camín. No que cinca a la so vida útil nes estructures, estes aleaciones son tamién más recomendables, darréu que los materiales que pela cueta son fráxiles fallen ensin avisu previu: en cuantes se supera la so llende elástica, namái sufren pequeñes deformaciones hasta colapsar dafechu.

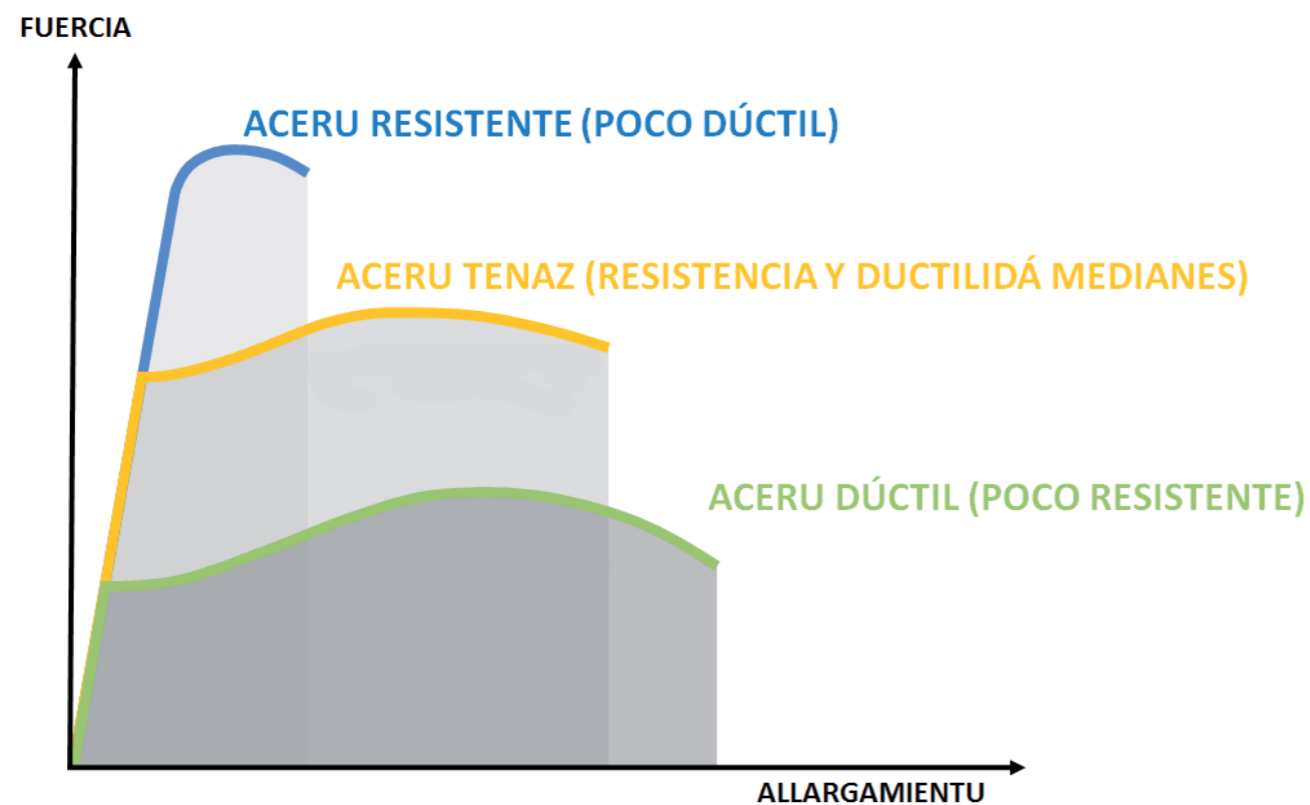
Esto último pue entendese fácilmente con una güeyada al espécime a lo cabero del ensayu de tracción. Nel casu d'una aleación dúctil, el material endelgaza claramente na zona C del gráficu enantes de romper, como se ve na figura

3, mientras que'l fráxil nun amuesa nenguna reducción perceptible nel so espesor. Al reproducise esti comportamientu nes estructures reales, la deformación visible de los materiales dúctiles ayuda a vulgar el so riesgu de rotura en casu de problemes.

P'acabar, l'otru resultáu relevante del diagrama fuercia-allargamientu ye l'área zarrada so la curva. Esta superficie equival a la enerxía por unidá de volume que, deformándose, ye p'absorber el metal enantes de romper. Esta propiedá, conocida como **tenacidá**, aprovéchase por exemplu p'ameyorar el comportamientu énte choque de los vehículos. Les carrocerías fabricaes en materiales más tenaces absorben más enerxía en casu d'impautu, amenorgando la deceleración qu'esperimenten los pasaxeros y amenorgando asina'l so riesgu de lesiones y mancatures n'accidentes.

DESENDOLCU DE LOS ACEROS AVANZAOS D'ALTA RESISTENCIA

La estaya de l'automoción carauterízase pol so papel determinante nel desendolcu de nueves soluciones teunolóxiques, que llueu son adoptaes adulces pol restu la industria. Destacáu: El sector de l'automoción tien un papel determinante nel desendolcu de nueves soluciones teunolóxiques, adoptaes llueu lentamente pol restu la industria. Nel casu de los aceros avanzaos d'alta resistencia, el so desendolcu tuvo orixe nel proyeutu d'anovación ULSAB (Carrocería d'Automóvil n'Aceru Ultrallixero n'inglés), lideráu por inxenieros de Porsche ente los años 1994 y 1998 y nel que participó un consorciu de trenta y cinco fabricantes d'aceru de dieciocho países. Esti grupu incluyía los aceristes más destacaos a nivel mundial, ente ellos l'Aceralia S.A. d'aquel tiempu. Con un presupuestu de 28



El sector de l'automoción tien un papel determinante nel desendolcu de nueves soluciones teunolóxiques, adoptaes llueu lentamente pol restu la industria

millones de dólares, el finxu del proyeutu yera algamar una carrocería con unes carauterístiques que permitieren a la industria encarar los sos principales retos de futuru.

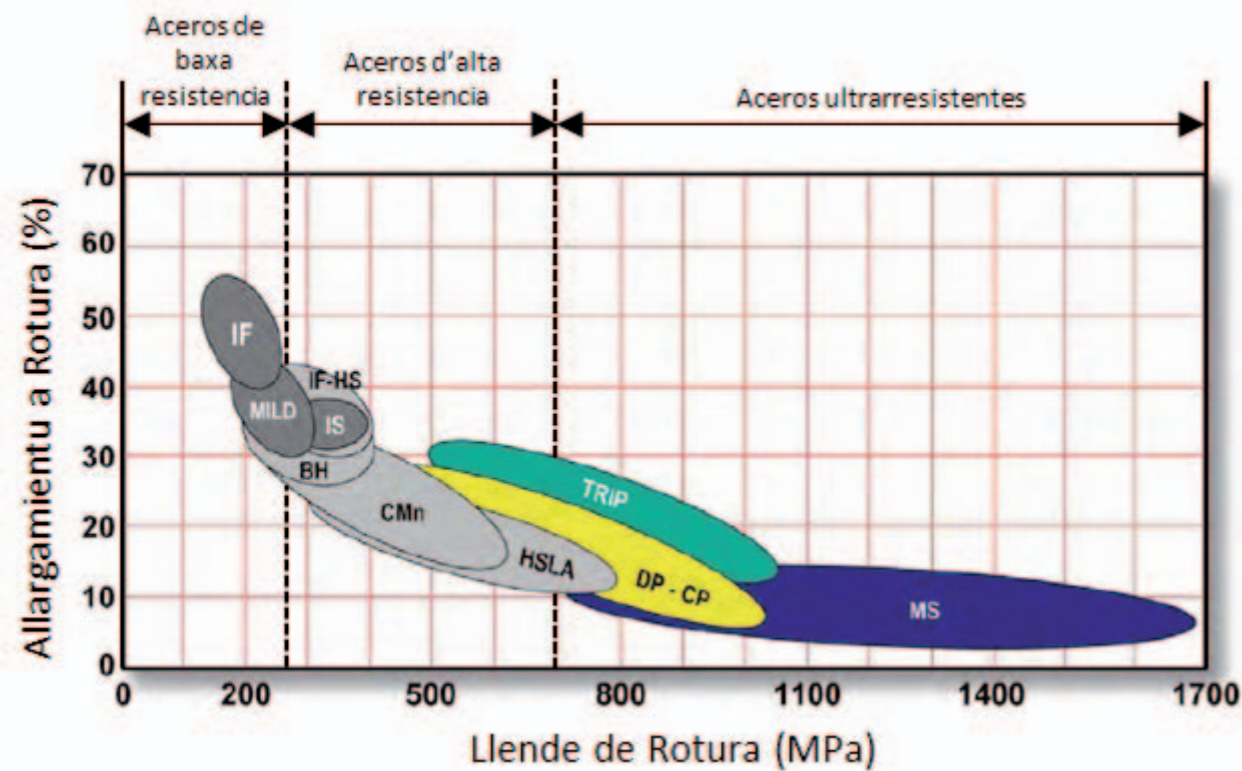
El primeru d'ellos yera la creciente xuba de los precios de los combustibles fósiles, que xunto a una llexislación n'emisiones de gases d'efeutu ivernaderu cada vegada más restrictiva facía imprescindible una reducción nel pesu de los vehículos que menguare'l so consumu de combustible. Al empar, la mayor severidá nes pruebes de choque que los coches teníen de pasar requería un ameyoramientu de la so capacidá d'absorción d'impautos. Amás, nun sector enforma competitivu como'l del automóvil, too esto yera necesariu ensin que les soluciones aumentaren el costu los vehículos, y de mou que pudieren llevase a la práutica colos medios de producción en serie existentes, ye dicir, que los componentes habíen siguir pudiendo fabricase per aciu de los procesos de conformáu que taben usándose nesi momentu, lo mesmo qu'axuntase colos d'ensamblaxe.

Hasta'l desendolcu del proyeutu ULSAB, les propiedaes de los aceros sigüen la tendencia que s'amuesa na figura 4. Per un llau, había aleaciones que yeren abondo dúctiles y, poro, mui bones pa la fabricación de les pieces, porque con elles podíen facese componentes de chapla pa les carrocerías que foren complexos. Per otru, había aceros que teníen alta resistencia (aceros HSLA) y yeren bonos p'aguantar les fuerces ensin deformase cuando los componentes taben en funcionamientu, pero les xeometrías que yera posible consiguir con ellos taben perllimitaes al ser fráxiles. A mediu camín ente les dos taben los más tenaces, los más afayadizos pa los choques, pero que nun yeren nin mui resistentes nin mui dúctiles.

IZQUIERDA

Figura 4. Curves fuercia-allargamientu típiques de los aceros tradicionales.

Imaxe: Pablo García Chao.



ARRIBA

Figura 5. Ductilidad (alargamiento a rotura) y resistencia (límite de rotura) de los aceros tradicionales (blanco y negro) y de los aceros avanzaos d'alta resistencia (color). Imaxe: World Steel Association.

EL PROYEUTU ULSAB

El desendolcu col proyeutu ULSAB de los **aceros avanzaos d'alta resistencia** permitió vencer estas restricciones nes propiedaes de los aceros. Concretamente, como amuesa la figura 5, las aleaciones d'esti grupu son o bien más dúctiles a igual límite elástico que los aceros tradicionales (tipos DP y TRIP) o bien más resistentes a igual alargamiento a rotura qu'aquellos (tipos CP y MS).

En primer llugar, l'incrementu na ductilidad fixo que les piezas de la carrocería qu'enantes tenían que se fabricar n'aceros poco resistentes

porque los d'alta resistencia nun yeren dúctiles abondo pudieren facese n'aceros con límites elásticos y de rotura elevaes (tipos DP y TRIP). En segundu llugar, la mayor resistencia algamada posibilitó que los componentes pa los que la fabricación nun requería muncha ductilidad foren inda más resistentes (tipos CP y MS). D'esti mou, como d'estos dos maneras pudieron usarse materiales de mayores límites elásticos y de rotura nos diferentes componentes, pudo reducirse l'espesor de toos ellos ensin qu'amenorgare la resistencia de la estructura, y con ello menguase'l

pesu global de la mesma. Amás, l'incrementu na ductilidad que s'algamó principalmente colos DP y TRIP fixo que la tenacidá aumentare enforma en comparanza cola de los aceros d'alta resistencia convencionales, lo qu'ameyoró abondo'l comportamientu énte choque de los componentes.

Con tolo anterior, el resultáu del proyeutu ULSAB foi una carrocería constituyida por 94 piezas principales, les más fabricaes por estampación, y un 25% más llixera que la media de les de los coches d'aquel tiempu. La mengua consecuente nes emisiones de gases d'efeutu ivernaderu estimóse superior al 10% y la estruc-

tura foi a superar pruebas d'impautu entá más severes que les afitae nel finxu'l proyeutu. Esto llogróse ensin que'l so costu final fore superior al de los vehículos comerciales d'aquel momentu, lo que yera tamién condición imprescindible. Inda más, l'análisis económicu detectó potencial claru d'aforru col emplegu de les nuevas aleaciones. Anque'l costu de la so producción por quilogramu ye mayor que'l de los aceros tradicionales, la reducción nel espesor y, poro, nel pesu de los componentes fai que munches vegaes estos materiales resulten más económicos.

Como exemplu del beneficiu apurríu por estos aceros al llevase al mercáu, el Porsche Cayenne que se llanzó nel añu 2002 utilizándolos yá tenía un conteníu n'aceru d'alta resistencia d'un 64%, enforma mayor que'l 33% del Porsche Boxster de 1996, que llóxicamente incluyía solo aceros d'alta resistencia tradicionales. La siguiente versión del

ABAXO

Figura 6. Componentes de la estructura del Porsche Cayenne 2010 por tipu de material.

Imaxe: Porsche AG.



Estímase que güei, de mou global, un 30-40% de los automóviles ta fechu n'aceros avanzaos d'alta resistencia

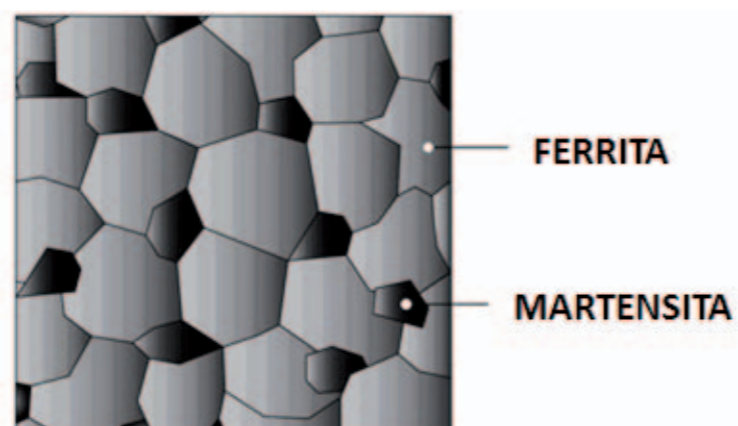
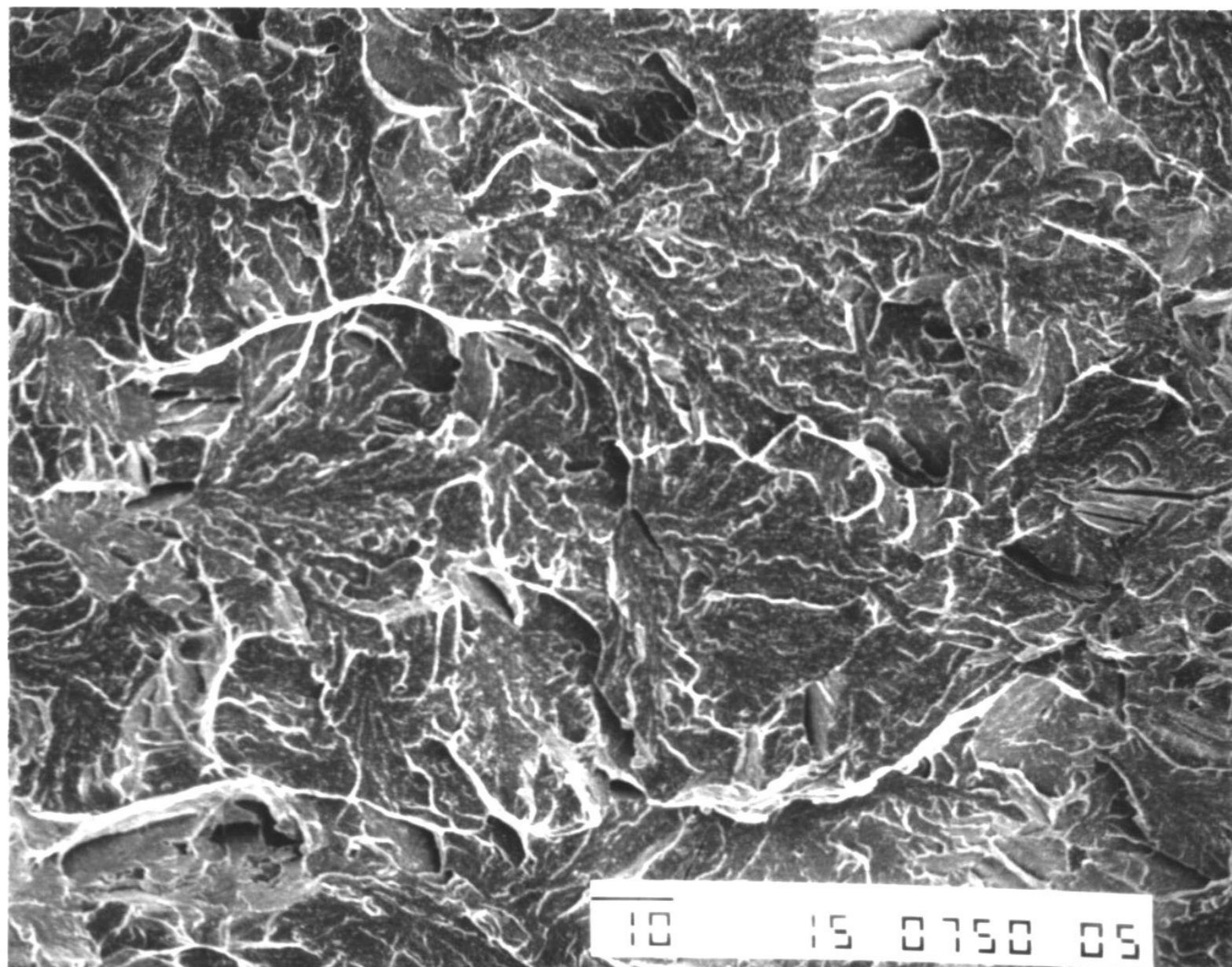
modelu, entamada en 2010, incorporó más avances nesti sen y Porsche foi p'amenorgar nun 10% más el pesu total del vehículu, magar qu'incluyía cerca d'un 4% más de pesu correspondiente a nueves carauterístiques (Fig. 6).

Por embargu, güei los aceros avanzaos d'alta resistencia nun son parte solamente de los vehículos de Porsche, sinón que s'utilicen yá de mou estándar en toles marques d'automóvil. Otru exemplu paradigmáticu ye'l del Honda Civic, nel que la cantidá d'aceru d'alta resistencia pasó de menos del 10% en 1996 hasta prácticamente la metá en 2006. Esto fixo que, pa un tamañu un 4% mayor, el so pesu se reduxere cuasi un 9%, pasando dende'l puntu de vista de la seguranza de tener cuatro estrelles na prueba NCAP d'impautu frontal y tres na d'impautu llateral a la máxima calificación de cinco en dambes dos.

Anguaño, con tolos avances desendolcaos dende la fin del proyeutu ULSAB, estímase que de mou global un 30-40% de los automóviles ta fechu n'aceros avanzaos d'alta resistencia, coles mesmes fontes camentando que nos próximos años esti númberu puea vese incrementáu hasta alrededor del 40-50%. L'avance sedrá más rápidu conforme más se vayan desendolcando nueves aleaciones d'esti grupu y conforme más se vayan adautando los procesos de fabricación y xuntura de los componentes de les carrocerías a les sos carauterístiques, que son bien estremaes de les que teníen les aleaciones tradicionales.

DERECHA

Figura 8. Observación microscópica de la microestructura d'un aceru martensítico, onde se ve la martensita en color negro y la ferrita en color blanco.
Semeya: Centro Richerche Brasimone.



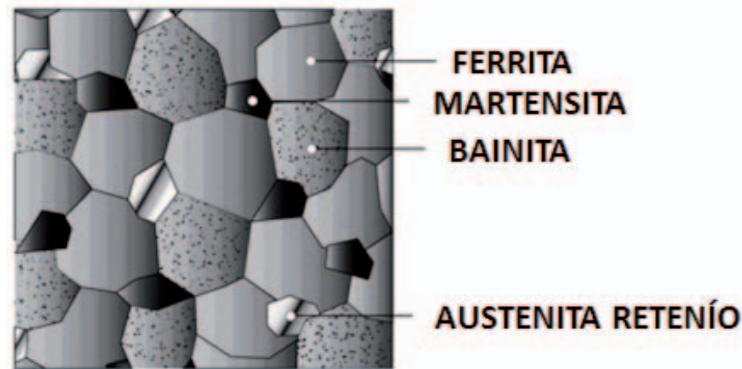
ARRIBA

Figura 7. Representación esquemática de la microestructura d'un aceru dual.
Imaxe: World Steel Association.

TIPOS D'ACEROS AVANZAOS D'ALTA RESISTENCIA

El fierro puro apenes s'emplega industrialmente porque ye mui blandio. D'esti mou, trabayalo ye perfácil, pero tien tan poca resistencia que nun sedría p'aguantar fuerces como les que tienen de soportar les estructures de máquines y construcciones. Ye por eso que, pa da-y más resistencia, el fierro xúntase col carbonu dando llugar a los aceros, que son los materiales estructurales más comúnmente usaos, xustamente pol so balance de ductilidá y resistencia.

En sentíu xeneral, los aceros defínense como xuntances de fierro y carbonu nes que la masa del carbonu nun supera'l 2,1% del total. Na microestructura de los mesmos, estos dos elementos puen combinase ente sí de delles maneres distintes, que se denomen fases y tienen propiedaes perestremaes de ductilidá y resistencia. Polo tanto, ye la cantidá de caúno na microestructura d'una aleación lo que determina les propiedaes globales d'esta.



ARRIBA

Figura 9. Representación esquemática de la microestructura d'un aceru TRIP.

Imaxe: World Steel Association.

Esta división en fases de la microestructura d'un aceru depende de cómo se desendolque'l procesu d'enfriamientu del aceru fundío y caleció que sal del altu fornu. La primer fase importante na que solidifica l'aceru llíquido al dir enfriando ye l'**austenita**, que namái ye estable a altes temperatures. Poro, termina por convertise del too n'otres a medida que la colada baxa de temperatura. En concreto, si la velocidá del enfriamientu ye enforma lenta, tresfórmase en dos fases que, en cantidaes variables, son les que tán presentes finalmente na aleación a la temperatura ambiente, la del so usu normal.

- La primera d'elles ye la **ferrita**, que por tener propiedaes magnétiques ye, por exemplu, el material no que se faen los imanes. La so estructura ye tala que nun pue contener muncha cantidá de carbonu y, por eso, les sos propiedaes recuerden a les del fierro puro, ye decir, ye dúctil y blandio.

- La segunda ye la **cementita**, un compuestu químicu formáu por una cantidá de carbonu más alta, que pela cueta ye fráxil y resistente.

Puesto que pa fabricar los aceros tradicionales usábense siempres velocidaes d'enfriamientu lentes, la forma qu'había de xugar coles sos propiedaes yera xubir o baxar la proporción de carbonu nel conxuntu. Cuanto menos carbonu había con respeto de fierro, más austenita se tresformaba en ferrita y menos en cementita, y esto daba llugar a aleaciones con propiedaes más paecies a les de la ferrita, ye decir, dúctiles y blandies. Según s'incluyía más carbonu, la proporción de cementita yera más alta y, con ella, tamién la resistencia y la fraxilidá. Ye asina como s'espliquen les diferencies nes curves de la figura 4, tornándose los aceros tradicionales en más resistentes y fráxiles cuanto mayor ye la proporción de carbonu na so composición.

Sicasí, si l'enfriamientu se desendolca d'un mou más bruscu, l'austenita puede convertise n'otres fases amás d'en ferrita y cementita. Por exemplu, con enfriamientos perrápidos, a temperatura ambiente la ferrita apaex xunto cola **martensita**, que ye estremadamente duro y fráxil. Surden d'esta miente los **aceros de fase dual (DP)**, que se denomen asina pola combinación d'estes dos fases que s'atopa na so microestructura (Fig. 7). La ferrita forma un matriz continuu dúctil, nel que se concentra l'estiramientu del material cuando se deforma y nel qu'hai espardíes pequeñes isles de martensita, que son les qu'aumenten la resistencia del material a igualdá d'allargamientu de rotura colos aceros d'alta resistencia tradicionales.

Cuanto más rápidu ye l'enfriamientu, mayor

ye la proporción de martensita na microestructura final, y menor polo tanto la de la ferrita. Llega un momentu nel que la primera d'elles faise mayoritaria sobre la segunda, y ye asina como apaecen los **aceros martensíticos (MS)** (Fig. 8). Poles carauterístiques del so matriz de martensita, estos aceros tienen resistencies mayores que les de los tradicionales, pero tamién se carautericen pola so fraxilidá. Sicasí, la presencia de ferrita fai que la ductilidá seya bastante pa poder da-yos forma per mediu de procesos de conformáu ensin que rumpen. Como exemplu del ameyoramientu en resistencia algamáu colos aceros avanzaos, cuando con aceros tradicionales difícilmente se puen tener llendes de rotura de 800 MPa, anguaño'l máximu que ye posible alcontrar nun aceru comercial ye yá de 1700 MPa, correspondientes al *Docol®1500 M* del acerista suecu Swedish Steel AB.

Un tipu especial d'aceros avanzaos d'alta resistencia constitúinlu los **aceros de plasticidá inducida pola tresformación (TRIP)**, que son los desendolcaos va menos tiempu. Carauterícense por tener les mayores ductilidaes, que s'espliquen pola esistencia d'austenita na so microestructura a temperatura ambiente (Fig. 9). Como de mou natural esta fase nun ye estable per debaxo de 723°C, parte de l'austenita tien que se retener artificialmente pa que nun llegue a tresformase mentando que la colada enfría. Esto consíguese amestando otros elementos como'l manganesu o'l níquel a xuntances que tengan de por sí conteníos altos en carbonu.

La ventaya d'esta **austenita retenida** ye que, de la que se va deformando'l

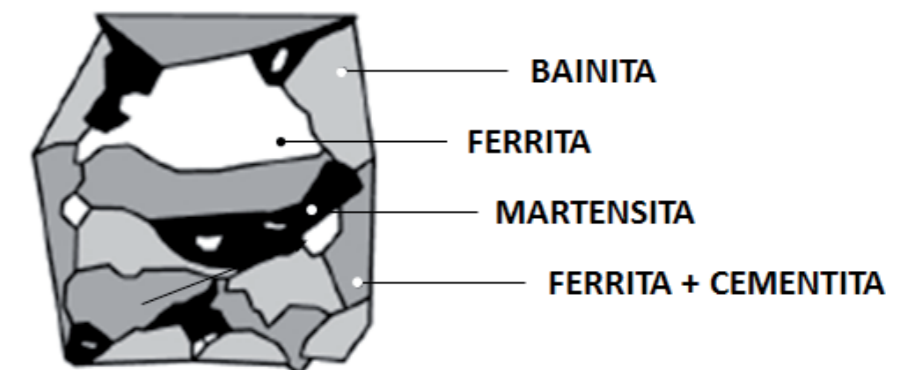
material, va convirtiéndose en martensita. Esto resulta en que'l material aguanta allargamientos más altos y, poro, tien una capacidá d'absorción d'impautos ameyorada con respeto a la de los aceros de fase dual. Aparte l'austenita, na microestructura del aceru TRIP ensin deformar hai tamién pequeñes cantidaes de martensita nun matriz que ye ferríticu. La desventaya que tienen estos aceros ye la relativa falta d'homoxeneidá nes sos propiedaes, que paecen variar abondo coles condiciones de producción y de vida útil de l'aleación.

A lo cabero, los **aceros de fase complexa (CP)** son los menos habituales y deben el so nome a les numberoses fases que los componen (Fig. 10). Aparte de ferrita y martensita, cunten con austenita retenida, cementita y **bainita**, que ye una fase que se forma con velocidaes d'enfriamientu non tan altes como les que dan llugar a la martensita y, por eso, nun ye tan duro como aquello.

ABAXO

Figura 10. Representación esquemática de la microestructura d'un aceru de fase complexa.

Imaxe: ArcelorMittal.



OTRES APLICACIONES DE LOS ACEROS D'ALTA RESISTENCIA

L'allixeramientu llográu na automoción polos aceros d'alta resistencia pue ser tamién beneficiosu n'otres aplicaciones qu'impliquen **movimientu**, darréu que mover menos pesu traduzse siempre nun aforru d'enerxía. Un exemplu ye'l casu de Pac Global, una compañía suiza que consiguió reducir asina'l consumu de les máquinas de llimpieza de botelles que produz. En concreto, pal so últimu prototipu, fabricar les pinces que tiren poles botelles n'aceru d'alta resistencia reduxo'l pesu de caúna de los 40 quilos que pesaben na versión anterior a namái 17 (Fig. 11). Esta mengua nun contribuyó solo a reducir el gastu de funcionamientu de la máquina, sinón que fixo tamién que'l preciu unitariu del componente fore más baxu.

Per otru llau, anque les estructures de **la estaya de la construcción** seyan estátiques, l'alta resistencia tamién tien ventayes pa esti sector. L'allixeramientu ye equí igualmente beneficiosu, porque una de les cargues que tien de resistir la estructura nel so conxuntu ye'l so propiu pesu. Asina, l'alta resistencia amenorga les fuerces a soportar polos componentes, que pueden tener entavía menor espesor y, poro, ser entá más económicos.

La mengua nel pesu afeuta de la mesma manera a les partes de la construcción situaes más per debaxo, que nun son otres que la so cimentación y el suelu nel que ta afitada. Si la construcción ye más llixera, les esixencies de cimentación son menores y el suelu nun tien necesidá d'una capacidá portante tan alta. Asina, puede pasar a construyise la mesma estructura en terrenos que d'otru mou nun sedríen pa tener por ella con seguridad. Amás, tien de tenese en cuenta que la llixereza de los componentes fai

más cenciellu tanto'l so tresporte como la so instalación na obra.

Aparte, l'emplegu de los aceros d'alta resistencia tien ventayes mui específiques pal **procesu de perfiláu**, que como la estampación ye un procesu de conformáu nel que se parte d'una chapla plana. Anguaño, estímase qu'alredor del 8% de la producción mundial d'aceru se tresforma en productos finales per aciú d'esti procesu. Dalgunos exemplos son les defenses llaterales de les autopistes, paneles y pieces estructurales pa la construcción o delles pieces d'automóviles, como les defenses de les coches o los marcos de les ventanes.

El principal problema del perfiláu, qu'económicamente ye tan relevante, ye l'apaición de defectos como'l **torcimientu** que s'amuesa na figura 12, que fai que'l productu salga del procesu retorcíu en vez de rectu. La causa del mesmu son delles deformaciones non deseaes producíes pola propia fabricación, que queden de mou permanente nel productu. Como los aceros d'alta resistencia tienen una llende elástica más alta, la cantidá d'estes deformaciones que queden nel productu final ye menor con ellos y asina se reduz la magnitud del defectu. D'esti mou pueden algamase ameyoramientos drásticos como'l que se ve nel casu de la figura, nel que l'usu d'un aceru martensítico amenorgó'l torcimientu a menos d'un 10%



La producción d'aceros avanzaos d'alta resistencia pue ser una oportunidá única pa reforciar el sector metalúrxicu asturianu

del so valor orixinal, medíu cuando s'utilizaba un aceru corriente de baxa resistencia.

D'esti mou les ventayes de los aceros d'alta resistencia nun se circunscriben namái a los importantes aforros que trai l'allixeramientu de los componentes ensin que pierdan resistencia o tenacidá, sinón que tamién puen facilitar los sos procesos de fabricación.

Too esto fai que seya previsible un rápidu avance nes diferentes estayes de la industria nos próximos años y que, de resultes, la so producción constituya una oportunidá única pa reforciar el sector metalúrxicu asturianu, nun contestu nel que los países con mano d'obra más barato torguen cada vegada más la competencia nel segmentu de los aceros tradicionales o de menor calidá.

////////////////////

ABAXO IZQUIERDA

Figura 11. Pinces fabricaes n'aceru d'alta resistencia pa la máquina de llimpieza de botelles de Pac Global. Semeya: Swedish Steel AB.

////////////////////

ABAXO DERECHA

Figura 12. Torcimientu d'un perfil en Z fabricáu por perfiláu nun aceru de baxa resistencia (izquierda, 18,7‰) y nun aceru martensítico d'alta resistencia (derecha, 1,8‰).

Imaxe: Pablo García Chao.

