



# LA SOLUCIÓN FERRÍTICA

PROPIEDADES | VENTAJAS | APLICACIONES



LA GUÍA ESENCIAL PARA LOS ACEROS INOXIDABLES FERRÍTICOS



## **International Stainless Steel Forum (ISSF)**

Fundado en 1996, el International Stainless Steel Forum (ISSF) es una organización sin ánimo de lucro dedicada a la investigación en lo relativo a la industria internacional del acero inoxidable. Si bien cuenta con su propia Junta Directiva, presupuestos y Secretario General, el ISSF forma parte del International Iron and Steel Institute (IISI). Actualmente el ISSF está formado por 67 empresas y miembros afiliados de 24 países, responsables de alrededor del 85% de la producción mundial de acero inoxidable. En la página web del ISSF ([www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)) puede encontrar una lista completa de sus miembros.

# Índice

<b>RESUMEN: “LA SOLUCIÓN FERRÍTICA” BY JEAN-YVES GILET</b>	<b>5</b>
<b>PREFACIO: “UN ACERO CUYO MOMENTO ESTÁ POR LLEGAR”</b>	<b>6</b>
<b>QUÉ SE DICE DE LOS FERRÍTICOS</b>	<b>9</b>
<b>LOS “INCREÍBLES ACEROS FERRÍTICOS”</b>	<b>13</b>
<b>PROPIEDADES DE RESISTENCIA A LA CORROSIÓN</b>	<b>21</b>
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS</b>	<b>27</b>
<b>CONFORMACIÓN DE LOS FERRÍTICOS</b>	<b>31</b>
<b>UNIONES CON LOS TIPOS FERRÍTICOS</b>	<b>37</b>
<b>PRODUCTOS Y APLICACIONES</b>	<b>45</b>
<b>APÉNDICES:</b>	
<b>LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEROS INOXIDABLES FERRÍTICOS</b>	<b>59</b>
<b>ACABADOS SUPERFICIALES</b>	<b>63</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>64</b>
<b>MIEMBROS DEL ISSF</b>	<b>66</b>
<b>RECONOCIMIENTOS</b>	<b>67</b>



PUENTE SOBRE AUTOPISTA CON  
ESTRUCTURA DE ACERO INOXIDABLE  
FERRÍTICO PINTADO. DURBAN (SUDÁFRICA).

# Resumen

## “LA SOLUCIÓN FERRÍTICA”

POR JEAN-YVES GILET, PRESIDENTE DEL COMITÉ PARA EL DESARROLLO DEL MERCADO DEL ISSF

El ISSF discutió por primera vez un proyecto para promocionar los tipos ferríticos en febrero de 2004, después de que un gran número de miembros señalaran que la industria no estaba efectuando ningún esfuerzo conjunto en esta dirección.

Bajo la guía del Comité para el Desarrollo del Mercado, un grupo internacional de expertos, dirigido por Philippe Richard, comenzó a recopilar estadísticas sobre las aplicaciones y los ferríticos. Recibieron contribuciones de todo el mundo, especialmente de Japón, donde el mercado de los ferríticos está muy desarrollado.

Al poco tiempo la ICDA propuso participar en la iniciativa y cofundar el proyecto, lo cual se aceptó con gran satisfacción como ejemplo de la cooperación entre organizaciones empresariales internacionales.

Durante la puesta en marcha del proyecto, el precio del níquel se disparó y el interés por los tipos de precio más estable experimentó un drástico aumento. Ahora me enorgullezco de presentarles los resultados, que saldrán al mercado justo en el momento preciso.

Creo firmemente que el uso de los aceros inoxidables ferríticos puede y debe estar mucho más extendido. El propósito de esta publicación es favorecer un uso más amplio de estos tipos.

Los aceros inoxidables son “inoxidable” porque su contenido en cromo les proporciona una resistencia extraordinaria a la corrosión. Los ferríticos, que sólo contienen cromo y posiblemente otros elementos (Mo, Ti, Nb, etc.), no son una excepción. Los ferríticos estándar 409, 410 y 430 están disponibles en todo el mundo. Muy utilizados en importantes aplicaciones, tales como tambores de lavadoras y sistemas de escape, en realidad su potencial de aplicación es mucho más amplio y en un gran número de campos.

Los ferríticos desarrollados más recientemente, como el 439 y el 441, satisfacen una gama de requisitos todavía más amplia. Pueden conformarse para adoptar formas más complejas y unirse mediante los métodos de unión convencionales, incluyendo la soldadura. Gracias a la adición

de molibdeno, la resistencia a la corrosión localizada del 444 es, al menos, igual a la del tipo austenítico 316.

Puesto que los ferríticos no contienen níquel, su coste es menor y más estable que el de los austeníticos. Por lo tanto, pueden:

- complementar al tipo 304 (si bien el 304 sigue siendo un tipo muy versátil y de uso generalizado);
- ser una alternativa a la serie 200 (ofreciendo en términos generales unas mejores propiedades de uso);
- sustituir a otros materiales en muchas áreas (por ejemplo acero al carbono, Cu, Zn, Al, plástico, etc.), gracias a sus propiedades técnicas especiales, que se traducen en ventajas técnicas y del coste del ciclo de vida.

El magnetismo de los ferríticos no es una cualidad “negativa” que, en cierta manera, los relaciona con el acero al carbono. Por el contrario, el magnetismo es un punto fuerte de estos excelentes aceros inoxidables, que los diferencia de los otros tipos de acero inoxidable.

Para obtener el mejor resultado de los ferríticos, resulta esencial que:

- los nuevos usuarios se formen en técnicas de conformación y de unión;
- el usuario consulte con el productor de acero inoxidable en lo relativo a la elección del tipo correcto;
- el usuario adquiera el material a través de una fuente fiable, capaz de ofrecer garantías con respecto al tipo, calidad y origen del material suministrado.

El excelente trabajo en equipo efectuado y el intenso apoyo de la ICDA nos permiten presentar un documento de referencia para nuestra actividad. Aparecen testimonios muy interesantes de clientes, que muestran un gran interés por los nuevos desarrollos. El ISSF está muy agradecido por todas estas contribuciones.

Jean-Yves Gilet  
Presidente del Comité  
para el Desarrollo del Mercado  
del ISSF



# Prefacio

## “UN ACERO CUYO MOMENTO ESTÁ POR LLEGAR”

POR FRIEDRICH TEROERDE, DE LA INTERNATIONAL CHROMIUM DEVELOPMENT ASSOCIATION (ICDA)

En primer lugar debo dar las gracias al ISSF por invitar a la ICDA a escribir el prefacio de la Solución Ferrítica, una publicación que inevitablemente tiene mucho que decir con respecto al cromo.

La ICDA se estableció en París, en 1990, y actualmente cuenta con 96 miembros de 26 países de los cinco continentes. Nuestra misión consiste en dar a conocer al mundo la positiva historia del cromo.

El cromo se utiliza en el hierro y el acero para producir acero inoxidable y otras aleaciones. En el acero inoxidable, el cromo es un ingrediente especial. Es el elemento de la aleación que hace que el acero inoxidable sea “inoxidable”, proporcionándole su extraordinaria resistencia a la corrosión y a la oxidación. El cromo es un material abundante y reciclable y no supone amenaza para el medioambiente.

Como organismo representante de los productores de cromo, patrocinamos este manual ya que, en nuestra opinión, contribuirá al desarrollo de la industria del cromo. El cromo nunca se utiliza en solitario. Así pues, el Comité para el Desarrollo del Mercado de la ICDA ha estado llevando a cabo proyectos de interés común con organizaciones como el ISSF. El cromo constituye el elemento básico de todas las familias de acero inoxidable, con un contenido medio del 18%. El consumo anual de acero inoxidable está aumentando al 5% y cada vez se utiliza en más aplicaciones, tanto en las industrias alimentaria, minera y de la automoción, como en la arquitectura.

Como es sabido el níquel utilizado en los aceros inoxidables “austeníticos” está sujeto a considerables fluctuaciones de precio. De hecho, durante los últimos años el níquel ha alcanzado niveles sin precedentes, lo que ha afectado al coste de los tipos austeníticos.

Los ferríticos, la segunda gran familia de los aceros inoxidables, no contienen níquel. No obstante, sí contienen cromo. Dado el crecimiento excepcional del mercado del acero inoxidable, creemos que en este momento debemos esforzarnos en promocionar fuertemente un uso más generalizado de los ferríticos.

Por tanto, recibimos con gran satisfacción la solicitud de apoyo por parte del ISSF para su proyecto de identificación y desarrollo de nuevas aplicaciones de los ferríticos. El objetivo de este proyecto es alcanzar un crecimiento sostenible en el mercado del inoxidable y crear un futuro brillante para estos excelentes tipos.

Buscando entre la información disponible sobre aceros inoxidables, se observa como existe poco material dedicado específicamente a los ferríticos, ¡a pesar de que estos tienen casi 100 años de antigüedad! Esta carencia ha animado al ISSF a crear este manual. Proporciona información esencial sobre las propiedades técnicas, ventajas y aplicaciones potenciales de los ferríticos, así como recomendaciones para la fabricación. También intenta corregir ciertas ideas falsas, muy extendidas, sobre el uso y las características de los aceros inoxidables ferríticos.

En conclusión, la ICDA es consciente de que la volatilidad del níquel supone un problema importante para los usuarios de acero inoxidable. Queremos apoyar a la industria y a sus clientes participando en la búsqueda de soluciones alternativas. Para nosotros está claro que, gracias a sus propiedades técnicas y al coste, ha llegado el momento del acero inoxidable ferrítico.

Las páginas siguientes son una guía para los usuarios de acero inoxidable, tanto existentes como potenciales, a la hora de ampliar el uso de los tipos ferríticos en nuevas y apasionantes aplicaciones.



Friedrich Teroerde  
Presidente  
Comité para el Desarrollo del Mercado  
ICDA





EL ACERO INOXIDABLE  
FERRÍTICO ES IDEAL PARA LAS  
SUPERFICIES DE LOS  
EQUIPOS DE COCINA  
PROFESIONALES.



EL ASPECTO BRILLANTE  
DEL ACERO FERRÍTICO ES  
UN SÍMBOLO DE LIMPIEZA E  
HIGIENE EN APLICACIONES  
EN CONTACTO CON  
ALIMENTOS.

# Qué se dice de los ferríticos

*Ciertos sectores del mercado ya llevan años apreciando las ventajas económicas y técnicas de los ferríticos. Los siguientes testimonios, procedentes tanto de mercados existentes como en evolución, demuestran que estas ventajas cada vez están más comprendidas y valoradas.*

## STEFAN RAAB

**DIRECTOR CORPORATIVO DE COMPRAS  
BSH BOSCH UND SIEMENS HAUSGERATE  
GMBH, MUNICH, ALEMANIA**

“Utilizamos acero inoxidable en aproximadamente un tercio de nuestros productos. La razón es en parte funcional, debido a su resistencia a la corrosión, y en parte estética. Actualmente la cuota del ferrítico es de alrededor del 50%. Nuestra intención es aumentarla, básicamente porque ofrece al cliente las ventajas del acero inoxidable en cuanto a funcionalidad y diseño pero dentro de una estructura de costes limitada. Utilizaremos ferríticos siempre que la resistencia a la corrosión y la conformabilidad lo permitan”.



## ROBERTA BERNASCONI

**DIRECTORA, GLOBAL TECHNOLOGY – MATERI-  
ALS, WHIRLPOOL CORPORATION, CASSINETTA  
DI BIADRONNO, ITALIA**

“Como fabricante de electrodomésticos, utilizamos ferríticos para nuestros frigoríficos y lavadoras y estamos evaluando el cambio a los ferríticos para la fabricación de cocinas y lavavajillas. La ventaja de costes es tal que tanto para nosotros como para nuestros clientes resulta totalmente lógico utilizar estos tipos en mayor medida”.

“Por lo tanto, diseñamos teniendo en cuenta todos los aspectos relevantes relacionados con la fabricación. Ocasionalmente, seleccionamos un tipo revestido e incluso uno con acabado antihuellas, con el fin de asegurar una vida de servicio prolongada. A veces, utilizamos ferríticos superaleados. Lo



más importante es aprovechar las ventajas económicas de los aceros ferríticos”

“Pensamos que resulta excelente para nuestras aplicaciones y, dado el elevado coste del níquel, el futuro, en nuestro caso, se dirige definitivamente hacia estos excelentes aceros”.

## JEAN-LOUIS LALBA

**COMPRAS, GROUPE SEB, (TEFAL, ROWENTA,  
KRUPS, MOULINEX, ARNO, ALL CLAD,  
PANEX, ETC.), RUMILLY, FRANCIA**

“Utilizamos aproximadamente 15.000 t/año de acero inoxidable, de las que el 40% son ferríticas. Nuestro grupo comenzó a utilizar los ferríticos para

las tapas de botes de cocina, para lo que resulta ideal, en las bases estampadas o cobresoldadas de las ollas de inducción y en los cuerpos de los hornos. Este uso se ha ampliado a las sartenes y a aplicaciones totalmente satisfactorias para el usuario final”.

“Con frecuencia, en estas aplicaciones las características de resistencia a la corrosión, embutición profunda y pulido han sido muy aceptables. Hay casos en los que unos requisitos de fabricación o de servicio posterior muy exigentes superan los límites de los ferríticos, tanto en término de propiedades como en el de facilidad del proceso. ¡Y también está el prejuicio irracional contra los ferríticos que se da en algunos países! No obstante, en muchos casos estos tipos constituyen una elección perfecta. De hecho, su naturaleza magnética es esencial en los utensilios de cocina de inducción. Y, claro está, el precio de los ferríticos es estable y fiable.

“Teniendo en cuenta nuestra experiencia tan satisfactoria con los ferríticos, queremos ampliar su uso a otras aplicaciones”.





EN LA INDUSTRIA  
AZUCARERA, EL FERRÍTICO  
HA DEMOSTRADO SER  
SUPERIOR AL ACERO AL  
CARBONO.

## GAETANO RONCHI

**DIRECTOR SENIOR, COMPRAS DE METALES, IKEA**

“Utilizamos acero inoxidable para menaje, cubertería, incluyendo cuchillos, y para accesorios de baño y cocina. Nuestro consumo anual actual, de 60.000 t, está experimentando un crecimiento anual del 15%. Una parte significativa de éste corresponde a acero ferrítico”.

“A mediados de 2003, IKEA decidió adoptar los ferríticos como aceros inoxidables de todo uso, en gran parte debido a su precio estable y predecible. Las pruebas demostraron que los artículos soldados requieren un tipo con un contenido de cromo mayor que el del 430 para una resistencia óptima a la corrosión, además de un proceso adicional para las soldaduras, según los requisitos. La decisión representó un gran paso adelante para el desarrollo de los artículos de inoxidable. Tanto el crecimiento de ventas como el uso de inoxidable en nuevos diseños se hubieran visto seriamente amenazados si nos hubiéramos limitado al uso de los austeníticos”.

“La fabricación de un gran número de artículos de acero inoxidable de IKEA corre a cargo de un OEM asiático, y el éxito de nuestra transición a los ferríticos se ha debido a la educación y formación, tanto de las oficinas del Grupo en Asia como de sus OEM. Nuestro objetivo es descartar los austeníticos, reemplazándolos por ferríticos mejorados. Actualmente estamos probando nuevos ferríticos para embutición profunda o de resistencia a la corrosión mejorada”.

## MICHAEL LEUNG

**DIRECTOR ADJUNTO, YIU HENG INTERNATIONAL COMPANY LIMITED, MACAO**

“Los productos más importantes de nuestra filial Xinhui Rixing Stainless Steel Products, en la provincia de Guangdong (China) son los utensilios y accesorios de cocina de acero inoxidable. En estos momentos, la empresa consume alrededor de 800 t/mes de acero inoxidable, de las que el 60-70% es ferrítico. Cuando empezamos, en 1999, tan sólo utilizábamos la serie 400 en las bases de los utensilios de cocina. En 2002 comenzamos a utilizarlos para los cuerpos”.

“El bajo coste no es la única razón para esta preferencia. Los



ferríticos son magnéticos y ofrecen una buena conductividad térmica. Además, son reciclables. El cambio de 304 a ferrítico significa que el fabricante gana competitividad y el consumidor obtiene un producto seguro a un precio inferior. Debemos corregir el prejuicio, carente de fundamento, de que los ferríticos, al ser magnéticos, son aceros de baja calidad con una resistencia a la corrosión insatisfactoria”.

“En las plantas en las que se utiliza fundamentalmente 304, el cambio a los ferríticos implica el ajuste de los troqueles y de los procesos, lo cual es una medida costosa. No obstante, nuestra experiencia demuestra que es posible reducir costes con los ferríticos”.

“En términos generales, estamos muy satisfechos con los ferríticos. Se ha desarrollado una buena gama de ferríticos con el fin de dar respuesta a una amplia variedad de requisitos. Esperamos que el acero inoxidable ferrítico llegue a estar ampliamente disponible en los centros de servicio y que se generalice su uso”.

## ATUSHI OKAMOTO

**DIRECTOR DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN Nº 1, OSAKA WORKS, TAKARA STANDARD CORP., JAPÓN**

“Takara Standard es uno de los principales fabricantes japoneses de productos de cocina y baño. Utilizamos acero inoxidable para fregaderos y encimeras de cocina integradas y para bañeras y componentes de montaje de cuartos de baño integrados. Utilizamos los ferríticos desde hace 40 años por la sencilla razón de que sus propiedades son suficientes para estas aplicaciones”.

“Nuestro éxito con los ferríticos se debe a que el diseño de nuestros productos tiene en cuenta las propiedades mecánicas específicas de estos y a que contamos con la tecnología de estampación y troqueles apropiada. No hemos tenido problemas importantes con los ferríticos. Cuando es necesaria una forma intrincada, efectuamos ensayos con el fin de establecer los mejores parámetros de proceso”.

“Para concluir, diré que estamos muy satisfechos con los ferríticos. Me gustaría que se publicaran directrices que ayudaran a las empresas a la hora de elegir el tipo ferrítico más apropiado para su aplicación”.

**PUEDEN ENCONTRAR MÁS TESTIMONIOS EN LAS PÁGINAS DE LA IZQUIERDA ANTES DE CADA CAPÍTULO ...**





EL FUTURO DEL MERCADO DE LOS TUBOS SOLDADOS DE ACERO INOXIDABLE FERRÍTICO ES MUY DINÁMICO, DEBIDO A LAS VENTAJAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DE ESTOS TIPOS.

## CLOVIS TRAMONTINA

**PRESIDENTE, TRAMONTINA, SÃO PAULO, BRASIL**

"Tramontina es uno de los principales fabricantes brasileños de herramientas y electrodomésticos para el hogar. Actualmente utiliza 850 t/mes de acero inoxidable, de las que aproximadamente el 30% son de ferrítico. Los productos que fabricamos con ferríticos son bandejas y cuberterías económicas, fregaderos y bases de ollas".

"Hemos utilizado ferríticos desde 1974, cuando comenzamos a fabricar cazuelas y juegos de servicio en nuestra planta de Farroupilha. La razón principal fue el coste más bajo de esta materia prima, combinado con el hecho de que sus características y propiedades son muy satisfactorias para estas aplicaciones".



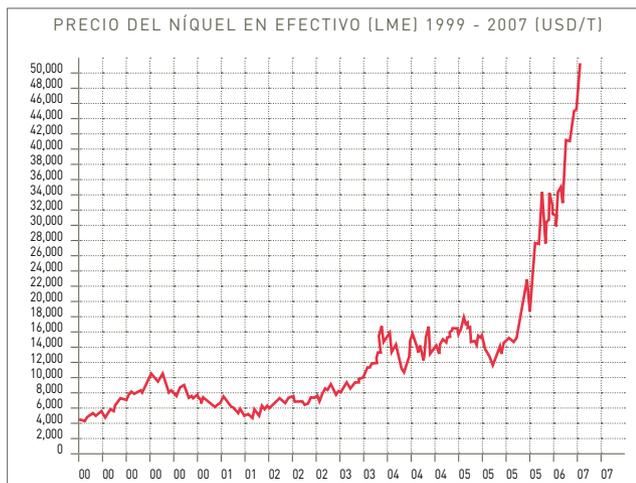
"En lo relativo a la embutición, los ferríticos no resultan tan fáciles de trabajar como los austeníticos y requieren un proceso de laminación intermedio. No obstante, sigo pensando que el acero inoxidable ferrítico es una buena elección debido al ratio costes/beneficio. Fácil de limpiar y mantener, el material es higiénico. Además, ofrece todas las ventajas estéticas del acero inoxidable y está disponible en diversos acabados superficiales".

"En resumen, estamos muy satisfechos con los ferríticos y ya llevamos mucho tiempo utilizándolos. De hecho, siempre estamos a la búsqueda de nuevas aplicaciones para su uso".

# Los “increíbles aceros ferríticos”

*En vista del drástico incremento de los costes de las materias primas, los ferríticos pueden ser una solución práctica en un gran número de aplicaciones en las que ahorrar costes es esencial.*

Durante los últimos años, los precios de las materias primas tales como aluminio, cobre, cinc y níquel se han disparado. Los productores y los usuarios de acero inoxidable se ven particularmente afectados por el elevado y volátil precio del níquel, que fluctúa a diario. El níquel es un componente de los austeníticos serie 300.



Los productores de acero inoxidable carecen de control sobre este fenómeno, cuyo efecto inevitable consiste en el incremento y la desestabilización del coste de los tipos con níquel. Esta situación está obligando a algunos usuarios a buscar materiales que, con un coste menor que los austeníticos, sigan proporcionando unas características de fabricación y servicio adecuadas para su producto.

Esta situación puede hacer desistir a los usuarios potenciales, quienes pueden pensar que el inoxidable de las características que necesitan está económicamente fuera de su alcance.

## COSTE MÁS REDUCIDO, PRECIO ESTABLE

Los ferríticos (serie 400), con un precio reducido y estable, pero con unas características técnicas impresionantes, están preparados para convertirse en un excelente material alternativo para muchas aplicaciones supuestamente “exclusivas de los austeníticos”.



Plancha profesional, tipo 430.



Cubierta, tipo 446M, Corea

Sin contenido de níquel, los ferríticos son básicamente aleaciones hierro y cromo (mínimo 10,5%). El precio del cromo presenta un historial de relativa estabilidad. Ciertos tipos ferríticos contienen otros elementos de aleación adicionales con el objeto de potenciar propiedades específicas.

Los aceros inoxidables ferríticos comparten la mayor parte de las propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión de sus primos más costosos, los austeníticos, e incluso los superan en ciertas características. ¿Por qué pagar por el níquel si no es necesario?

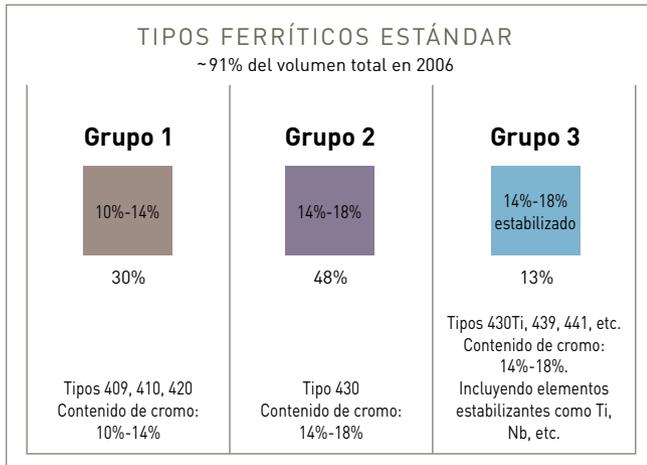
Los usuarios de aceros austeníticos, cobre o aluminio en busca de otra solución pueden estar tranquilos. Los ferríticos ofrecen una solución asequible y técnicamente perfecta y, así, poder beneficiarse por completo de las cualidades únicas del acero inoxidable.



*¿Por qué pagar por el níquel si no es necesario?*

## LAS 5 “FAMILIAS” FERRÍTICAS

Los ferríticos se encuadran en cinco grupos; tres familias de tipos estándar y dos de tipos “especiales”. Con diferencia, el mayor uso actual de los ferríticos, tanto en términos de tonelaje como de número de aplicaciones, se concentra en los tipos estándar. Por lo tanto, los ferríticos estándar son totalmente satisfactorios y apropiados para un gran número de aplicaciones con un alto nivel de exigencia.



■ El Grupo 1 (tipo 409/410L), con el contenido de cromo más bajo de todos los aceros inoxidable, es también el menos costoso. Este grupo puede ser perfecto en entornos libres o poco corrosivos, en los que una ligera corrosión localizada puede ser aceptable. El 409 se diseñó originalmente para los silenciadores de los sistemas de escape. El 410L se utiliza más para contenedores, autobuses y autocares y, recientemente, para bastidores de monitores LCD.

*“Los ferríticos estándar son totalmente satisfactorios y apropiados para un gran número de aplicaciones con un alto nivel de exigencia”.*

■ El Grupo 2 (tipo 430) es la familia de aleaciones ferríticas de uso más generalizado. Con un contenido de cromo más elevado, el grupo 2 ofrece una mayor resistencia a la corrosión y su comportamiento es prácticamente igual al del 304. En algunas aplicaciones, estos resultan adecuados para reemplazar al 304. Los usos típicos son tambores de lavadoras y paneles interiores. Con frecuencia se sustituye el 430 por el 304 en lavaplatos, cazuelas y sartenes. Para información acerca de sus características de soldeo, ver pág. 37.



Contenedores, en tipos 409L y 410L.

■ El Grupo 3 incluye los tipos 430Ti, 439, 441, etc. En comparación con el grupo 2, estos ofrecen una mejor soldabilidad y conformabilidad. En muchos casos, su comportamiento es incluso mejor que el del 304. Las aplicaciones típicas son fregaderos, tubos de intercambiadores, sistemas de escape (vida de servicio más larga que el tipo 409) y piezas soldadas de lavadoras. El grupo 3 puede incluso reemplazar al tipo 304 en aquellas aplicaciones en las que las especificaciones de este tipo sean superiores a las necesidades reales.

■ El Grupo 4 incluye los tipos 434, 436, 444, etc. Estos incorporan molibdeno para aumentar la resistencia a la corrosión. Las aplicaciones típicas son depósitos de agua caliente, calentadores solares, sistemas de escape, hervidores eléctricos y hornos microondas, guarniciones de automóviles y paneles exteriores. La resistencia a la corrosión del tipo 444 puede ser similar al 316.



■ El Grupo 5 (tipos 446, 445/447 etc.). Lleva cromo adicional y molibdeno para aumentar la resistencia a la corrosión y a la formación de cascarilla (oxidación). Este grupo es superior al tipo 316 en lo relativo a estas propiedades. Los usos típicos incluyen aplicaciones en entornos costeros y otros entornos altamente corrosivos. La resistencia a la corrosión del JIS 447 es igual a la del titanio.

## REFERENCIAS IMPACTANTES

Entre las historias más exitosas de los aceros inoxidable ferríticos destacan aplicaciones extremadamente exigentes. Durante años, los ferríticos se han utilizado masivamente en dos aplicaciones extremadamente duras: los sistemas de escape de automóviles y los tambores de lavadoras.

Los sistemas de escape se ven expuestos a condiciones de altas temperaturas y entornos corrosivos. El uso de acero inoxidable (ferrítico) permite ampliar el período de garantía de estas piezas.

Los tambores de lavadoras deben enfrentarse a los detergentes y a un entorno constantemente húmedo. Sin embargo, incluso en este contexto, la corrosión localizada resulta totalmente inadmisibles.



Los usuarios pueden dar un vívido testimonio de su satisfacción con respecto a la larga vida de servicio de sus tambores de lavadora y sistemas de escape. Para los fabricantes de estos productos, la fácil fabricación y las importantes ventajas económicas son factores adicionales que hacen del acero inoxidable la elección más obvia.



Calentador de agua solar, Taiwan, China

*“... en muchos casos, los ferríticos se están revelando como una mejor elección frente a otros materiales más costosos”*

Otros usos actuales de los ferríticos son los equipos de cocina y de catering, mobiliario de interiores y artículos decorativos, guarniciones de automóviles, tubos de calentadores, quemadores, conductos de aire acondicionado, parrillas de barbacoas, etc. Todavía queda un gran número de nuevas aplicaciones por descubrir.

## LOS EXCELENTES ACEROS FERRÍTICOS DE HOY EN DÍA

Los aceros inoxidable ferríticos de calidad superior ya cuentan con varios años de existencia y se ha dedicado una gran cantidad de recursos de I+D a la definición de estos extraordinarios tipos.

No constituyen una novedad ni para el mercado ni para sus fabricantes. Y, sin embargo, sorprende comprobar cómo la actitud hacia estos aceros es de rechazo. En su momento, el 430 era el único tipo disponible y es posible que los primeros usuarios no hubieran recibido el soporte técnico suficiente, sobre todo en el caso de las estructuras soldadas o en situaciones sometidas a un mayor nivel de corrosión. En cualquier caso, las falsas ideas se afianzaron, llevando a pensar que los ferríticos son “inferiores” y que sólo pueden utilizarse los austeníticos.

¡Pero los ferríticos se abrieron camino hace ya tiempo! Actualmente se dispone de apoyo técnico y, además, la gama se ha incrementado para dar respuesta a las necesidades de los usuarios. Puesto que estas propiedades son comparables a las de los austeníticos, la clasificación de los ferríticos como inferiores o superiores carece de justificación. Simplemente son diferentes, lo cual resulta muy útil.

De hecho, en muchos casos los ferríticos se están revelando como una opción mejor que los materiales más costosos. Puede ajustarse con mayor precisión a las especificaciones reales de una aplicación determinada, proporcionando tan sólo las cualidades necesarias.



Paseo elevado con cubierta insonorizada, Japón

## ADECUADO PARA LA CONFORMACIÓN

Igual de maleables que el acero al carbono, los ferríticos resultan adecuados para la mayor parte de las conformaciones. Son menos maleables que los austeníticos, cuyas propiedades son excepcionales, pero muchas están sobreespecificadas.



Camión sistema de leche, chapado con 430, Sudáfrica.

El acero al carbono y el ferrítico tienen un comportamiento equivalente en cuanto a conformación. Pensar en las formas tan complejas en las que se conforma el acero al carbono (ej: carrocerías de automóviles) basta para apreciar las posibilidades de los ferríticos. Adaptando las herramientas y seleccionando el tipo adecuado, es posible conformar infinitas formas utilizando los ferríticos.

## LAS VENTAJAS DEL MAGNETISMO

Existe la idea generalizada equivocada de que los ferríticos, al ser magnéticos, se oxidarán. Esto carece de fundamento. Sólo por razones de estructura atómica, unos inoxidables son magnéticos y otros no. La resistencia a la corrosión no depende de la estructura atómica, sino de la composición química, en particular del contenido de cromo. El magnetismo no juega ningún papel a este respecto.

*“Una idea equivocada afirma que, debido al magnetismo de los ferríticos, éstos no son “realmente” aceros inoxidables y se oxidarán igual que el acero al carbono. Esta afirmación carece de fundamento”.*

De hecho, el magnetismo de los ferríticos es una de sus principales ventajas. Se utiliza para imanes de nevera o dispositivos para ordenar cuchillos y otros elementos metálicos. Además, es esencial que las cazuelas utilizadas en las cocinas de inducción sean magnéticas, ya que el proceso implica la generación de calor en el utensilio en sí mediante la transferencia de energía magnética.

## VENTAJAS TÉCNICAS ESPECIALES

El acero inoxidable es un material especialmente duradero y de bajo mantenimiento, con unas ventajas considerables en lo relativo a los costes del ciclo de vida. También es reciclable al 100%: más del 60% del acero inoxidable nuevo se obtiene a partir de chatarra fundida.

Las propiedades más importantes del acero inoxidable son:

- resistencia a la corrosión
- atractivo estético
- resistencia al calor
- bajo coste del ciclo de vida
- reciclabilidad total
- neutralidad biológica (satisface los requisitos EU RoHS)
- facilidad de elaboración

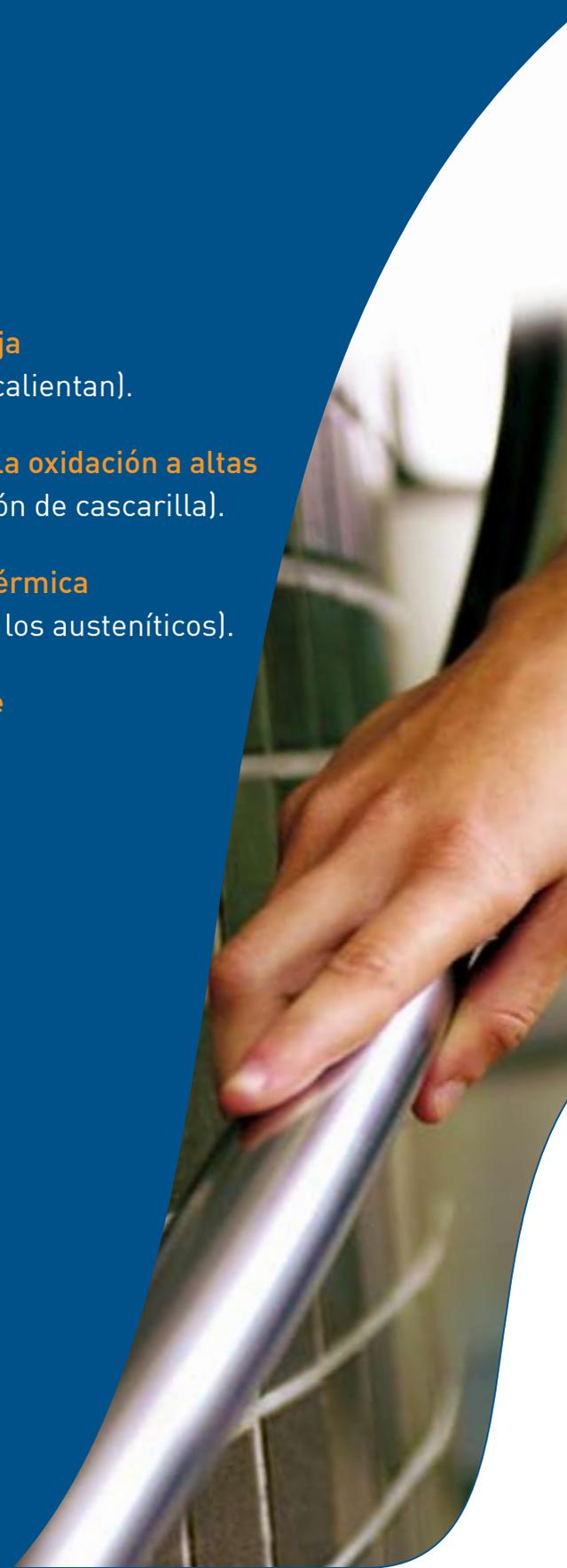
Los ferríticos pueden presumir de todas las ventajas de los aceros inoxidables con respecto a los aceros al carbono en lo relativo a la resistencia a la corrosión, bajo coste del ciclo de vida y durabilidad. Además, sus ventajas con respecto a los austeníticos, no se limitan a un coste inferior. En realidad los superan varias características.



Frigorífico, chapado con 430.

# LOS TRIUNFOS ESPECIALES DE LOS FERRÍTICOS

- Los aceros ferríticos son **magnéticos**.
- Los ferríticos presentan una **dilatación térmica baja** (se dilatan menos que los austeníticos cuando se calientan).
- Los ferríticos ofrecen una **excelente resistencia a la oxidación a altas temperaturas** (son menos propensos a la formación de cascarilla).
- Los ferríticos ofrecen una **elevada conductividad térmica** (transmiten el calor de manera más uniforme que los austeníticos).
- Los estabilizados con niobio ofrecen una **excelente resistencia a la fluencia** (menor deformación frente a tensiones de larga duración).
- Los ferríticos son **más fáciles de cortar y trabajar** que los austeníticos (que requieren herramientas especiales y máquinas más potentes, generando un mayor desgaste de las herramientas).
- Los ferríticos son **menos propensos a la recuperación elástica** que los austeníticos durante la conformación en frío.
- Los ferríticos ofrecen un **mayor límite elástico** (similar al de los aceros al carbono habituales) que los austeníticos del tipo 304.
- Los ferríticos **no sufren fisuración por corrosión bajo tensión**.



## LA PERFECCIÓN ES AJUSTARSE A LAS ESPECIFICACIONES

En las condiciones actuales del mercado, los usuarios deberían evitar, por encima de todo, las “sobre-especificaciones” a la hora de seleccionar un acero para una aplicación concreta.

Históricamente, el 304 ha sido el tipo de acero inoxidable más desarrollado y disponible, debido a la gran variedad de aplicaciones para las que resulta adecuado. Los tipos de acero inoxidable ferríticos de hoy en día, correctamente especificados, pueden sustituir al 304 con unos excelentes resultados.

Un examen detallado y realista de las cualidades necesarias revela con frecuencia que un ferrítico, económicamente ventajoso, puede satisfacer de manera perfectamente adecuada estas especificaciones, tanto para el fabricante como para el usuario final.



*“Los ferríticos actuales, correctamente especificados, pueden sustituir con frecuencia al 304 con unos excelentes resultados”.*



Cocina industrial, tipo 430, Sudáfrica.

En ocasiones tan sólo es necesario un compromiso razonable (ej: aconsejar a los usuarios finales la limpieza regular de la superficie de los productos) para mantener un ferrítico en unas condiciones de ausencia total de corrosión a lo largo de toda la vida del producto.

## “UN ACERO CUYO MOMENTO AÚN ESTÁ POR LLEGAR”

Dada la calidad de los ferríticos actuales, su ventaja de precio y las excepcionales propiedades que pueden obtenerse utilizando elementos de aleación adicionales, las oportunidades para los ferríticos parecen ilimitadas.



Paneles de revestimiento, tipo 430 revestido, Italia.

Este folleto explica las cualidades de los ferríticos en términos sencillos. Su objetivo consiste en promocionar un uso más amplio de los aceros inoxidables en general, aumentando la percepción de las ventajas de estos tipos de menor coste. Se trata, en parte, de una iniciativa por parte de la industria del acero inoxidable para ayudar a los usuarios a especificar los tipos correctos para cada aplicación.

A continuación, se examinan las propiedades de los ferríticos de hoy en día, la función de los diversos elementos de aleación y las numerosas aplicaciones existentes y potenciales de estos aceros.



EN CIERTOS ENTORNOS, LOS  
FERRÍTICOS PROPORCIONAN  
UNA SOLUCIÓN ESTÉTICA,  
DURADERA Y ECONÓMICA  
PARA LOS REQUISITOS DEL  
MOBILIARIO URBANO.



## DOMINIQUE MARET

DIRECTOR DE MÁRKETING, FAURECIA, FRANCIA

### QUÉ SE DICE DE LOS FERRÍTICOS

“Como proveedor de equipos para la automoción a nivel mundial, Faurecia produce sistemas de escape. De las 200.000 t de acero inoxidable que empleamos para este propósito, el 90% es ferrítico. De hecho, consumimos ferríticos desde mediados de los 70, cuando comenzamos a producir convertidores catalíticos, según la normativa de EE.UU. Los ferríticos presentan unas características de dilatación térmica mucho menores que las de los austeníticos, lo cual fue un factor crucial para la durabilidad de estos convertidores catalíticos”.



“Los ferríticos constituyen para nosotros una historia de éxito ya que, al tener grandes conocimientos sobre el comportamiento de los distintos tipos en diferentes ambientes de gases de escape, podemos elegir el más adecuado para cada aplicación; por supuesto, teniendo en cuenta las limitaciones de conformabilidad y la necesidad de evitar la corrosión intergranular. Para nosotros es muy necesario que continúe el desarrollo de los ferríticos a altas temperaturas, por encima de 900°C, y su resistencia a la corrosión. Estamos convencidos de que estas mejoras en los ferríticos servirán para acercarlos más a los austeníticos pero a un precio más estable y más bajo. Aún así, estamos muy satisfechos con los ferríticos”.

# Propiedades de resistencia a la corrosión

*Los aceros inoxidable son “inoxidables” debido a que su contenido de cromo les proporciona una resistencia a la corrosión excepcional.*

Todos los aceros son susceptibles a la corrosión en diversos grados. Los aceros inoxidable, sin embargo, son significativamente más resistentes a la corrosión que los aceros al carbono, debido a su contenido de cromo. El cromo (no el níquel, como se supone en ocasiones) es el ingrediente clave de la resistencia a la corrosión.

## RESISTENCIA A LA CORROSIÓN LOCALIZADA

En su mayor parte, las aplicaciones de acero inoxidable son libres de mantenimiento, si bien, en algunos casos, puede resultar necesario un mantenimiento ligero (eliminación de depósitos, por ejemplo).



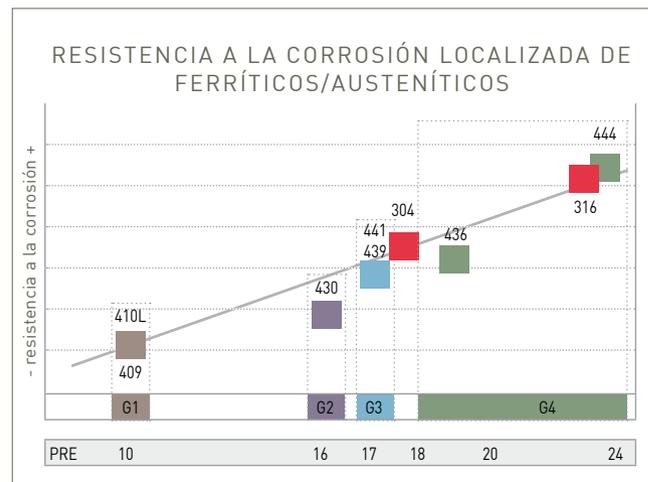
Recalentador de un separador de humedad, tipo 439, Europa.

La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable está más determinada por la composición química que por la estructura atómica austenítica o ferrítica. De hecho, en términos de resistencia a la corrosión, pueden considerarse como dos familias intercambiables.

La comparación de las propiedades de resistencia a la corrosión de los cinco “grupos” ferríticos con las del tipo austenítico 304 resalta el papel clave del cromo y demuestra que la mayor parte de las familias ferríticas son equiparables a los tipos con contenido de níquel (austeníticos) en lo relativo a la resistencia a la corrosión.

*“...los ferríticos y los austeníticos pueden considerarse como dos familias de acero inoxidable intercambiables”.*

El siguiente gráfico muestra que los ferríticos con contenido exclusivo de molibdeno ofrecen una mejor resistencia a la corrosión localizada (“picaduras”) que el 304. No obstante, los ferríticos estabilizados también ofrecen una buena resistencia a la corrosión por picaduras.



Rejilla del radiador, tipo 436.



Revestimiento de edificio, tipo 444, Brasil.

Los ferríticos del **Grupo 1** resultan más adecuados para condiciones no severas como, por ejemplo, en interiores (donde el material no esté en contacto con el agua o se limpie con regularidad) o en exteriores en los que cierta corrosión superficial resulte aceptable. Así, estos ferríticos ofrecen una vida más larga que el acero común.

Los tipos del **Grupo 2** resultan eficaces en contacto intermitente con el agua, en condiciones que no sean severas.

Los tipos del **Grupo 3** resultan adecuados para contextos similares a los del grupo 2, pero son más fáciles de soldar.

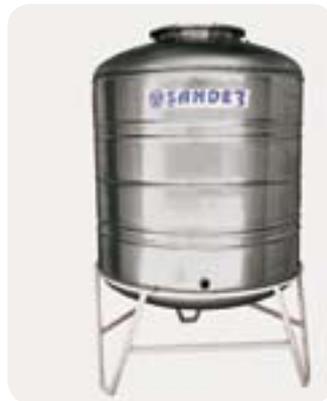
Los tipos del **Grupo 4** son más resistentes a la corrosión que el 304 y son adecuados para una gran variedad de usos.

El **Grupo 5** incluye, por ejemplo, tipos con un contenido de cromo muy elevado, alrededor del 29%, más un 4% de molibdeno, lo que los hace igual de resistentes a la corrosión en al agua marina que el titanio.

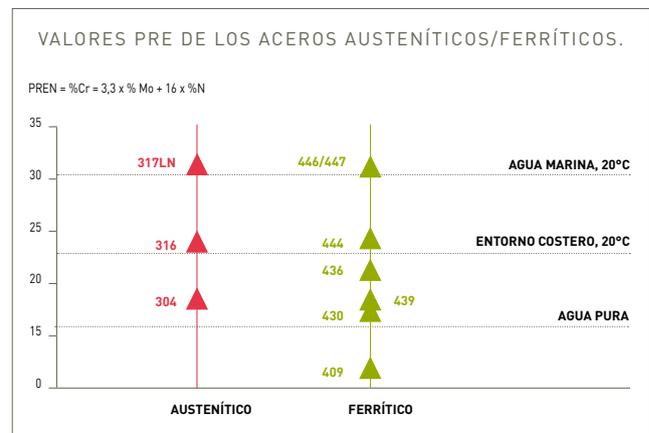
## EL FACTOR PRE

El índice de resistencia a picaduras PRE es una medida de la resistencia a la corrosión por picaduras relativa de un tipo de acero inoxidable en un entorno con presencia de cloro. Cuanto mayor sea el valor PRE, mayor será su resistencia a la corrosión.

La tabla de valores PRE muestra que para cada austenítico existe un ferrítico con una resistencia a la corrosión comparable. En la fórmula abreviada,  $PRE = \%Cr + 3.3\%Mo$ , el molibdeno se expresa como 3,3 veces más efectivo que el cromo frente a la corrosión por



Depósito de almacenamiento, tipo 444, Brasil.



picaduras. No obstante, el cromo siempre resulta esencial a la hora de proporcionar la resistencia a la corrosión básica. El molibdeno no puede reemplazar esta cantidad “básica” de cromo de los aceros inoxidables, pero sí puede utilizarse para reforzar la resistencia a la corrosión.

El níquel no se tiene en cuenta, ya que en la mayoría de las aplicaciones no influye en la resistencia a la corrosión por picaduras.

## EVITAR LA CORROSIÓN

La capa “pasiva” del acero inoxidable (consultar pág. 59) necesita oxígeno para permanecer intacta. Una acumulación de depósitos puede privar de oxígeno al acero, lo que produciría corrosión. La propagación de la corrosión podría causar la rotura de la pieza.



Barbacoa y carro, tipo 430, Italia.

*“El níquel no influye en la resistencia a la corrosión por picaduras”.*

## FACTORES DE RIESGO DE CORROSIÓN

- partículas incrustadas
- depósitos superficiales
- defectos superficiales
- discontinuidades estructurales
- salinidad (áreas expuestas a la sal, agua marina, etc.)
- aumento de la temperatura
- condiciones de alta acidez (ácidos fuertes)
- un entorno fuertemente “reductor”

## FACTORES DE PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN

- una superficie limpia
- una superficie lisa
- una superficie pre-pasivada
- envejecimiento de la superficie
- el efecto de lavado (por ejemplo la lluvia)
- mayor contenido en cromo
- condiciones oxidantes ( $O_2$  – no demasiado fuertes)
- adición de molibdeno



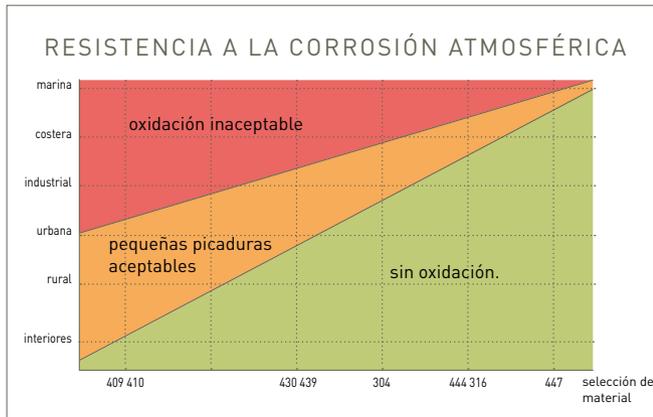
La corrosión se produce cuando el pH alcanza un valor críticamente bajo (pH bajo = acidez alta). El nivel de "pH" mide el grado de acidez o alcalinidad de una solución. Se mide en una escala de 0 a 14.



Barriera de seguridad en estación de ferrocarril, SUS430Ti, Japón.

## CORROSIÓN ATMOSFÉRICA

Este tipo de corrosión se produce en la superficie del acero, en la película fina y húmeda que se crea por la combinación de la humedad del aire e impurezas. Con frecuencia se inicia a través de la presencia de cloruros en atmósfera marina o de compuestos de sulfuro en los entornos industriales.



Los diferentes entornos requieren ferríticos (serie 400) o austeníticos (serie 300), con el fin de resistir la corrosión atmosférica. En los entornos industriales, costeros y marinos, en ciertas aplicaciones, un cierto grado de corrosión (picaduras) localizada podría ser aceptable.

*“Los ferríticos pueden utilizarse en atmósferas sometidas a una corrosión de severidad muy variable”.*

## SELECCIÓN DEL TIPO

Los ferríticos pueden utilizarse en entornos atmosféricos sometidos a corrosión de severidad variable. Es necesario tener muy en cuenta todos los parámetros relacionados con las condiciones de servicio a la hora de seleccionar el tipo apropiado.

Si la oxidación superficial localizada (corrosión por picaduras) carece de importancia en una cierta aplicación o entorno, el material elegido podría ser perfectamente un tipo de menor coste.

## REGLAS BÁSICAS

- En el caso de entornos agresivos, seleccionar un tipo con un contenido de cromo y/o de molibdeno mayor.
- Evitar los acabados superficiales rugosos; es preferible una superficie finamente pulida con un valor Ra bajo.
- Optimizar el diseño en lo relativo a la limpieza (por ejemplo, una pendiente mínima de 15° en las superficies orientadas hacia arriba).
- Evitar las geometrías que formen grietas o hendiduras.
- Mantener la superficie limpia con el fin de evitar la aparición de manchas y la acumulación de polvo.



Cuadro eléctrico, tipo 410 pintado, Sudáfrica.

## RESISTENCIA A LA OXIDACIÓN

La oxidación cíclica a altas temperaturas es una corrosión en seco que se produce a temperaturas elevadas (>500°C) y en atmósferas oxidantes, con o sin ciclo térmico.

Cuando el acero inoxidable se calienta, su contenido de cromo forma una "costra" superficial de óxido de cromo protectora que retarda el progreso de la oxidación. La costra y el sustrato de metal presentarán diferentes valores de dilatación térmica, lo que puede afectar a la estabilidad de las costras, especialmente con ciclos térmicos frecuentes. El coeficiente de dilatación de las costras es muy bajo, y si el del metal es muy alto, se generará gran cantidad de costra, que se fragmentará o fisurará cuando el metal se enfríe y se contraiga.

Gracias a su coeficiente de dilatación térmica más bajo, los ferríticos son mucho menos susceptibles que los austeníticos a la aparición de cascarilla a altas temperaturas. Cuando no se produce la fragmentación de la costra, la oxidación no avanza. Esto es una ventaja para calefacciones, quemadores o sistemas de escape.

## AMPLIAS POSIBILIDADES DE APLICACIÓN

Estas interesantes propiedades de resistencia a la corrosión distan mucho de ser los únicos atractivos del acero inoxidable ferrítico, pero son suficientes para ganar nuevos adeptos en el entorno actual de altos precios de los materiales.

Normalmente, un examen detallado de las propiedades de resistencia a la corrosión de los ferríticos suele dar sus frutos. Algunos usuarios de austeníticos podrían descubrir, tras estudiar sus especificaciones, que en realidad un ferrítico resulta muy apropiado para la aplicación.



Cubierta de gimnasio, tipo 445, Corea del Sur

*... los ferríticos son mucho menos susceptibles que los austeníticos a la aparición de cascarilla a altas temperaturas.*



Quemador, tipo 430.



Colector, tipo 441.

Los usuarios potenciales de acero inoxidable podrían sorprenderse por las excepcionales cualidades de los ferríticos, descubriendo que ¡después de todo el acero inoxidable es una opción viable!

## COSTE DEL CICLO DE VIDA: UNA GUÍA INESTIMABLE

Con frecuencia, un estudio del coste del ciclo de vida revela que el acero inoxidable, normalmente considerado como una solución costosa, es en realidad la opción de menor coste, desde un punto de vista a largo plazo.

La resistencia a la corrosión del acero inoxidable significa una vida de servicio más larga, un mayor valor de reventa, un mejor aspecto, etc. Además, hace que la pintura o el galvanizado resulten innecesarios. Y, además, el menor coste de inversión de los ferríticos resulta un argumento definitivo en favor del acero inoxidable como material de elección.

Si bien se utilizan y aprecian de manera generalizada, los ferríticos no se han "descubierto" por completo. No obstante, las numerosas aplicaciones existentes van abriendo camino hacia un gran número de nuevas posibilidades para estos excelentes aceros.

*... el menor coste de inversión de los ferríticos resulta un argumento definitivo en favor del acero inoxidable como material de elección...*



LAS COCINAS DE INDUCCIÓN  
REQUIEREN LAS  
PROPIEDADES MAGNÉTICAS  
DE LOS FERRÍTICOS.

## SEUNG TAE BAEK

JEFE DE COMPRAS LAVADORAS, LG ELECTRONICS, COREA.

“Utilizamos aceros inoxidables ferríticos fundamentalmente en los tambores de las lavadoras desde el desarrollo de nuestras lavadoras automáticas. De hecho, en 2006 utilizamos alrededor de 15.500 t de ferríticos, frente a 2.500 t de austeníticos, así que los ferríticos representan el 86% de nuestro consumo de acero inoxidable.



“Los ferríticos ofrecen unas cualidades mecánicas muy satisfactorias y son menos costosos que los austeníticos. Los avances en la tecnología de moldeo y el desarrollo de ferríticos de mayor calidad significan que podemos utilizar los ferríticos con gran éxito. La fisuración y la aparición de pliegues en prensa siguen siendo defectos ocasionales y será necesario mejorar el proceso de embutición profunda. No obstante, con los ferríticos obtenemos unos resultados satisfactorios, tanto en precio como en calidad”.

# Propiedades mecánicas y físicas

*Con los ferríticos la fabricación es sencilla y son adecuados para una gama de aplicaciones muy amplia.*

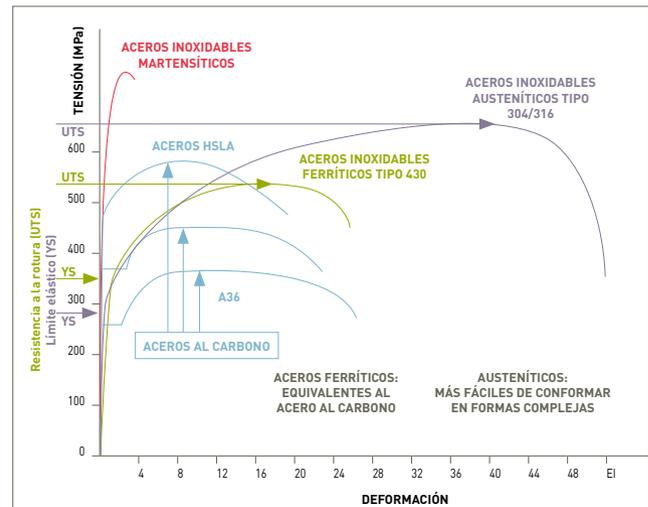
Los ferríticos poseen unas propiedades mecánicas satisfactorias, ocupando una posición intermedia cuando se comparan con otros aceros inoxidable. Presentan una resistencia a la deformación más elevada que los austeníticos, mientras que sus propiedades de alargamiento y conformación son equivalentes a las del acero al carbono. Sus propiedades físicas superan a los austeníticos en cuanto a dilatación y conductividad térmica.

## PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de una aleación metálica describen la capacidad del material para comprimirse, estirarse, doblarse, rayarse, abollarse o romperse. Los criterios más utilizados para la evaluación de las características mecánicas son los siguientes:

- Resistencia: el grado de resistencia de un material a la deformación. Normalmente se consideran dos valores críticos:
  - Límite elástico, o el esfuerzo al que es posible someter al material antes de que se produzcan deformaciones plásticas permanentes;
  - resistencia a la tracción, o el esfuerzo al que es posible someter al material antes de que se produzca la rotura/fallo del mismo.
- Dureza: resistencia a la penetración causada por una carga aplicada.
- Tenacidad: la capacidad de absorber energía de deformación antes de la fractura.
- Ductilidad (o plasticidad): la capacidad de deformarse plásticamente sin fracturarse.

Algunas de estas propiedades pueden medirse mediante un ensayo de tracción. Las curvas tensión-deformación resultantes permiten determinar el límite elástico, la resistencia a la rotura y el alargamiento total de rotura. La curva tensión-deformación refleja el rendimiento del metal en respuesta a diversas cargas.



UTS se mide en MPa ( $1\text{MPa} = 1\text{N/mm}^2 = 145\text{PSI} = 0.1\text{kg/mm}^2$ ) y representa la resistencia máxima de rotura. YS hace referencia al comienzo de la fase "plástica", en la que ya no desaparece la deformación cuando se elimina la tensión.

Las curvas tensión-deformación muestran que, si bien el 430 tiene sus límites, su rendimiento es muy bueno dentro de dichos límites.



Bastidor de carrocería de autobús, tipo 410, Sudáfrica.



Escalera mecánica, tipo SUS304, Japón.

*"... sus propiedades de alargamiento y conformación son equivalentes a las del acero al carbono".*

Los ferríticos tienen curvas tensión-deformación bastante similares a las de los aceros al carbono. Con un límite elástico moderadamente alto (normalmente mayor que el de los austeníticos), una resistencia a la tracción moderadamente alta y un buen comportamiento en lo relativo al alargamiento total, ofrecen una ductilidad satisfactoria.

PROPIEDADES MECÁNICAS (LAMINADO EN FRÍO)												
ASTM A 240				JIS G 4305				EN 10088-2				
	R <sub>m</sub> min	R <sub>p0.2</sub> min	A <sub>5</sub> min		R <sub>m</sub> min	R <sub>p0.2</sub> min	A <sub>5</sub> min		R <sub>m</sub>	R <sub>p0.2</sub> min	A <sub>5</sub> min	
409	380	170	20	--	--	--	--	X2CrTi12	1.4512	380-560	220	25
410S	415	205	22	SUS 410	440	205	20	X2CrNi12	1.4003	450-650	320	20
430	450	205	22	SUS 430	420	205	22	X6Cr17	1.4016	450-600	280	18
434	450	240	22	SUS 434	450	205	22	X6CrMo17-1	1.4113	450-630	280	18
436	450	240	22	SUS 436	410	245	20	X6CrMoNb17-1	1.4526	480-560	300	25
439	415	205	22	--	--	--	--	X2CrTi17	1.4520	380-530	200	24
439	415	205	22	--	--	--	--	X2CrTi17	1.4510	420-600	240	23
441	415	205	22	--	--	--	--	X2CrMoNb18	1.4509	430-630	250	18
S44400 (444)	415	275	20	SUS 444	410	245	20	X2CrMoTi18-2	1.4521	420-640	320	20
304	515	205	40	SUS 304	520	205	40	X5CrNi1-80	1.4301	540-750	230	45

La tabla anterior expresa las propiedades en términos de normativa de EE.UU., Japón y Europa, comparando los ferríticos con el austenítico estándar 304. Rm = resistencia a la tracción, Rp0.2 = límite elástico y A5/A80 = alargamiento de rotura.



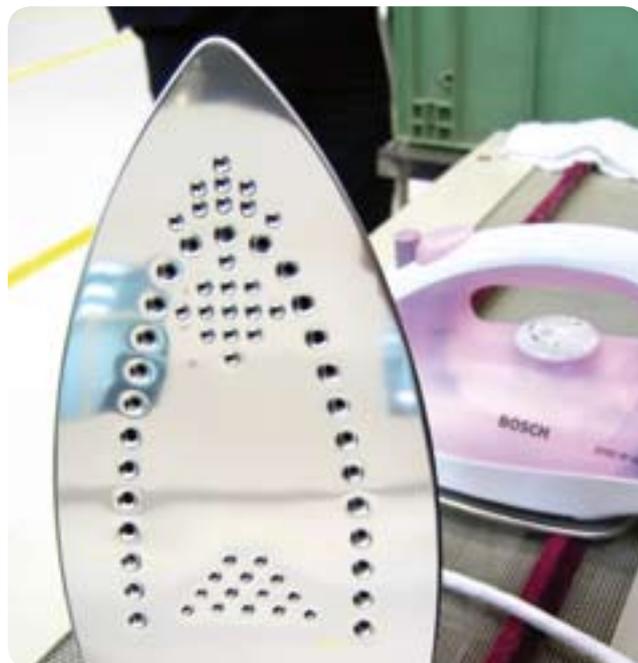
Tubo interior de caldera, tipo 444, Corea del Sur.

## PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas afectan a la capacidad del material para transmitir el calor y la electricidad y dilatarse o contraerse.

Los ferríticos son magnéticos. También presentan otras ventajas con respecto a los austeníticos. Su conductividad térmica, por ejemplo, es notablemente elevada, es decir, transmiten el calor de manera comparativamente eficaz, lo que los hace muy adecuados para planchas eléctricas o intercambiadores de calor (de tubos o placas).

El coeficiente de dilatación térmica de los ferríticos es similar al del acero al carbono y mucho menor que el del austenítico. Por tanto, los ferríticos experimentan menos deformaciones al calentarse.



Suela de plancha eléctrica, tipo 430 pulido.

## PROPIEDADES FÍSICAS

Tipo de acero inoxidable	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Resistencia eléctrica Ω mm <sup>2</sup> /m	Calor específico 0 - 100°C J/kg • °C	Conductividad térmica 100°C W/m • °C	Coeficiente de dilatación térmica		Módulo de Young x10 <sup>9</sup> N/mm <sup>2</sup>
					0-200°C 10 <sup>-6</sup> /°C	0-600°C 10 <sup>-6</sup> /°C	
409/410 10%-14% Cr	7.7	0.58	460	28	11	12	220
430 14%-17% Cr	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Estabilizado 430Ti, 439, 441	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Mo > 0,5% 434, 436, 444	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Otros 17%-30% Cr	7.7	0.62	460	25	10.0	11.0	220
304	7.9	0.72	500	15	16	18	200
Acero al carbono	7.7	0.22	460	50	12	14	215

El módulo de elasticidad de los ferríticos (a 20°C) es superior al del acero austenítico 304. Unidades IS: g/cm<sup>3</sup> = kg/dm<sup>3</sup> - J/kg • °C = J/kg • °K - W/m • c = W/m • K - 10<sup>-6</sup>/°C = 10<sup>-6</sup>/°K - N/mm<sup>2</sup> = MPa..



TAN RESISTENTES  
COMO EL ACERO  
AL CARBONO, LOS  
FERRÍTCOS BAJOS  
EN CROMO TAMBIÉN  
SON RESISTENTES A  
LA CORROSIÓN. ASÍ, LOS  
VAGONES DE MINERAL  
FERRÍTCOS TIENEN UN  
COSTE DE CICLO DE VIDA (LCC)  
INFERIOR.



FACTORES ESTÉTICOS E HIGIÉNICOS HACEN DEL ACERO FERRÍTICO UN MATERIAL IDEAL PARA LAS PLACAS DE GAS.

## ZHANG SEN

**DIRECTOR DE COMPRAS DE ACERO INOXIDABLE, QINGDAO HAIER INTERNATIONAL TRADING CO. LTD., REPÚBLICA POPULAR CHINA**

QUÉ SE DICE DE LOS FERRÍTICOS

“El grupo Haier, uno de los principales fabricantes del mundo de electrodomésticos de línea blanca, utiliza ferríticos en una amplia gama de productos, incluyendo lavadoras, lavaplatos, cocinas de gas, campanas extractoras y hornos microondas. Comenzamos a utilizar estos tipos antes del año 2000, actualmente consumimos 14.500 t/año de ferríticos, lo que representa el 85% de nuestro consumo total de acero inoxidable. Los ferríticos son más económicos que los austeníticos y resultan muy adecuados para estas aplicaciones”.



“Si comparamos con el 304, los ferríticos estándar no se ajustan a los requisitos de la embutición profunda de cada pieza, no ofrecen una resistencia a la corrosión tan buena en los entornos con cloruros ni tampoco presentan las mismas características de soldeo. A pesar de ello, siguen siendo excelentes para los electrodomésticos y, en términos de fabricación, los tipos adaptados que utilizamos ofrecen unas buenas propiedades de estampación y embutición.

“Con el precio del níquel fuera de control, nuestros costes de compras han experimentado un drástico aumento. La utilización de ferríticos no sólo reduce nuestros costes de materias primas, sino que también ahorra recursos y protege el medioambiente.

Incluso me atrevería a decir que, si bien los austeníticos dominan el mercado actual del acero inoxidable, el futuro del consumo radica en los aceros ferríticos”.

# Conformación de los ferríticos

**Gracias a sus buenas características de embutición, los ferríticos son capaces de responder ante diseños tridimensionales complejos.**

Puesto que su uso en diseños complejos no afecta a su extraordinaria resistencia a la corrosión, resistencia térmica y cualidades decorativas, los ferríticos se revelan frecuentemente como la elección adecuada para productos tanto industriales como para el consumo.



Parte superior e inferior de calderas estampadas, tipo 441, Sudáfrica.

Las operaciones de conformación en frío modifican la forma de los productos, flejes o en chapas, sometiéndolos a deformación plástica e implican cargas de tracción y compresión, utilizando una combinación de deformaciones por estiramiento y embutición profunda.

Si bien la capacidad de embutición global de los austeníticos es mejor que la de los ferríticos, algunos ferríticos (especialmente los tipos con Cr al 17% y estabilizados con Ti) presentan un buen comportamiento.

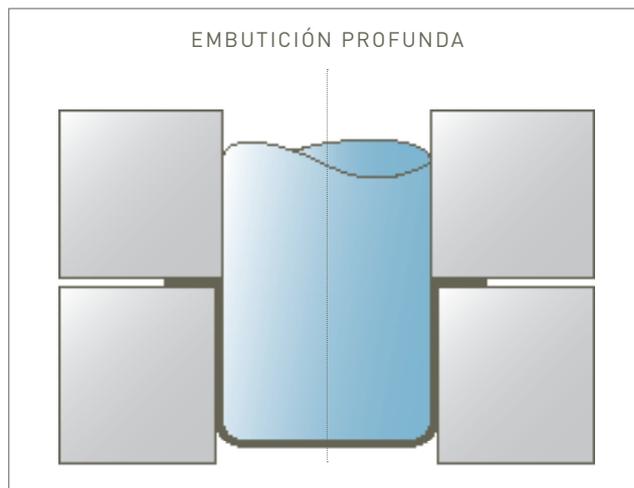
## EMBUTICIÓN DE LOS FERRÍTICOS

La embutición es el proceso más habitual para la conformación de objetos huecos a partir de una chapa. El buen comportamiento de embutición de los ferríticos, combinado con su considerable ventaja de precio, pueden hacer de este tipo de acero la mejor elección.

*“... algunos ferríticos presentan un extraordinario comportamiento en cuanto a embutición”.*

## CÓMO FUNCIONA LA EMBUTICIÓN

En el proceso de embutición, se presiona una chapa plana, sin forma, hacia el interior de la cavidad de una matriz mediante un punzón. El metal se empuja hacia el interior, deslizándose entre la matriz y el pisador para formar las paredes o “zócalo” de la pieza.



El deslizamiento es lo que diferencia la embutición de la conformación por estiramiento, donde la lámina está sujeta por el pisador.



Fregadero, tipo 430, Japón.



Horno microondas, tipo 430, acabado BA, Corea del Sur.

## LA EMBUTICIÓN CORRECTA SIGNIFICA

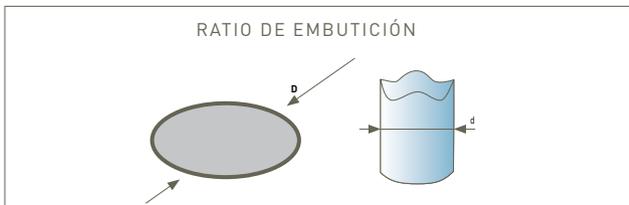
- Ausencia de fracturas
- Aspecto excelente de la superficie
- Mínimo consumo de material
- Elevada productividad de la fabricación
- Bajo desgaste de las herramientas

### EL FACTOR LDR

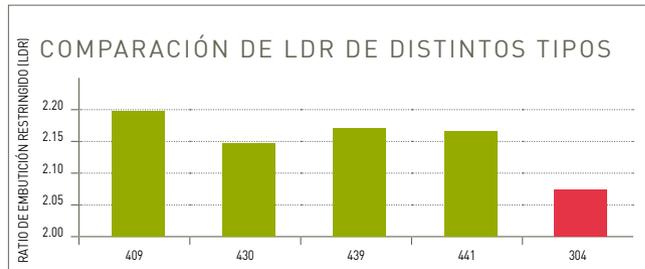
El Ratio de Embutición Restringido (LDR) es un parámetro importante de la embutibilidad profunda.

El LDR hace referencia al cociente del diámetro máximo del disco (D) que puede embutirse en profundidad en un cilindro en un sólo paso y el diámetro de ese cilindro.  $LDR = D/d$ .

Los ferríticos poseen LDR más elevados que los austeníticos, lo que los hace especialmente adecuados para la embutición.

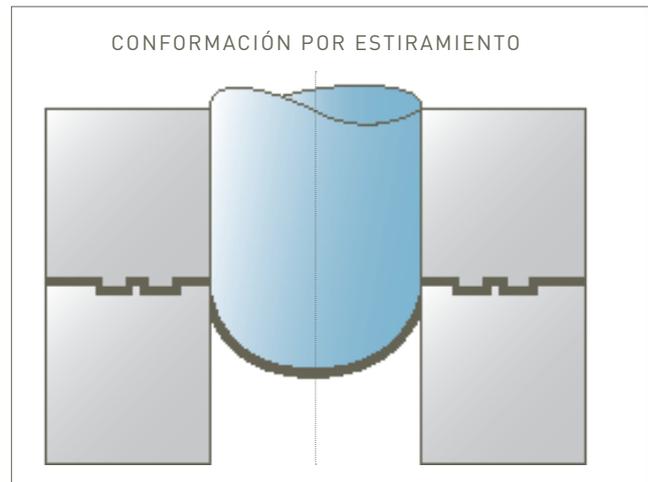


*“Los ferríticos presentan unos valores LDR más elevados que los austeníticos, lo que los hace especialmente adecuados para la embutición”.*



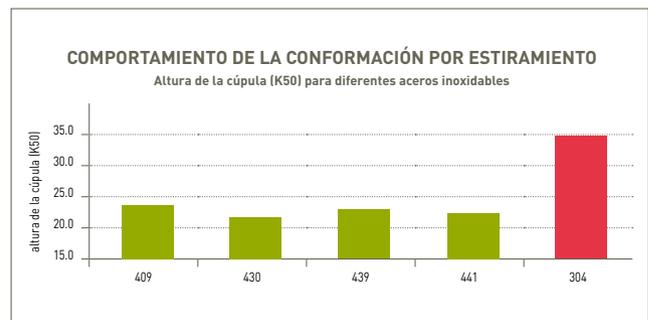
## CONFORMACIÓN POR ESTIRAMIENTO DE LOS FERRÍTICOS

Los ferríticos son inferiores a los austeníticos en lo relativo a la conformación por estiramiento.



Durante el estiramiento, el área estirada se hace más delgada.

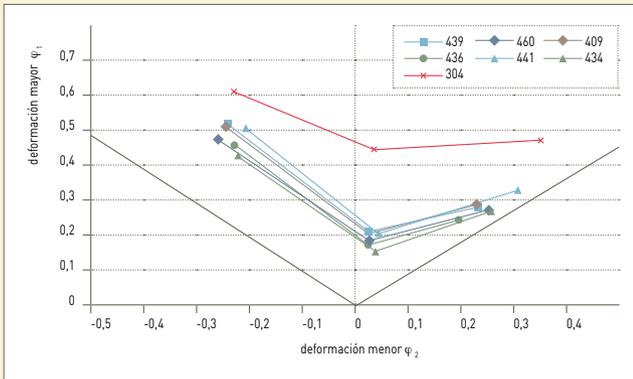
En la tabla siguiente se compara el comportamiento de varios tipos; “Altura de la cúpula” hace referencia al grado de deformación máximo antes de la “formación de un cuello” (la fase justo antes de la rotura) de una chapa sometida a estiramiento.



## CURVAS LÍMITE DE CONFORMACIÓN

En la práctica, las operaciones de conformación industriales implican la combinación de deformación mediante conformación por estiramiento pura y embutición pura en una serie de “pasadas”.

Las curvas límite de conformación constituyen una guía útil para la deformación máxima antes de la rotura, en los procesos tanto de estiramiento como de embutición profunda. Pueden utilizarse para el análisis de las operaciones de conformación.



Estas curvas definen las deformaciones locales durante y después de la conformación en los términos de dos deformaciones reales: longitudinal y transversal. Las curvas trazan los efectos de las combinaciones hasta el punto de fractura. Cuanto más elevada sea la posición de su curva, mejor será la conformabilidad de un tipo.

## COMPORTAMIENTO DE LOS ACEROS FERRÍTICOS

Las características de alargamiento y endurecimiento por acritud de los aceros ferríticos son comparables a las de los aceros al carbono de alta resistencia. No son iguales a las de los tipos austeníticos.

Con el fin de obtener los mejores resultados de embutición, los parámetros de diseño, construcción y fabricación, así como las propiedades del ferrítico, deben considerarse conjuntamente.



Carcasa estampada de convertidor catalítico, tipo 441



Colector estampado, tipo 441.



Tambor de secadora: lámina soldada 409, formada por expansión

*“El 430 Ti se selecciona frecuentemente para reemplazar a los aceros austeníticos en embutición profunda”*

## “RIDGING”

Tras ciertas operaciones de conformación, los ferríticos pueden sufrir un fenómeno superficial denominado “ridging” y “roping” (aparición de vervios y surcos).



Con y sin defecto superficial

Este defecto adopta la forma de una serie de líneas o surcos, paralelos a la dirección de laminado de la chapa. “Ridging” describe el perfil global de la superficie deformada e incluye tanto las modificaciones de la microgeometría como las ondulaciones características del “roping” causadas por la deformación.

La adición de un elemento estabilizador como el titanio mejora este aspecto. El 430 Ti proporciona unos resultados notables en lo relativo a estos fenómenos, de tal modo que este material se selecciona para reemplazar a los austeníticos en embutición profunda.

## LUBRICACIÓN

Una buena lubricación es esencial para una buena embutición, y evitar, así, la alteración del aspecto superficial y los fenómenos de adherencias perjudiciales para la vida de las herramientas.

Si los ferríticos tienen un acabado brillante y liso, podría utilizarse un lubricante de embutición de alta viscosidad. Los lubricantes utilizados son aceites especiales con una elevada resistencia a la presión y libres, o con un contenido reducido, de cloro. Aplicados uniformemente, resultan fáciles de retirar una vez finalizada la embutición.

## HERRAMIENTAS

El uso de las herramientas correctas es vital, ya que esto ejerce una influencia decisiva sobre las condiciones de fricción y sobre el flujo del metal durante la conformación. En casos



especiales, las herramientas (molde y troquel) pueden ser de cobre, hierro o bronce-aluminio.

Pueden aplicarse tratamientos superficiales, como TiCN, para alargar la vida de servicio. El pisador y las herramientas de troquel deben pulirse cuidadosamente. No es necesario pulimentar el punzón.

*“Los lubricantes utilizados resultan fáciles de retirar una vez finalizada la embutición”.*

## PROPIEDADES DE CONFORMACIÓN DE ACEROS INOXIDABLES

En la tabla siguiente se comparan las propiedades de conformación de los ferríticos (con una estructura metalúrgica y comportamiento específicos) con las del acero al carbono y los austeníticos. Se utilizan criterios estándar aplicados a la definición de las características de la deformación. “Bcc” (cúbico centrado en el cuerpo) y “fcc” (cúbico centrado en las caras) hacen referencia a la estructura atómica específica de cada tipo de acero.



Tubos doblados soldados de un colector, tipo 441.

	Acero al carbono	Acero inoxidable ferrítico	Acero inoxidable austenítico
estructura	bcc	bcc	fcc
endurecimiento por acritud	bajo	bajo	alto
recuperación elástica	bajo	bajo	alto
embutición profunda	excelente	buena	buena
conformación por estirado	buena	buena	excelente
aparición de estrías	no	puede producirse	no



Doblado de un tubo soldado 439 Ti.



Tubos soldados de intercambiador de calor, corrugados y con aletas, tipo 439.



Tubo soldado hidroconformado 1.4003.



Deformación de la soldadura 1.4003.



## EL CASO DE LOS ACEROS FERRÍTICOS

Si bien las tablas y las curvas indican que los austeníticos son superiores en términos de conformabilidad, la ventaja de costes de los aceros ferríticos es tal que el uso de estos puede resultar muy ventajoso económicamente. Según el método de embutición se permite el uso de ferríticos. De hecho, en ciertos casos, tales como la embutición profunda o los efectos de la recuperación elástica, el comportamiento de los ferríticos es mejor que el de los austeníticos.

Los usuarios deberían discutir las cuestiones técnicas de los ferríticos con un proveedor de materiales fiable. Los conocimientos y la experiencia de la industria del acero

inoxidable están disponibles para ayudar a los usuarios a encontrar los ferríticos más adecuados y asegurar que se seleccione el más apropiado para cada aplicación.

*“... la preferencia por el método de embutición permite unos usos de los ferríticos notablemente diversos”.*



LAS NORMATIVAS  
CONTRA LA  
CONTAMINACIÓN, CADA VEZ  
MÁS RESTRICTIVAS, JUNTO  
CON LOS REQUISITOS  
TÉCNICOS Y ECONÓMICOS  
HACEN DEL FERRÍTICO EL  
MATERIAL BÁSICO PARA LOS  
SISTEMAS DE ESCAPE.

## **BERNHARD BLAESER**

**DIRECTOR, MACADAMS BAKING SYSTEMS (PTY) LTD  
SUDÁFRICA**

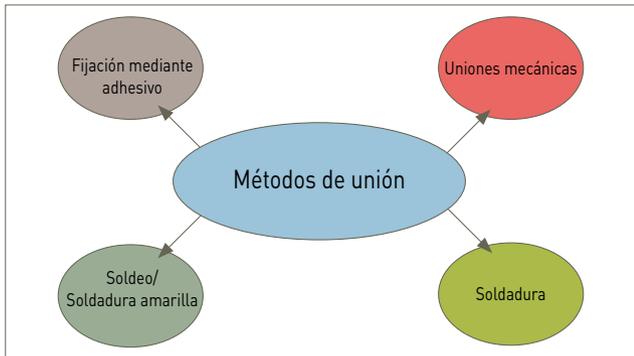
“Mi empresa fabrica hornos de panadería y aparatos de ensayos. Con los significativos incrementos de precios de los austeníticos de los últimos años, muchas industrias han desistido, o lo están haciendo, del uso del acero inoxidable. Esto se observa especialmente en las aplicaciones no térmicas, como los paneles externos de los hornos, y en los equipos que no entran en contacto directo con los alimentos. Puesto que los precios de los ferríticos no se han visto tan afectados, una de las alternativas consiste en utilizarlos como sustitutos. En resumen, los fabricantes deberían considerar sustituir los aceros austeníticos por ferríticos, en lugar de abandonar por completo el uso de acero inoxidable”.



QUÉ SE DICE DE LOS FERRÍTICOS

# Uniones con los tipos ferríticos

*Los ferríticos se adaptan muy bien a los diversos métodos de unión de los aceros inoxidables.*



- **Soldadura:** unión completa de dos o más materiales mediante la fusión y resolidificación de los metales de base y de aportación.
- **Soldeo:** unión de materiales calentándolos hasta la temperatura de soldeo (por debajo del sólido del metal de base) en presencia de metales de aportación con un líquido de  $<450^{\circ}\text{C}$ .
- **Soldadura amarilla:** igual que el soldeo pero la coalescencia se produce a  $>450^{\circ}\text{C}$ .
- **Unión mecánica:** incluye clinchado, engatillado, remachado y fijadores mecánicos.
- **Fijación mediante adhesivo:** se juntan a presión superficies limpias y activadas tras la aplicación de un agente adherente, que adquiere la adherencia utilizando oxígeno, agua o una reacción química.



*“Los ferríticos presentan algunas ventajas con respecto a los austeníticos, ya que su dilatación térmica es menor...”*

## SOLDADURA

De los procesos de soldadura desarrollados para los aceros al carbono que pueden utilizarse con los inoxidables, tan sólo unos pocos son realmente apropiados y se han convertido en estándar: arco, por resistencia, por haz de electrones, por láser y por fricción.

La soldadura es la manera más eficaz y económica de unir metales. El proceso permite obtener unas estructuras de peso más ligero (mediante el uso óptimo de los materiales), una todos los metales comerciales y proporciona flexibilidad de diseño.

Las soldabilidad de los aceros inoxidables viene dada por la composición química, la estructura metalúrgica y las propiedades físicas. Los ferríticos presentan algunas ventajas con respecto a los austeníticos, ya que su dilatación térmica es menor, su resistividad eléctrica más baja y su conductividad térmica más elevada.

## FERRÍTICOS ESTABILIZADOS Y NO ESTABILIZADOS

Los ferríticos tienden a ser menos susceptibles que los austeníticos a la corrosión intergranular, que puede producirse por la soldadura.



Esto es especialmente cierto en el caso de los ferríticos “estabilizados”, que contienen formadores de carburos como titanio (Ti) y niobio (Nb). Estos ligan el carbono durante el soldeo, impidiendo su combinación con el cromo para formar carburo de cromo. Al evitarse el agotamiento del cromo en el borde de grano, los ferríticos estabilizados son inmunes a la corrosión intergranular.

Con el fin de asegurar una estabilización completa, el contenido de Ti debe ser 5 veces mayor que el de carbono, o el de Nb+Ti debe ser 3 veces mayor que el de carbono. Además, es aconsejable introducir nitrógeno para afinar el grano en la zona fundida.

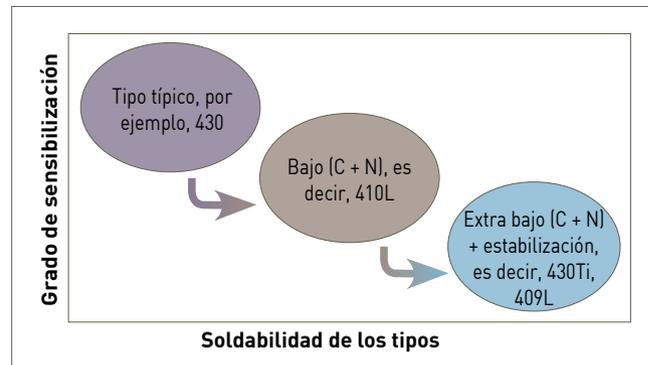
Los ferríticos no estabilizados no contienen Ti o Nb y, por lo tanto, pueden ser susceptibles a la corrosión intergranular en la zona afectada térmicamente, debido a la formación de carburo de cromo. Este efecto se denomina “sensibilización”. Su alcance depende fundamentalmente del nivel de carbono.

La resistencia a la corrosión de los aceros sensibilizados puede restaurarse mediante recocido, a una temperatura comprendida entre 600° y 800°C.



Soldadura de sistema de escape, tipo 439, Corea del Sur

*“... los ferríticos estabilizados son virtualmente inmunes a la corrosión intergranular”.*



## METALES DE APORTACIÓN

Para que una soldadura sea resistente a la corrosión, cualquier metal de aportación ferrítico debe superar ligeramente la composición del metal de base en lo relativo a los elementos de aleación Cr, Mo, Ti y/o Nb, ya que el calentamiento tenderá a producir una pérdida de cromo en la zona de la soldadura. También se puede utilizar metal de aportación austenítico, con un contenido de Cr y Mo más elevado.

## GASES DE PROTECCIÓN

Al tener un contenido de cromo elevado, los aceros inoxidable son altamente oxidables en el estado fundido. Si no se protegen del aire durante el proceso, se perderá el cromo y se formarán óxidos, lo que provocará una falta de solidez y una disminución de la resistencia a la corrosión en la soldadura. Normalmente, la protección de la superficie de la soldadura y del área adyacente se asegura proporcionando una pantalla gaseosa inerte. Este gas de protección puede ser argón puro (Ar) o helio (He) o una mezcla de Ar y He.

Para la soldadura de los ferríticos, estos gases de protección deben ser argón puro o mezclas de argón y helio. Las mezclas de argón e hidrógeno, utilizadas con frecuencia para los austeníticos, implican el riesgo de fragilización del hidrógeno en la junta soldada en el caso de los ferríticos. El argón es el gas más utilizado. El nitrógeno no debe utilizarse con los ferríticos.

## LOCALIZACIÓN DE FALLOS EN LAS SOLDADURAS FERRÍTICAS

Además de los riesgos mencionados anteriormente, también puede haber riesgos de fragilización mediante la “formación de fase” y el “crecimiento de grano” a altas temperaturas. Las soluciones para estos riesgos se indican en la siguiente tabla de acciones correctivas.



Depósito soldado, tipo 444, Europa.

## SOLDADURA DE LOS FERRÍTICOS: REMEDIOS

Grupo de acero inoxidable	Característica especial	Fenómeno	Causa	Cómo evitarlo
Grados no estabilizados	Sensibilización	Resistencia a la corrosión insatisfactoria en la zona soldada	Precipitación de carburos de cromo en el borde de grano	Temperatura de recocido dentro del intervalo 600-800°C
Tipos estabilizados	Crecimiento del grano	Tenacidad insatisfactoria en la zona soldada	Crecimiento excesivo del grano debido a la alta temperatura	Minimización de la aportación térmica de la soldadura
Tipos con alto contenido de Cr-Mo	Fragilización 475°C	La fragilización se produce a 400-500°C	Formación de fase sigma ( $\sigma$ ) debido a descomposición de la fase $\sigma$	Recalentamiento a 600°C y enfriamiento rápido
Tipos con alto contenido de Cr-Mo	Fragilización de la fase sigma ( $\sigma$ )	La fragilización se produce a 550-800°C	Formación de fase sigma ( $\sigma$ )	Recalentamiento por encima de 800°C y enfriamiento rápido
Tipos no estabilizados	Fragilización de fase martensítica	La fragilización se produce en los tipos de mayor contenido de C y menos contenido de Cr	Formación de fase martensítica debido a enfriamiento más rápido	Eliminación de la fase martensítica mediante recocido prolongado a un intervalo de temperaturas de 600-700°C

## SOLDADURA CON ARCO

La soldadura con arco es el tipo de soldadura más utilizado con los ferríticos.

### SOLDADURA CON ARCO DE TUNGSTENO (GTAW O TIG/WIG)

En este proceso (también denominado soldadura con tungsteno o wolframio y gas inerte), la energía necesaria para fundir el metal se suministra mediante un arco eléctrico entre el electrodo y la pieza.



Depósito soldado, tipo 441, Sudáfrica.

Los aceros inoxidables siempre se sueldan con CC (el electrodo es el polo negativo), bajo una atmósfera inerte. Si se utiliza un metal de aportación, éste tendrá la forma de varillas no revestidas (soldadura manual) o de hilo enrollado (soldadura automática).



Laminador de tubos, Brasil.

### SOLDADURA POR ARCO METÁLICO Y GAS (GMAW O MIG)

A diferencia del proceso GTAW, en el proceso GMAW (también denominado proceso de gas inerte y metal), el electrodo es consumible. El arco se aplica entre el hilo de aportación fundido y la pieza de trabajo. Normalmente el gas de protección, inyectado por el soplete, es argón con una adición del 2-3% de oxígeno, si bien pueden utilizarse mezclas más complejas para ciertas soldaduras.

Puesto que la soldadura está formada fundamentalmente por metal de aportación, es vital que la composición de éste favorezca la penetración y la humectación perfecta del metal base.

Este proceso de alta productividad es más difícil de efectuar que el proceso GTAW, pero cuando el proceso está bien controlado los resultados pueden ser excelentes.

### SOLDADURA POR RESISTENCIA

En la soldadura por resistencia, se hace pasar una corriente eléctrica a través de las piezas que vayan a unirse.



Basidor e estructural soldado, tipo 1.4003.

Existen varias técnicas de soldadura por resistencia. Las más habituales son la soldadura por puntos y la continua. En ambos casos, las ventajas principales son las siguientes:

- La modificación limitada de la microestructura en las zonas afectadas térmicamente (HAZ);
- La ausencia virtual de oxidación superficial, si se enfrían correctamente las chapas;
- El nivel tan reducido de distorsión de las chapas tras la soldadura;
- La deformación de “forja” durante la soldadura, que resulta especialmente útil para la unión de aceros ferríticos.

A diferencia del acero suave, las diferencias de los parámetros de soldadura para el acero inoxidable son: la potencia más reducida y ajustada, con mayor precisión (debido a las conductividades eléctrica y térmica) y las mayores fuerzas de los electrodos.

## OTROS PROCESOS

Otros procesos de soldadura para los ferríticos son la soldadura por haz de electrones y haz láser, y la soldadura por fricción.

## SOLDEO Y SOLDADURA AMARILLA

Se utilizan para unir componentes metálicos en estado sólido mediante un metal de aportación fusible con un punto de fusión muy por debajo del del metal base. El soldeo utiliza material de aportación blando, con punto de fusión inferior a 450°C, mientras que para la amarilla, son más duras y funden a temperaturas más elevadas.



Soldadura de un canalón, tipo 430Ti revestido de estaño

Entre las ventajas de estas técnicas de unión se incluyen las siguientes características:

- Sólo requieren una fuente de calor de baja temperatura.
- Las uniones pueden ser permanentes o temporales.
- Es posible unir materiales dispares.
- La velocidad de calentamiento y enfriamiento es lenta.
- Es posible unir piezas de espesor variable.
- La realineación es sencilla.
- Requieren menos calor que la soldadura.

A la hora de decidir la idoneidad de estos tipos, para una junta estructural concreta, es necesario evaluar cuidadosamente la resistencia o rendimiento necesarios de la junta.

Hay que asegurar la soldadura perfecta de las dos piezas mediante el material de aportación fundido, mientras se efectúa la unión.

La sensibilización se producirá con mayor facilidad en el caso de los tipos no estabilizados.



Antes y después del decapado



Tubos soldados por soldadura amarilla, tipo 641

## DECAPADO, PASIVADO Y DESCONTAMINACIÓN

La ligera decoloración de la soldadura debe eliminarse mediante descascarillado mecánico o decapado químico.

El decapado se efectúa con solución fluorhídrica (10% HNO<sub>3</sub> + 2% HF) o pastas decapantes diseñadas especialmente para las soldaduras.

Este proceso va seguido de un pasivado y una descontaminación para restablecer de nuevo la capa pasiva (ver pág 59) y eliminar los residuos metálicos (partículas ricas en hierro). El proceso implica la inmersión en un baño de ácido nítrico frío (20-25%).

El pasivado local de las zonas soldadas también puede efectuarse mediante pastas pasivantes especiales.

## UNIONES MECÁNICAS

Las técnicas de unión mecánica utilizadas para los aceros al carbono también pueden utilizarse con éxito con los aceros inoxidables.



Las uniones mecánicas ofrecen ciertas ventajas:

- Es posible unir materiales dispares.
- No hay ninguna zona afectada térmicamente (ZAT).
- Es posible unir piezas de espesor variable.
- No se produce dilatación térmica.

No obstante, es necesario tener en cuenta el hecho de que las propiedades mecánicas de las uniones mecánicas pueden presentar ciertas debilidades, ya que no se produce la coalescencia total de las piezas unidas. También es necesario el acceso por ambos lados para efectuar el proceso.

Es necesario asegurar que ninguna de las superficies en contacto sea susceptible de inducir corrosión galvánica. Para evitar esto, es preferible que las piezas a unir estén fabricadas con el mismo acero inoxidable o con uno equivalente. Naturalmente, todos los tornillos, pernos, fijadores o remaches deben ser de acero inoxidable.

### ATORNILLADO Y CON PERNO

Los tornillos y pernos de acero inoxidable están disponibles en todos los tipos principales. Mientras que los ferríticos, con un contenido de Cr del 17%, son más adecuados para entornos sólo ligeramente agresivos, su resistencia a la corrosión en medios que contengan cloruros se ve potenciada mediante la adición de un 1-1,5% de molibdeno.



## REMACHADO

Esta técnica siempre se efectúa a temperatura ambiente, utilizando remaches de un diámetro máximo de aproximadamente 5 mm. Es muy recomendable diseñar las juntas de tal manera que los remaches se carguen a cortadura en lugar de a tracción.



Auto-remache en 430, 1,5 mm

## CLINCHADO

Esta técnica de unión puede aplicarse a los aceros inoxidables por su gran ductilidad. Al tratarse de un proceso de conformación en frío, no provoca modificaciones estructurales ni oxidación superficial.

Puesto que las chapas a unir deben solaparse, se combina con un adhesivo, produciendo una junta sellada hermética para evitar la corrosión en las hendiduras. Este sistema amortigua las vibraciones.

## ENGATILLADO

En esta técnica, los bordes de una o de las dos chapas se doblan en un ángulo de 180° para producir una unión estanca. Al igual que con el clinchado, es posible unir diferentes materiales como, por ejemplo, un austenítico y un ferrítico.

Esta técnica permite obtener juntas a prueba de fugas de líquidos y su uso está muy generalizado en la fabricación de electrodomésticos.



Interior de lavadora en desuso

## FIJACIÓN MEDIANTE ADHESIVO

La fijación mediante adhesivo puede utilizarse para reforzar juntas mecánicas o para unir chapas finas de acero inoxidable.



Unión de canalones mediante adhesivo 430 y revestido de estano.

Las ventajas de la fijación mediante adhesivo son las siguientes:

- No se produce modificación alguna del aspecto superficial, la geometría o la microestructura de las áreas montadas.
- Es posible unir materiales dispares de manera sencilla y estética.
- Con un diseño correcto, las juntas pueden ofrecer una excelente resistencia a la fatiga.
- Este método puede proporcionar aislamiento térmico, eléctrico o acústico.
- Es posible unir piezas de espesor variable.

No obstante, hay que tener en cuenta que estas juntas tienden a tener un límite de 200°C, además de una cierta sensibilidad a la humedad y nunca serán tan resistentes como las juntas efectuadas mediante soldadura o soldeo. Por ello, normalmente se utilizan para producir uniones con recubrimiento, con la carga extendida sobre un área suficiente para limitar tensiones locales.

También es posible que un acero inoxidable de superficie lisa (especialmente recocado brillante) no ofrezca buenas propiedades de adherencia.

Tras dotarlas de aspereza, las superficies deben estar muy limpias, secas y bien preparadas. Para una buena adherencia es básica la humectación satisfactoria del sustrato por parte del adhesivo.

Como ejemplo, actualmente los fabricantes de autobuses y autocares construyen con bastidores hechos con perfiles de acero inoxidable, frecuentemente ferrítico 1.4003/410. La piel (lámina y/o vidrio) se fija mediante adhesivo a este bastidor. Este sistema prolonga la vida útil del vehículo y reduce su peso.



Ventanas fijadas mediante adhesivo a un marco tubular 1.4003.







## NICK MCDONALD

DTOR. MÁRKETING, LINCAT LIMITED, LINCOLN, REINO UNIDO

“Fundada en 1971, Lincat ha sido pionera en la fabricación de equipos de cocina profesionales durante 36 años. El acero inoxidable ferrítico 430, que hemos utilizado desde el comienzo, es indiscutiblemente el pilar básico de nuestra gama de productos”.

“Este tipo se ajusta perfectamente a las especificaciones de nuestras aplicaciones y es una manera económica de disfrutar de las ventajas del acero inoxidable, tan importantes a la hora de manipular alimentos. Además, la baja dilatación térmica del 430 representa otra importante ventaja técnica en las aplicaciones a altas temperaturas”.



“Lo fabricamos prácticamente todo en acero ferrítico 430, excepto algunos componentes, como depósitos internos de las cubetas para baños maría (304). Desde el punto de vista de la fabricación, nuestros productos están diseñados para que sean muy fáciles de limpiar, y el 430 es un material con el que resulta muy sencillo.”

“Atendiendo a las necesidades de nuestros clientes, tenemos una gran reputación en lo relativo a la extraordinaria fiabilidad de nuestros productos y la construcción sólida y duradera de los mismos. El ferrítico 430 es esencial en esta ecuación. Tanto nosotros como nuestros clientes estamos muy satisfechos de ello”.

# Productos y aplicaciones

*Con frecuencia los ferríticos se asocian con elementos decorativos, fregaderos y sistemas de escape. Sin embargo, su utilidad actual y potencial va mucho más allá ...*

Los ferríticos son aceros con contenido exclusivo de cromo, sin níquel. Son resistentes a la corrosión y la oxidación, extremadamente resistentes a la fisuración por corrosión bajo tensión, magnéticos y poseen un gran número de ventajas técnicas y estéticas. Con frecuencia proporcionan más valor que el acero al carbono y son significativamente más económicos que los austeníticos.

Actualmente su gama de aplicaciones no se ha explorado al máximo y las páginas siguientes muestran parte de los usos potenciales de estos materiales. El capítulo muestra aplicaciones de un gran número de sectores del mercado y de países del mundo.

El fin de esta publicación es ofrecer ideas a los usuarios de ferríticos existentes y potenciales, presentando aplicaciones materializadas con éxito. Además, pretende promover una selección de materiales responsable; la relación óptima entre el material y la aplicación nunca ha tenido tanta importancia.

## AUTOMOCIÓN

### COMPONENTES DE SISTEMAS DE ESCAPE



Tipo 1.4509/441, filtro de partículas diésel, Peugeot 607, Faurecia

### COMPONENTES DE SISTEMAS DE ESCAPE



Tipo 1.4509/441, colector, Faurecia

### COMPONENTES DE SISTEMAS DE ESCAPE



Tipo 1.4512/409, silenciador, Faurecia, Corea del Sur

### COMPONENTES DE SISTEMAS DE ESCAPE



Tipo 304 & 441, filtro de partículas diésel, Mercedes Clase E, Faurecia

### COMPONENTES DE SISTEMAS DE ESCAPE



Tipo SUS430J1L carcasa de convertidor catalítico, Sopladura en 20%Cr-5%Al

### COMPONENTES DE SISTEMAS DE ESCAPE



Tipo 1.4509/441, convertidor catalítico, Faurecia

### ELEMENTOS DECORATIVOS



Tipo SUS430, Corea del Sur

### ELEMENTOS DECORATIVOS



Tipo SUS430J1L, Japón

**ELEMENTOS DECORATIVOS**



Tipo SUS430, Corea del Sur

**ELEMENTOS DECORATIVOS**



Tipo 1.4016/430, guarnición revestida en negro, EE.UU.

**ELEMENTOS DECORATIVOS**



Tipo 1.4113/434, EE.UU.

**ELEMENTO FRONTAL S.U.V.**



Tipo 1.4513, Plastic Omnium, Francia

**MALETERO DE UN VEHÍCULO**



Tipo 1.4510/430Ti, Peugeot 307, Francia

**FARO DELANTERO**



Tipo 1.4513, faro, Italia

**CAMIÓN**



Tipo 1.4113, elementos decorativos, EE.UU.

**ABRAZADERAS**



Tipos 1.4509/441 y 1.4016/430

**FILTROS**



Tipo 1.4512/409 L, Taiwán, China

**DISCOS DE FRENO**



Tipo 1.4028/420

**TERMOSTATO**



Tipo 1.4512/409, Francia

**RUEDA DE PALAS**



Tipo 1.4512/409, 1,5 mm de espesor, Francia

# EDIFICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

## ACCESORIOS

### FERRETERÍA – BISAGRAS Y FIJADORES DE VENTANAS



Tipo 1.4016/430, Europa

### CANALONES



Tipo 1.4510/430Ti, estañados, Europa

### CANALONES



Tipo 1.4521/444, Europa

### CONDUCTO DE CHIMENEA



Tipo 1.4521/444, Chimeneas, Poujoulat, Francia

## CONSTRUCCIÓN

### AISLANTES EXTERIORES DE TUBOS CUADRADOS



Tipo SUH409L (1.4512/409), JSSA, Japón

### ALOJAMIENTOS DE EMERGENCIA



Tipo 1.4016/430, pintado, VERNEST® y Centro Inox, Italia

### REFUGIO DE SISTEMA DE COMUNICACIONES



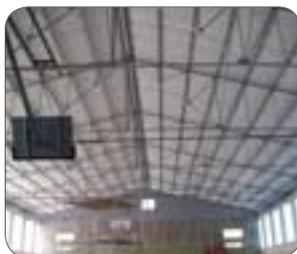
Tipo SUS436L (1.4526/436), JSSA, Japón

### NAVE INDUSTRIAL



Tipo 1.4003, nueva nave de acabados de Columbus, Sudáfrica

### ESTRUCTURA DE CUBIERTA



Soporte de tejados: una aplicación potencial para los ferríticos.

### EDIFICACIÓN



Tipo SUS445J1 & SUS445J2, Nakano Sakaue Bldg., 1996, Japón

### EDIFICACIÓN



SUS445J2 revestido de resina, Phoenix Resort, 1994, Japón

### EDIFICACIÓN



Piezas exteriores SUS445J1, Interiores SUS304, Nihonbashi Mitsui Bldg., 2005, Japón

## CONSTRUCCIÓN CIVIL

PLACA INSONORIZADORA  
PARA PASO ELEVADO

Tipo SUS436 [1.4526/436],  
JSSA, Japón

ESTRUCTURA DE ACERO DE  
PUENTE

Tipo 1.4003/410 pintado,  
SASSDA, Sudáfrica  
(puente en servicio durante  
más de 8 años).

## PARED INTERIOR DE TÚNEL



Tipo SUS430J1L [1.4016/430],  
JSSA, Japón

## PARED INTERIOR DE TÚNEL



Tipo 1.4016/430, pintado, Túnel  
de Monte Mario, Centro Inox,  
Italia

## VALLA CORTAVIENTOS



Tipo SUS445J2,  
JSSA, Japón

## PUERTAS DE ANDÉN



Tipo 1.4510/439, acabado hair-  
line, KOSA, Corea del Sur

## POSTES DE ELECTRIFICACIÓN



Tipo 1.4003 (primera apli-  
cación importante en 1982, a  
lo largo de la costa - 10 m del  
límite máximo del oleaje, sin  
corrosión, Sudáfrica)

## GENERACIÓN DE ENERGÍA



Tipo 1.4003/ 410, torre de  
refrigeración, Sudáfrica

## REVESTIMIENTOS

REVESTIMIENTO DE  
FACHADA DE EDIFICIO

Tipo SUS445M2, acabado  
mate de baja reflectividad,  
ASSDA, Australia

REVESTIMIENTO DE  
FACHADA DE EDIFICIO

Tipo 1.4521/444 cepillado N° 4  
(paneles horizontales), Edificio  
Vivo, Río De Janeiro, Nucleo  
Inox, Brasil (entorno costero)

REVESTIMIENTO DE  
FACHADA DE EDIFICIO

Tipo SUS445J2, Museo de  
Ciencias del Futuro, JSSA,  
Japón

REVESTIMIENTO DE  
FACHADA DE EDIFICIO

Tipo 1.4526/436, Ugine & Alz  
Centro de Servicios, Arcelor  
Mittal Stainless, Katowice,  
Polonia

**ASCENSORES**

**ESCALERAS AUTOMÁTICAS**



Tipo SUS430LX (1.4016/430),  
Japón

**PANELES DE ASCENSOR**



Tipo 1.4510/439

**CUBIERTAS**

**CUBIERTA DE MEDIADOME**



Tipo SUS445J2, Kitaky-  
ushu Mediadome (Fukuoka  
Pref.)1998, Japón

**CUBIERTA DE ESCUELA**



Tipo 430Ti (técnica de cubierta  
estanca), Ugine & Alz, Austria

**CUBIERTA DE GIMNASIO**



Tipo 445, KOSA,  
Corea del Sur

**CANOPY**



Tipo 446, KOSA,  
Seúl, Corea del Sur

**TEJADO DE CHALET**



Tipo 1.4510/430Ti (técnica de  
cubierta estanca), Ugine & Alz,  
Alemania.

**CUBIERTA DE AEROPUERTO**



Tipo SUS447J1, edificio de la  
terminal del aeropuerto Kan-  
sai (arquitecto Renzo Piano),  
JSSA, Osaka, Japón

**MOBILIARIO URBANO**

**FAROLA**



Tipo 1.4510/439, tubo soldado  
electropulido, KOSA, Seúl,  
Corea del Sur

**BUZONES**



Tipo 1.4003/410,  
pintado, SASSDA,  
Sudáfrica. Los ferríticos se  
suelen pintar por cuestiones  
estéticas.

**MÁQUINA EXPENDEDORA DE  
BILLETES EN ANDÉN**



Tipo 1.4003/410, pintado (15  
años de servicio), SASSDA,  
Reino Unido

**CUADROS ELÉCTRICOS**



Tipo 1.4003/410, pintado  
(15 años de servicio), SASSDA,  
Sudáfrica

# EQUIPOS PARA LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

## HORNO DE PANADERÍA



Tipo 430, Macadams Baking Systems (PTY) Ltd, Sudáfrica

## COCINA DE GAS



Tipo 430, Lincat, Reino Unido

## MÁQUINA DE CAFÉ



Tipo SUS430J1, JSSA, Japón

## EXPENDEDOR DE ALIMENTOS



Tipo 430, Lincat, Reino Unido

## TOSTADORA



Tipo 430, Lincat, Reino Unido

## HORNO MICROONDAS



Tipo 430 (interior y exterior), JSSA, Japón

## COCINA DE GAS



Tipo 430 (quemador de gas), POSCO, Corea del Sur

## FRIGORÍFICO



Panel SUS430J1L antihuellas, JSSA, Japón

## CAFETERA



Tipo 430, Lincat, Reino Unido

## CARRO DE RESTAURANTE



Tipo 430

## EXPOSITOR DE ALIMENTOS



Tipo 430, Lincat, Reino Unido

## ARMARIO DE PARED



Tipo 430, Lincat, Reino Unido

# HOGAR Y OFICINA

Actualmente se considera que los ferríticos (serie 400) son óptimos para las siguientes aplicaciones en base a su calidad estética, su resistencia a los agentes de limpieza y desinfección y su reducido coeficiente de dilatación térmica (para las cocinas de inducción). Además, ofrecen considerables ventajas económicas con respecto a otros materiales.

## EQUIPOS DE COCINA DOMÉSTICOS

### COCINA DE GAS



KOSA, Corea del Sur

### VARIOS



TKN, Alemania

### HORNO MICROONDAS



Tipo SUS430J1, JSSA, Japón

### COCINA DE GAS PORTÁTIL



TSSDA, Tailandia

### BARBACOA



Tipo 1.4016/430, pantalla antiviento y brasero, Ompagrill y Centro Inox, Italia

### BARBACOA



Tipo 1.4016/430, barbacoa, EEUU

## UTENSILIOS DE COCINA Y CAZUELAS

### WOK



### UTENSILIOS DE COCINA DE INDUCCIÓN



Groupe SEB (Tefal)

### OLLA A PRESIÓN



Tipo 430, Groupe SEB

### CAZUELAS



Tipo 430, POSCO, Corea del Sur

## LAVAPLATOS

### LAVAPLATOS



Tipo 430, panel interior

### LAVAPLATOS



Panel exterior SUS430J1L antihuellas, JSSA, Japón

PEQUEÑOS ELECTRODOMÉSTICOS

LAVAPLATOS



Tipo 430 (panel exterior e interior), Haier, China

EXPRIMIDOR



Tipo 1.4513, TKN, Italia

MEZCLADORA



Tipo 430

OLLA ARROCERA ELÉCTRICA



SUS430 revestido de resina, JSSA, Japón

EQUIPOS

HERVIDOR ELÉCTRICO



SUS430 revestido de resina, JSSA, Japón

BALDAS



Tipo 1.4016/430, baldas horizontales, Graepel y Centro Inox, Italia

CUBO DE BASURA



Tipo 1.4016/430, Graepel y Centro Inox, Italia

MAMPARA



Tipo 430, POSCO, Corea del Sur

CAMPANAS EXTRACTORAS

BARANDILLA



Tipo 430, tubo soldado

MARCO DE PANTALLA LCD



Tipo 410, POSCO, Corea del Sur

CAMPANA EXTRACTORA DE COCINA



Tipo 430, Blanco, TKN, Alemania

CAMPANA EXTRACTORA DE COCINA



Tipo 430, Falmec, Nucleo Inox, Brasil

## EQUIPOS DE COCINA

### DISPENSADOR DE LÍQUIDOS



Tipo 430

### HERVIDOR ELÉCTRICO



Tipo 430, Groupe SEB

### HERVIDOR DE PASTA



SUS430J1L monocapa (calentamiento por inducción), JSSA, Japón

## FRIGORÍFICOS

### NEVERA Y CONGELADOR



Panel de tipo 430

## FREGADEROS

### NEVERA Y CONGELADOR



Panel de puerta de tipo 430, TKN, Alemania

### FREGADERO DE COCINA DOMÉSTICA



Tipo 430, Tramontina, Brasil

## LAVADORAS

### TAMBOR



Tipo 430 (tambor y panel exterior), TKN, Alemania

### TAMBOR



Tambor de 430, LG Electronics, Corea del Sur

## SECADORAS

### TAMBOR



Tipo SUS430, JSSA, Japón

### TAMBOR



Tipo 409, Whirlpool, Europa

## SERVICIO DE MESA

### CUCHARA ASIÁTICA



Tipo 430

### CUBERTERÍA



Serie 400, IKEA

# INDUSTRIA

Los ferríticos se utilizan de manera generalizada en aquellas aplicaciones en las que el mantenimiento del acero al carbono resulta virtualmente imposible.

## TUBOS DE SALIDA DE PRESA



Tipo 1.4003/410 pintado,  
Columbus, Sudáfrica

## COMPUERTAS DE CONTROL



Tipo 1.4003/410 pintado,  
Columbus, Sudáfrica

## DEPÓSITOS



Tipo SUS430J1L,  
revestido de resina en color  
(camisa exterior), JSSA, Japón

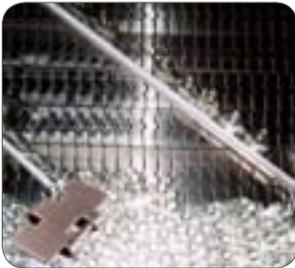
## COLUMNA DE DESTILACIÓN FRACCIONADA



Tipo 410S, Europa

## QUEMADORES

### CINTA TRANSPORTADORA



Tipo 410S, Europa

### QUEMADORES



Tipo 1.4509/441  
(alta resistencia a la corrosión)

### QUEMADOR



Tipo SUS430, quemador de gas  
de caldera, JSSA, Japón.

## CALDERAS

### TUBO INTERIOR DE CALDERA



Tipo 1.4521/444,  
KOSA, Corea del Sur

## HERVIDOR DE AGUA INSTANTÁNEO "HYDROBOIL"



Tipo 1.4521/444, ZIP Industries  
& ASSDA, Australia

## CALDERA



Tipo 444, Europa

## DEPÓSITO DE AGUA CALIENTE



Tipo 1.4521/444, Europa

## DEPÓSITO DE AGUA CALIENTE



Tipo SUS444, JSSA, Japón

## PROCESO ALIMENTARIO

### INTERCAMBIADORES DE CALOR

Sustitución de cuproníquel (debido a la erosión por vapor y a la migración del cobre), acero al carbono (problemas de erosión) y 304 (mayor dilatación térmica que el bastidor de acero al carbono).

#### PAREDES Y TECHOS



Tipo 445M2, Melbourne, Australia

#### TUBOS SOLDADOS DE RECALENTADOR EN SEPARADOR DE HUMEDAD



Tipo 1.4510/439, VALTIMET, Europa

#### TUBOS SOLDADOS DE ALIMENTACIÓN DE AGUA EN CALENTADOR



Tipo 1.4510/439, VALTIMET, Europa

#### TUBOS SOLDADOS DE CONDENSADOR



Tipo 1.4510/439, VALTIMET, Europa

## CALENTADORES DE AGUA SOLARES

#### CALENTADOR DE AGUA SOLAR



Tipo SUS444, Suncue Company Ltd. y YUSCO, Taiwán, China

#### CALENTADOR DE AGUA SOLAR



Tipo 1.4509/441 (cilindro), Sun Sank y SASSDA, Sudáfrica

#### CALENTADOR DE AGUA SOLAR



Paneles solares: bastidor y colector, una aplicación potencial de los ferríticos 441/444.

## INDUSTRIA AZUCARERA

#### SISTEMA TRANSPORTADOR



Tipo 1.4003/410, Columbus, Sudáfrica. En este caso, el acero ferrítico ha tenido una duración superior a 18 años.

#### TRANSPORTADOR DE PIZARRA



Tipo 1.4003/410, Columbus, Sudáfrica. Esta máquina ha estado en servicio durante 22 años.

#### TAPA DE CALENTADOR



Grado 1.4003/410, Columbus, Sudáfrica. Acero al carbono (parte superior) comparado con acero ferrítico (parte inferior) tras 6 años de servicio.

#### TUBOS DE INTERCAMBIADOR DE CALOR



Tipo 1.4521/444, Nucleo Inox, Brasil

#### CRISTALIZADOR Y DIFUSOR



Tipo 1.4003/410, Columbus, Sudáfrica

## DEPÓSITOS

## DEPÓSITOS Y TUBERÍAS DE AGUA



Tipo 444, Brasil

## DEPÓSITO DE AGUA



Tipo 444, KOSA, Corea del Sur

## DEPÓSITO DE AGUA



Parcialmente en SUS444, acabado N° 4, JSSA, Japón

## DEPÓSITO DE AGUA



Parcialmente en SUS444, acabado N° 4, JSSA, Japón

## DEPÓSITO DE FERMENTACIÓN Y ALMACENAMIENTO



Tipo 444, Nucleo Inox, Brasil. Sander Inox produce depósitos, con éxito, desde hace 7 años.

## DEPÓSITO DE FERMENTACIÓN Y ALMACENAMIENTO



Tipo 444, Nucleo Inox, Brasil

## TUBO DE ESCAPE DE MOTOCICLETA



Tipo 1.4512/409L, YUSCO, Taiwán, China

## TUBO DE ESCAPE DE MOTOCICLETA



Tipo 1.4509/441, Centro Inox, Italia. La nueva Vespa ET2 está equipada con un silenciador catalítico ferrítico.

## TUBO DE ESCAPE DE MOTOCICLETA



Tipo 409L

## TUBO DE ESCAPE DE MOTOCICLETA



Tipo 409L, Acesita, Brasil

## ROTOR DE DISCO DE FRENO



Tipo SUS410SM1, JSSA, Japón

## VARIOS



Discos de freno de tipo 420, elemento decorativo 1.4113, Italia

## MOTOCICLETA

# TRANSPORTE

## BASTIDOR DE AUTOBÚS Y AUTOCAR



Tipo 1.4003/410, Columbus, Sudáfrica.

## BASTIDOR DE AUTOBÚS Y AUTOCAR



Tipo 1.4003/410 (parte inferior pintada), Columbus, Sudáfrica.

## BASTIDOR DE AUTOBÚS Y AUTOCAR



Tubos soldados y panel de tipo 1.4003, Solaris Bus & Coach Co., Polonia

## CONTENEDOR



Tipo 1.4003/410 (bastidor y paneles), POSCO, Corea del Sur

## CONTENEDOR



tipo 1.4003/410, pintado (bastidor y paneles de puerta)

## VAGÓN DE CARBÓN



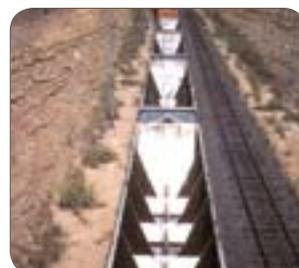
Tipo 1.4003/410 (paneles), Columbus, Sudáfrica. En servicio durante más de 20 años.

## VAGÓN DE CARBÓN



Tipo 1.4003/410 (paneles), Columbus, Sudáfrica. En servicio durante más de 15 años.

## VAGÓN DE CARBÓN



Tipo 1.4003 (interior del elemento anterior), SASSDA, Sudáfrica

## VAGÓN DE CARBÓN



Tipo 1.4003/410, pintado, Europa

## VAGÓN DE CARBÓN



Tipo 409/410, pintado, TISCO, PRC

## VAGÓN DE CARBÓN



Tipo 1.4003, SASSDA, Sudáfrica

## TRANVÍA



Tipo 1.4003/410 (carrocería y paneles pintados), Europa



# APÉNDICES

## La composición química de los aceros inoxidable ferríticos

*Los aceros inoxidable ferríticos presentan unas propiedades similares a las del acero común, pero muestran una resistencia a la corrosión mucho mejor. Su desarrollo se inició hace más de un siglo.*

### PRIMEROS FERRÍTICOS

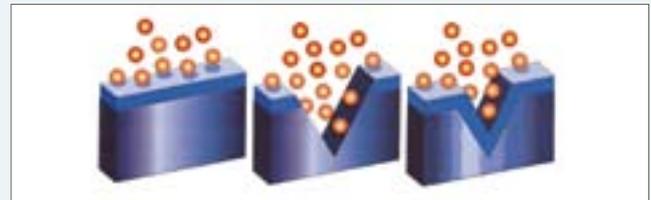
El acero inoxidable se “descubrió” alrededor de 1900-1915. Al igual que otros descubrimientos, fue posible gracias al esfuerzo de varios científicos. En Inglaterra, Francia y Alemania se publicaron trabajos de investigación sobre aleaciones con composiciones que actualmente se conocen como 410, 420, 430, 442, 446 y 440c.

Los aceros inoxidable deben tener un contenido de carbono muy bajo. Durante muchos años resultaba difícil obtener un nivel de carbono tan bajo, lo que explica la aparición tardía de los buenos ferríticos (en los años 80 del siglo XX).

### LOS TIPOS Y SUS PROPIEDADES QUÍMICAS

El cromo (Cr) es con diferencia el elemento de aleación más importante en la producción de acero inoxidable. Forma la capa “pasiva”, que hace que sea resistente a la corrosión y aumenta la resistencia al descascarillado, al desgaste y a la tracción.

Para la formación de la capa superficial de cromo protectora y autorreparadora, es necesario un contenido de cromo mínimo del 10,5% (en peso). Cuanto mayor sea el contenido de cromo, mayor será la fuerza de la capa pasiva.



Si se mecaniza la superficie del acero inoxidable o se daña accidentalmente, la capa pasiva se autorregenera, en presencia del aire o agua.

### COMPOSICIÓN QUÍMICA Y NORMAS INTERNACIONALES

Las tablas siguientes muestran el análisis químico de los cinco grupos de aceros inoxidable ferríticos.



LOS 5 GRUPOS DE TIPOS FERRÍTICOS

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
10%-14%	14%-18%	14%-18% estabilizado	Mo añadido	Otros
Tipos 409, 410, 420 Contenido de Cr: 10%-14%	Tipo 430 Contenido de Cr: 14%-18%	Tipos 430Ti, 439, 441, etc. Contenido de Cr: 14%-18%. Incluyendo elementos estabilizantes como Ti, Nb, etc.	Tipos 434, 436, 444, etc. Contenido de Mo superior al 0,5%	Contenido de Cr del 18%-30% o no perteneciente a los otros grupos

NORMAS: - ASTMA 240 - 06C, NOVIEMBRE 2006  
 - EN 10088-2, SEPTIEMBRE 2005  
 - JIS G 4305, 1991

## GRUPO 1

	AISI, ASTM	Composición química (Peso máximo %)													Norma	Ref.	
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni			
10%-14%Cr	403(M)	0.15	0.5	1.0	0.04	0.03	11.5-13.0									JIS	SUS403
		0.12-0.17	1.0	1.0	0.04	0.015	12.0-14.0									EN	1.4024
	405	0.08	1.0	1.0	0.04	0.03	11.5-14.5					0.1-0.3		0.6		UNS	S40500
		0.08	1.0	1.0	0.04	0.015	12.0-14.0									EN	1.4000
		0.08	1.0	1.0	0.04	0.015	12.0-14.0					0.1-0.3				EN	1.4002
		0.08	1.0	1.0	0.04	0.03	11.5-14.5					0.1-0.3				JIS	SUS405
	409L	0.03	1.0	1.0	0.04	0.02	10.5-11.7		6x[C+N]-0.5	0.17			0.03	0.5		UNS	S40910
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.02	10.5-11.7		8x[C+N]-0.5	0.1			0.03	0.5		UNS	S40920
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.02	10.5-11.7		[0.08+8x(C+N)]-0.75				0.03	0.5		UNS	S40930
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.02	10.5-11.7		0.05-0.2	0.18-0.4			0.03	0.5		UNS	S40945
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.02	10.5-11.7		6x[C+N]-0.75				0.03	0.5-1.0		UNS	S40975
		0.03	1.0	1.5	0.04	0.015	10.5-12.5						0.03	0.3-1.0		UNS	S40977
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.015	10.5-12.5		6x[C+N]-0.65					0.5		EN	1.4512
		0.08	0.7	1.5	0.04	0.015	10.5-12.5		0.05-0.35					0.5-1.5		EN	1.4516
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	10.5-11.75		6xC-0.75					0.6		JIS	SUH409L
		410(M)	0.08-0.15	1.0	1.0	0.04	0.03	11.5-13.5							0.75		UNS
	0.08-0.15		1.0	1.5	0.04	0.015	11.5-13.5							0.75		EN	1.4006
	0.15		1.0	1.0	0.04	0.03	11.5-13.5									JIS	SUS410
	410L	0.03	1.0	1.5	0.04	0.03	10.5-12.5						0.03	1.5		UNS	S41003
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	12.0-13.0						0.03	0.5		UNS	S41045
0.04		1.0	1.0	0.045	0.03	10.5-12.5			9[C+N]-0.6			0.1	0.6-1.10		UNS	S41050	
0.03		1.0	1.0	0.04	0.03	11.0-13.5									JIS	SUS410L	
	0.03	1.0	1.5	0.04	0.015	10.5-12.5							0.3-1.0		EN	1.4003	
410S(M)	0.08	1.0	1.0	0.04	0.03	11.5-13.5							0.6		UNS	S41008	
	0.08	1.0	1.0	0.04	0.03	11.5-13.5							0.6		JIS	SUS410S	
420J1(M)	0.16-0.25	1.0	1.0	0.04	0.03	12.0-14.0									JIS	SUS420J1	
	0.16-0.25	1.0	1.5	0.04	0.015	12.0-14.0									EN	1.4021	
420J2(M)	0.26-0.40	1.0	1.0	0.04	0.03	12.0-14.0									JIS	SUS420J2	
	0.26-0.35	1.0	1.5	0.04	0.015	12.0-14.0									EN	1.4028	
	0.36-0.42	1.0	1.0	0.04	0.015	12.5-14.5									EN	1.4031	
	0.43-0.50	1.0	1.0	0.04	0.015	12.5-14.5									EN	1.4034	

## GRUPO 2

	AISI, ASTM	Composición química (Peso máximo %)													Norma	Ref.	
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni			
14%-18%Cr	420	0.08	1.0	1.0	0.045	0.03	13.5-15.5	0.2-1.2	0.3-0.5					1.0-2.5		UNS	S42035
		0.08	1.0	1.0	0.04	0.015	13.5-15.5	0.2-1.2	0.3-0.5					1.0-2.5		EN	1.4589
	429	0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	14.0-16.0									UNS	S42900
		0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	14.0-16.0									JIS	SUS429
	429J1(M)	0.25-0.4.0	1.0	1.0	0.04	0.03	15.0-17.0									JIS	SUS429J1
	430	0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0							0.75		UNS	S43000
		0.08	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0									EN	1.4016
		0.12	0.75	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0									JIS	SUS430
	1.4017	0.08	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0							1.2-1.6		EN	1.4017
	440(M)	0.6-0.75	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0									JIS	SUS440A

### GRUPO 3

	AISI, ASTM	Composición química (Peso máximo %)													Norma	Ref.		
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni				
14%-18% Cr estabilizado	430J1L	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-20.0				8x[C+N]-0.8	0.3-0.8		0.025			JIS	SUS430J1L
	430LX	0.03	0.75	1.0	0.04	0.03	16.0-19.0			0.1-1.0					0.6		JIS	SUS430LX
	439	0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-19.0			[0.2+4x(C+N)]-1.10			0.15	0.03	0.5		UNS	S43035
		0.05	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0			[0.15+4x(C+N)]-0.8							EN	1.4510
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-19.0			[0.2+4x(C+N)]-0.75			0.15	0.03	0.5		UNS	S43932
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.015	17.5-18.5			0.1-0.6	[0.3+{3xC}]						UNS	S43940
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-17.5				0.35-0.55						EN	1.4590
		0.025	0.5	0.5	0.04	0.015	16.0-18.0			0.3-0.6							EN	1.4520
	430Ti	0.02	1.0	1.0	0.04	0.015	13.0-15.0				0.2-0.6						EN	1.4595
		0.05	1.0	1.0	0.4	0.015	16.0-18.0			0.6							EN	1.4511
441	0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	17.5-18.5			0.1-0.6	9xC+0.3-1						UNS	S44100	
	0.03	1.0	1.0	0.04	0.015	17.5-18.5			0.1-0.6	3xC+0.3-1				1.0		EN	1.4509	

### GRUPO 4

	AISI, ASTM	Composición química (Peso máximo %)														Norma	Ref.		
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni	Otros				
Mo añadido	415	0.05	0.6	0.5-1.0	0.03	0.03	11.5-14.0	0.5-1.0						3.5-5.5			UNS	S41500	
	434	0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0	0.75-1.25										UNS	S43400
		0.08	0.75	0.8	0.04	0.015	16.0-18.0	0.9-1.4										EN	1.4113
		0.08	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0	0.8-1.4					0.04					EN	1.4526
		0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0	0.75-1.25										JIS	SUS434
	436	0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0	0.75-1.25						0.025				UNS	S43600
		0.025	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0	0.9-1.4			0.3-0.6							EN	1.4513
	1.4419(M)	0.36-0.42	1.0	1.0	0.04	0.015	13.0-14.5	0.6-1.0			8x[C+N]-0.8			0.025				JIS	SUS436L
		0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-19.0	0.75-1.25			8x[C+N]-0.8			0.025				EN	1.4419
	1.4110(M)	0.48-0.60	1.0	1.0	0.04	0.015	13.0-15.0	0.5-0.8									V≤0.15	EN	1.4110
	1.4116(M)	0.45-0.55	1.0	1.0	0.04	0.015	14.0-15.0	0.5-0.8									0.1≤V≤0.2	EN	1.4116
	1.4122(M)	0.33-0.45	1.0	1.5	0.04	0.015	15.5-17.5	0.8-1.3							≤1.0			EN	1.4122
	1.4313(M)	≤0.05	0.7	1.5	0.04	0.015	12.0-14.0	0.3-0.7						≥0.02	3.5-4.5			EN	1.4313
	1.4418(M)	≤0.06	0.7	1.5	0.04	0.015	15.0-17.0	0.8-1.5						≥0.02	4.0-6.0			EN	1.4418
	436J1L	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-20.0	0.4-0.8			8x[C+N]-0.8			0.025				JIS	SUS436J1L
	444	0.025	1.0	0.7-1.5	0.04	0.03	17.5-19.5	1.75-2.5			0.2+4(C+N)-0.8				1.0			UNS	S44400
0.025		1.0	1.0	0.04	0.015	17.0-20.0	1.8-2.5			4x(C+N)+0.15-0.8			0.03				EN	1.4521	
0.025		1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-20.0	1.75-2.5			8x[C+N]-0.8			0.025				JIS	SUS444	

### GRUPO 5

	AISI, ASTM	Composición química (Peso máximo %)													Norma	Ref.			
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni					
Otros	445	0.02	1.0	1.0	0.04	0.012	19.0-21.0				10x[C+N]-0.8	0.3-0.6		0.03	0.6		UNS	S44500	
	445J1	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	21.0-24.0				0.7-1.5			0.025			JIS	SUS445J1	
	445J2	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	21.0-24.0	1.5-2.5						0.025			JIS	SUS445J2	
	446	0.06	0.75	0.75	0.04	0.02	25.0-27.0	0.75-1.5			0.2-1.0		0.2	0.04				UNS	S44626
		0.01	0.4	0.4	0.02	0.02	25.0-27.5	0.75-1.5				0.05-0.2	0.2	0.015	0.5			UNS	S44627
		0.025	0.75	1.0	0.04	0.03	24.5-26.0	3.5-4.5			[0.2+4(C+N)]-0.80			0.035	3.5-4.5			UNS	S44635
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	25.0-28.0	3.0-4.0			6x[C+N]-1.0			0.04	1.0-3.5			UNS	S44660
	447	0.01	0.4	0.4	0.03	0.02	25.0-27.5	0.75-1.5						0.015	0.5			JIS	SUSXM27
		0.01	0.2	0.3	0.025	0.02	28.0-30.0	3.5-4.2					0.15	0.02	0.15	[C+N] 0.025		UNS	S44700
	448	0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	28.0-30.0	3.6-4.2			6x[C+N]-1.0			0.045	1.0			UNS	S44735
0.025		1.0	1.0	0.03	0.01	28.0-30.0	3.5-4.5			[4x(C+N)+0.15]-0.8			0.045				EN	1.4592	
0.01		0.4	0.4	0.03	0.02	28.5-32.0	1.5-2.5						0.015				JIS	SUS447J1	
448	0.01	0.2	0.3	0.025	0.02	28.0-30.0	3.5-4.2					0.15	0.02	2-2.5	[C+N] 0.025		UNS	S44800	



IMPRESIONANTE USO DE TUBOS  
FERRÍTCOS SOLDADOS EN UN  
CONDENSADOR DE UNA  
CENTRAL ELÉCTRICA

## APÉNDICES

# Acabados superficiales

**Los tratamientos de acabado superficial aplicados al acero inoxidable pueden ser muy diversos. A continuación se describen los acabados principales. Los acabados superficiales de los ferríticos son los mismos que los de los austeníticos y otros.**

Descripción	ASTM	EN10088-2	Notas
Laminado en caliente	1	1E/1D	Una superficie rugosa y mate producida mediante laminación en caliente hasta el espesor especificado, seguida de recocido y descascarillado.
Laminado en frío	2D	2D	Un acabado laminado en frío mate producido mediante laminación en frío, hasta el espesor especificado, seguido de recocido y descascarillado. También puede conseguirse mediante una pasada ligera final con rodillos mate.
Laminado en frío	2B	2B	Un acabado laminado en frío brillante producido normalmente de la misma manera que el acabado 2D, excepto que la chapa recocida y decapada recibe una pasada de laminación en frío con rodillos pulidos. Se trata de un acabado laminado en frío para usos generales y se pule con mayor facilidad que el N° 1 o el 2D.
Recocido brillante	BA	2R	Acabado BA producido mediante recocido brillante en atmósfera inerte tras laminado en frío. Más suave y brillante que el 2B.
Cepillado o pulido mate	No. 4	1J/2J	Un acabado pulido brillante de uso general obtenido mediante el acabado con abrasivo de grano 120-150, tras un rectificado inicial con abrasivos más bastos.
Pulido satinado (mate)	No. 6	1K/2K	Un acabado satinado suave que presenta una reflectividad menor que el acabado cepillado (o pulido mate). Se obtiene utilizando un cepillo Tampico.
Pulido brillante (espejo)	No. 8	1P/2P	El acabado más reflectivo. Se obtiene puliendo con abrasivos cada vez más finos y, a continuación, con un compuesto pulidor muy fino. La superficie está básicamente libre de líneas granuladas causadas por las operaciones de rectificado preliminares.
Superficies electropulidas	-	-	Esta superficie se produce mediante ataque electrolítico. Este proceso electromecánico mejora el acabado de la superficie al eliminar los picos de las irregularidades superficiales.

[Nota: la tabla anterior no es oficial y tan sólo debe utilizarse como guía]



2D



2B



BA



no. 4



no.6

# APÉNDICES

## Referencias

- Bucher, L., P.-O. Santacreu, et al. "Elasto-Viscoplastic behaviour of ferritic Stainless Steel AISI 441-EN 1.4509 from room temperature to 850°C." *Journal of ASTM International (JAI)* Vol. 3, Issue 7 (2006). También: *Fatigue and Fracture Mechanics (simposio)*, Vol. 35.
- Cunat, Pierre-Jean. "Working with Stainless Steels" París: SIRPE, 1998.
- Fedosseev, A, y D. Raabe. "Application of the method of superposition of harmonic currents for the simulation of inhomogeneous deformation during hot rolling of FeCr." *Scripta Metall. Mater* Vol. 30 (1994): 1-6.
- Gümpel, P., N. Arlt, et al. "Simulation des korrosionsverhaltens von nichtrostenden Stählen in PKW-Abgasanlagen." *Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ)* no. 4 (2004): 350-356.
- Huh, M.-Y., J.-H. Lee, et al. "Effect of Through-Thickness Macro and Micro-texture gradients on ridging of 17%Cr Ferritic Stainless Steel Sheet." *Steel Research* Vol. 76, no. 11 (2005): 797-806.
- Kim, D. S., J. H. Park, et al. "Improvement of Cleanliness of 16%Cr-containing Ferritic Stainless Steel in AOD Processes", *La Revue de Metallurgie* no. 4, París (2004): 291-299.
- Kim, K, Y. Kim, et al. "POSCO's development of Ferritic Stainless Steel." *The Second Baosteel Biennial Academic Conference* Vol. 3, Shanghai, China (2006).
- Lee, S.-B., M.-C. Jung, et al. "Effect of Niobium on Nitrogen Solubility in High Chromium Steel." *ISIJ International* Vol. 42 (2002): 603-608.
- Lee, S.-B., J.-H. Choi, et al. "Aluminum Deoxidation Equilibrium in Liquid Fe-16 Pct Cr Alloy." *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 36b (2005): 414-416.
- Miyazaki, A., J. Hirasawa, et al. "Development of high heat-resistant ferritic Stainless Steel with high formability, RMH-1, for Automotive Exhaust Manifolds." *Kawasaki Steel Technical Report* no. 48 (2003): 328.
- Miyazaki, A., Takao, et al. "Effect of Nb on the Proof Strength of Ferritic Stainless Steels at Elevated Temperatures." *ISIJ International* Vol. 42, No. 8 (2002): 916-920.
- Murayama, M, N. Makiishi, et al. "Nano-scale chemical analysis of passivated surface layer on stainless steels." *Corrosion Science* Vol. 48 (2006): 1307-1308.
- Park, J. H., D. S. Kim, et al. "Inclusion Control of Fe-16%Cr Stainless Steel Melts by Aluminum Deoxidation and Calcium Treatment." *AIST Transactions in Iron & Steel Technology Magazine* Vol. 4, No. 1 (2007): 137-144.
- Park, S. H., K.Y. Kim, et al. "Evolution of Microstructure and Texture Associated with Ridging in Ferritic Stainless Steels." *ICOTOM 13*, Seúl, Corea (2002): 1335.
- Park, S. H., K. Y. Kim, et al. "Investigation of Microstructure and Texture Evolution in Ferritic Stainless Steels, *ISIJ International* Vol.42, No.1 (2002): 100.
- Park, S. H., K. Y. Kim, et al. "Effect of Annealing Process on the Microstructure and Texture Evolution in Type 430 Stainless Steel." *Journal of the Korean Institute of Metals & Materials* Vol.39, No. 8 (2001): 883.
- Park, S. H., K. Y. Kim, et al. "Effect of annealing process on the microstructure and texture evolution in Fe-16%Cr ferritic stainless steel." *Rex & GG Aachen, Alemania* (2001): 1203.
- Park, S. H., K. Y. Kim, et al. "Effect of initial orientation and austenitic phase on the formation of deformation band and recrystallization behavior in hot rolled ferritic stainless steels." *THERMEC 2000*, Las Vegas, EE.UU. (2000): 163.
- Raabe, D. "Experimental investigation and simulation of crystallographic rolling textures of fe-11wt.% cr." *Materials Science and Technology* No. 11 (1995): 985-993.
- Raabe, D. "On the influence of the Chromium content on the evolution of rolling textures in ferritic stainless steels." *Journal of Materials Science* No. 31 (1996): 3839-3845.

Raabe, D. "Metallurgical reasons and mechanical consequences of incomplete recrystallization." *Stahl und Eisen* No. 120 (2000): 73-78.

Raabe, D, and K. Lücke. "Influence of particles on recrystallization textures of ferritic stainless steels." *Steel Research* No. 63 (1992): 457-464.

Raabe, D, and K. Lücke. "Textures of ferritic stainless steels." *Materials Science and Technology* No. 9 (1993): 302-312.

Santacreu, P.-O., O. Cleizergues, et al. "Design of stainless steel automotive exhaust manifolds." *La Revue de Métallurgie* nos. 7-8, París (Julio-Agosto 2004): 615-620. También: Documento JSAE N° 20037127 (2003).

Santacreu, P.-O., O. Cleizergues, et al. "Design of stainless steel automotive exhaust manifolds." *La Revue de Métallurgie* nos. 7-8, París (Julio-Agosto 2004): 615-620. También: Documento JSAE N° 20037127 (2003).

Schmitt, J.-H., F. Chassagne, et al. "Some Recent Trends in Niobium Ferritic Stainless Steels". Proceedings of the symposium Recent Advances of Niobium Containing Materials in Europe, Düsseldorf (20 de Mayo de 2005): 137.

Sinclair, C. W., And J.-D. Mithieux, "Coupling recrystallization and texture to the mechanical properties of ferritic stainless steel sheet." Proceedings of 2nd International Conference on Recrystallization & Grain Growth, Annecy, Francia (30 Agosto-3 Septiembre 2004): 317.

Sinclair, C.W., J.-D. Mithieux, et al. "Recrystallization of Stabilized Ferritic Stainless Steel Sheet", *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. 36a (Nov. 2005): 3205.

Van Hecke, B. "The Forming Potential of Stainless Steel" *Materials and Applications Series* Vol. 8, Euro Inox (2006).

Toscan, F., Galerie, et al. "Relations between Oxidation Kinetics and Chromium Diffusion in Stainless Steels." *Materials Science Forum* Vols. 461-464 (2004): 45-52. Online en [www.scientific.net](http://www.scientific.net).

Yazawa, Y., Y. Kato, et al. "Development of Ferritic Stainless Steel with Excellent Deep Drawability for Automotive Fuel tanks." *Review of Automotive Engineering* Vol. 26 (2005): 59.

Yazawa, Y., M. Muraki, et al. "Effect of Chromium Content on Relationship Between r-value and {111} Recrystallization Texture in Ferritic Steel." *ISIJ International* Vol. 43, No. 10 (2003): 1647-1651.

Yazawa, Y., Y. Ozaki, et al. "Development of ferritic stainless steel sheets with excellent deep drawability by {111} recrystallization texture control." *Revisión de JSAE* N° 24 (2003): 483.



# APÉNDICES

## Miembros del ISSF

### EMPRESAS MIEMBRO

Acciaierie Valbruna  
Acerinox S.A.  
Acesita S.A.  
Aichi Steel Corporation  
Arcelor Mittal  
Baoshan Iron And Steel Co. (Stainless Steel Branch)  
Cogne Acciai Speciali S.p.A.  
Columbus Stainless (Pty) Ltd  
Daido Steel Co. Ltd.  
Deutsche Edelstahlwerke GmbH  
Hyundai Steel Company  
Industeel  
JFE Steel Corporation  
Jindal Stainless Ltd.  
JSC Dnepropetsstal  
Ningbo Baoxin Stainless Steel Co., Ltd.  
Nippon Kinzoku Co., Ltd.  
Nippon Metal Industry Co. Ltd.  
Nippon Steel and Sumikin Stainless (NSSC)  
Nippon Yakin Kogyo Co., Ltd.  
Nisshin Steel Co., Ltd.  
North American Stainless  
Outokumpu Oyj  
Panchmahal Steel Limited (PSL)  
POSCO  
POSCO Specialty Steel Co., Ltd.  
Shanghai Krupp Stainless (SKS)  
SIJ - Slovenska Industrija Jekla d.d./Slovenian Steel Group  
Steel Authority of India Ltd. (SAIL)  
Sumitomo Metal Industries, Ltd.  
Taiyuan Iron And Steel (Group) Co. Ltd. (TISCO)  
Takasago Tekko K.K.  
Tang Eng Iron Works Co. Ltd.  
Thainox Stainless Public Company Limited  
ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni S.p.A.  
ThyssenKrupp Mexinox S.A. De C.V.  
ThyssenKrupp Nirosta GmbH

Ugine & Alz  
Ugitech S.A.  
Viraj Group  
Walsin Lihwa Corporation  
Yieh United Steel Corporation (YUSCO)  
Zhangjiagang Pohang Stainless Steel Co. Ltd. (ZPSS)

### MIEMBROS AFILIADOS

Australian Stainless Steel Development Association (ASSDA)  
British Stainless Steel Association (BSSA)  
Cedinox  
CENDI  
Centro Inox  
Edelstahl-Vereinigung e.V.  
Euro Inox  
EUROFER  
Institut De Développement De L'inox (ID Inox)  
Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (ISER)  
Indian Stainless Steel Development Association (ISSDA)  
Japan Stainless Steel Association (JSSA)  
Jernkontoret  
Korea Iron And Steel Association (KOSA)  
New Zealand Stainless Steels Development Association (NZSSDA)  
Nucleo Inox  
Southern Africa Stainless Steel Development Association (SASSDA)  
Special Steel And Alloys Consumers And Suppliers Association (USSA)  
Specialty Steel Industry Of North America (SSINA)  
Stainless Steel Council Of China Specialist Steel Enterprises Association (CSSC)  
Swiss Inox  
Taiwan Steel And Iron Industries Association (TSIIA)  
Thai Stainless Steel Development Association (TSSDA)  
Unión de Empresas Siderúrgicas (UNESID)

# APÉNDICES

## Reconocimientos

El ISSF desea dar las gracias a Friedriche Teroerde (ICDA) por la redacción del prefacio de este folleto y a Philippe Richard (Arcelor Mittal Stainless, Francia), quien coordinó un grupo de trabajo formado por Jacques Charles (Ugine & Alz, Francia), Peirteh Huang (Yusco, Taiwán, China), Kwangyuk Kim (Posco, Corea del Sur), Jochen Krautschick (ThyssenKrupp Nirosta, Alemania), Juan Antonio Simón (Acerinox, España) e Hideaki Yamashita (JFE, Japón). También deseamos agradecer a Benoît Van Hecke (Euro Inox, Bélgica) la revisión del texto y a Paul Snelgrove, asesor y escritor en lengua inglesa (París, Francia), su inestimable ayuda en la preparación de este documento.

También dar las gracias a De Blauwe Peer (Gante, Bélgica) por el diseño y la producción, a MBCOM (París, Francia) por el diseño de la portada y a Stevens Creative Printing (Merelbeke, Bélgica) por la impresión.

ISSF agradece la colaboración de Cedinox ([www.cedinox.es](http://www.cedinox.es)) por realizar la traducción al español.

### CRÉDITOS DE LAS FOTOGRAFÍAS

El ISSF desea agradecer a las empresas y personas que han contribuido con sus fotografías a esta publicación. En aquellos casos en los que la fuente original de la fotografía utilizada es desconocida, el ISSF desea hacer llegar sus disculpas al propietario del copyright.

**Portada:** MBCOM, París, Francia; **p. 2-3:** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), Francia; **p. 4:** Columbus Stainless (Pty) Ltd, Sudáfrica; **p. 5:** Acesita (Arcelor Mittal Group), Brasil; **p. 7:** Lincat Limited, Lincoln, Reino Unido; **p. 8:** ISSF China, República Popular China; **p. 9 (tl):** BSH Bosch und Siemens Hausgerate GmbH, Munich, Alemania; **p. 9 (bl):** Whirlpool Corporation, Cassinetta di Biandronno, Italia; **p. 9 (r):** Groupe SEB, Rumilly, Francia; **p. 10:** Acesita (Arcelor Mittal Group), Brasil; **p. 11 (tl):** IKEA, Aelmhult, Suecia; **p. 11 (bl):** Yiu Heng International Company Limited, Macao; **p. 11 (r):** Takara Standard Corporation, Japón; **p. 12 (t):** Acesita (Arcelor Mittal Group), Brasil; **p. 12 (b):** Tramontina, São Paulo, Brasil; **p. 13 (l):** Lincat Limited, Lincoln, Reino Unido; **p. 13 (r):** Korea Iron & Steel Association (KOSA), Seúl, Corea del Sur; **p. 14:** POSCO, Pohang, Corea del Sur; **p. 15 (l & c):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), Francia; **p. 15 (tr):** Suncue Company Ltd. And Yieh United Steel Corp. (YUSCO), Taiwán,

China; **p. 15 (br):** Japan Stainless Steel Association (JSSA), Tokio, Japón; **p. 16 (l):** Southern Africa Stainless Steel Development Association (SASSDA), Rivonia, Sudáfrica; **p. 16 (r):** Acesita (Arcelor Mittal Group), Brasil; **p. 17:** Acesita (Arcelor Mittal Group), Brasil; **p. 18 (L):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), Francia; **p. 18 (Tr):** Mac Brothers Catering Equipment, Cape Town, Sudáfrica; **p. 18 (br):** Centro Inox and ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni S.p.A., Italia; **p. 19:** Acesita (Arcelor Mittal Group), Brasil; **p. 20 (t):** BSH Bosch und Siemens Hausgerate GmbH, Munich, Alemania; **p. 20 (b):** Faurecia, Nanterre, Francia; **p. 21 (l):** Valtimet, Boulognebillancourt, Francia; **p. 21 (c):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), Francia; **p. 21 (r):** Acesita (Arcelor Mittal Group), Brasil; **p. 22 (l):** Sander Inox and Nucleo Inox, Brasil; **p. 22 (r):** Ompagrill and Centro Inox, Italia; **p. 23:** BSH Bosch Und Siemens Hausgerate GmbH, Munich, Alemania; **p. 24 (tl & tr):** Japan Stainless Steel Association (JSSA), Tokio, Japón; **p. 24 (br):** Columbus Stainless (Pty) Ltd, Sudáfrica; **p. 25 (l):** Korea Iron & Steel Association (KOSA), Seúl, Corea del Sur; **p. 25 (tc):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), Francia; **p. 25 (tr):** Faurecia, Nanterre, Francia; **p. 26 (t):** Group SEB, Rumilly, Francia; **p. 26 (b):** LG Electronics, Corea del Sur; **p. 27 (l):** Columbus Stainless (Pty) Ltd, Sudáfrica; **p. 27 (r):** Japan Stainless Steel Association (JSSA), Tokio, Japón; **p. 28 (l):** BSH Bosch Und Siemens Hausgerate GmbH, Munich, Alemania; **p. 28 (r):** Korea Iron & Steel Association (KOSA), Seúl, Corea del Sur; **p. 29:** Taiyuan Iron & Steel (Group) Company Ltd. (TISCO), Taiyuan, República Popular China; **p. 30 (t):** ISSF China, República Popular China; **p. 30 (b):** Qingdao Haier International Trading Co. Ltd., República Popular China; **p. 31 (l):** Suntank, Pretoria, Sudáfrica; **p. 31 (r):** Japan Stainless Steel Association (JSSA), Tokio, Japón; **p. 32 (box):** POSCO, Pohang, Corea del Sur; **p. 33 (all):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), Francia; **p. 34 (l):** Centro Inox, Italia; **p. 34 (tr):** Faurecia, Nanterre, Francia; **p. 34 (b):** las 4 fotografías Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), Francia; **p. 35:** Acesita (Arcelor Mittal Group), Brasil; **p. 36 (t):** ThyssenKrupp Nirosta GmbH, Krefeld, Alemania; **p. 36 (b):** Macadams Baking Systems (Pty) Ltd, Ciudad del Cabo, Sudáfrica; **p. 37 (l):** Faurecia, Nanterre, Francia; **p. 37 (r):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), Francia; **p. 38 (l):** Faurecia, Nanterre, Francia; **p. 38 (r):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), Francia; **p. 39 (l):** Suntank, Pretoria, Sudáfrica; **p. 39 (tr):** Acesita (Arcelor Mittal Group), Brasil; **p. 39 (br):** Solaris Bus & Coach Co., Polonia; **p. 40 (l):** Brandt Edelmetall GmbH, Colonia, Alemania; **p. 40 (r):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), Francia; **p. 41 (tr):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), Francia; **p. 41 (br):** ThyssenKrupp Nirosta GmbH, Krefeld, Alemania; **p. 42 (tl):** Willem De Roover, Gante, Bélgica; **p. 42 (bl):** Faurecia, Nanterre, Francia; **p. 42 (tr):** Centro Inox, Milán, Italia; **p. 42 (br):** Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), Francia; **p. 43:** Hanjin, Corea del Sur; **p. 44 (t):** Groupe SEB, Rumilly, Francia; **p. 44 (b):** Lincat Limited, Lincoln, Reino Unido; **p. 58:** ThyssenKrupp Nirosta GmbH, Krefeld, Alemania; **p. 62:** Valtimet, Boulogne-Billancourt, Francia; **p. 63:** POSCO, Pohang, Corea del Sur.

### EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD

Se ha hecho todo lo posible con el fin de asegurar que la información presentada en esta publicación sea técnicamente correcta. No obstante, se advierte al lector que el material contenido en la misma está destinado exclusivamente a fines de información general. El ISSF, sus miembros, plantilla y asesores se eximen de cualquier obligación o responsabilidad en lo relativo a pérdidas, daños o lesiones personales resultantes del uso de la información contenida en esta publicación (en formatos impreso, electrónico u otros).



Contacto:  
International Stainless Steel Forum (ISSF)  
Rue Colonel Bourg 120  
1140 Bruselas • Bélgica  
T: +32 2 702 8900 • F: +32 2 702 8912  
E: [issf@iisi.be](mailto:issf@iisi.be)

