TRATER Press

JUNIO 2019 • Nº 71

REVISTA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

www.pedeca.es

SOLO Switzerland

Innovative. Reliable. Precise.

www.soloswiss.es

Línea automática de tratamiento térmico
SOLO Swiss Profitherm

Horno continuo SOLO Swiss 322

Horno continuo con temple en línea
SOLO Swiss 302

INDUSTRY TOOLS
by FERROFORMA

FERIA INTERNACIONAL
DE LAS HERRAMIENTAS Y
LOS SUMINISTROS PARA
LA INDUSTRIA

04-06 JUNIO 2019 BILBAO

UN CAMBIO PARA ACCEDER A NUEVOS CLIENTES

IN DUS TRY · ADDIT3D · bedigital · FIT MAQ · it: INDUSTRY TOOLS by FERROFORMA · maintenance · PUMPS & VALVES · SUB CON TRATA CION

Colaborador:

EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO
EKONOMIAREN GARAPEN ETA AZPIEGITURA SAILA
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO ECONÓMICO E INFRAESTRUCTURAS

BILBAO EXHIBITION CENTRE

EXPOSSIBLE!

industrytools@bec.eu
www.industrytools.eu

Nuestra Portada

SOLO Swiss fabrica hornos industriales avanzados para el tratamiento térmico de metales. SOLO Swiss ofrece hornos de atmósfera, hornos de proceso por lotes, hornos de campana, hornos continuos utilizados en una variedad de procesos de tratamiento térmico (cementación, templado, revenido, recocido, transformación bainítica, nitruración, soldadura, carbonitruración, sinterización, nitrocarburación, oxinitruración, temple).

SOLO Swiss SA
Hornos Industriales
Tel. / Fax: +34 93 846 79 84 – mail@soloswiss.com – www.soloswiss.es

Borel Suiza fabrica hornos y estufas para todas las aplicaciones de procesos térmicos. Borel Suiza ofrece una amplia gama de hornos estándar, estufas y hornos de alta temperatura, y muchos otros equipos desde 1927.

Borel Swiss
Hornos eléctricos, hornos industriales, hornos y estufas de laboratorio
Tel. /Fax: +34 93 846 79 84 – mail@borelswiss.com – www.borel-hornos.com

Sumario • Junio 2019 - Nº 71

Información

- IV Fórum Técnico de Tratamiento Térmico - TRATER DAY 2019 **4**
- Lenard presentó en Techtextil la gama Xispal RS R1 y el nuevo tejido Polar 938 Valen-T en naranja AV **6**
- CastForge en 2020 **8**
- Coyuntura del metal - *Por Confemetal* **16**
- Uso en la producción de bobinas e inductores para el calentamiento por inducción. Estado actual de la tecnología más avanzada *Por Manuel Durán* **20**
- La industria consumidora de gas reivindica la necesidad de peajes armonizados, con los del resto de sus competidores europeos **26**
- Algunas consideraciones sobre los aceros de cementación (Parte V) *Por Manuel Antonio Martínez Baena* **36**

Guía de compras 46

Índice de Anunciantes 50

Síguenos en

Director: Antonio Pérez de Camino
Publicidad: Carolina Abuin
Administración: María González Ochoa

PEDECA PRESS PUBLICACIONES
Goya, 20, 1º - 28001 Madrid
Teléfono: 917 817 776
www.pedeca.es • pedeca@pedeca.es

ISSN: 1888-4423 - Depósito legal: M-53065-2007
Diseño y Maquetación: José González Otero
Creatividad: DELEY
Impresión: Villena Artes Gráficas

Redactor honorífico:
José María Palacios

Colaboradores:
Manuel A. Martínez Baena, Juan Martínez Arcas y Jordi Tartera

Por su amable y desinteresada colaboración en la redacción de este número, agradecemos sus informaciones, realización de reportajes y redacción de artículos a sus autores.

TRATER PRESS se publica seis veces al año: Febrero, Abril, Junio, Septiembre, Noviembre y Diciembre.

Los autores son los únicos responsables de las opiniones y conceptos por ellos emitidos.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de cualquier texto o artículo publicado en TRATER PRESS sin previo acuerdo con la revista.

Asociación colaboradora
ASAMMET Asociación de Amigos de la Metalurgia

IV Fórum Técnico de Tratamiento Térmico - TRATER DAY 2019

2019 October 17th - 17 octubre

Jornada completa

IK4-AZTERLAN, Auditorio
Aliendalde Auzunea 6
48200 Durango
BIZKAIA - SPAIN

Ubicación — Location: http://bit.ly/28Jbl2p

Presentación

Una nueva edición del Fórum Técnico de Tratamiento Térmico será organizada por el Instituto de Fundición TABIRA e IK4-AZTERLAN el 17 de octubre de 2019 en Durango, con la colaboración como Media Partner de TRATER PRESS.

El sector de los tratamientos térmicos se enfrenta al desafío principal de proponer soluciones altamente innovadoras que permitan mejorar las características de los materiales con los que se fabrican piezas para industrias de tan alta exigencia como son la aeronáutica, naval o automoción, consiguiendo materiales más duraderos, flexibles y ligeros.

El principal objetivo de esta propuesta de trabajo es mejorar la posición tecnológica y competitiva de las empresas de la industria metal mecánica, presentando importantes innovaciones tecnológicas provenientes de los últimos desarrollos en el campo de los tratamientos térmicos. Esta jornada técnica de trabajo se posiciona como punto de encuentro para profesionales, técnicos y equipos de investigación especializados en los últimos avances e innovaciones en los distintos ámbitos de la industria del tratamiento térmico (tecnologías de temple, tratamientos superficiales, caracterización, medición, recubrimientos…). Se trata así de convocar tanto a las empresas referentes del sector como a los sectores estratégicos que los aplican (automoción, eólica, ferroviaria, aeronáutica, fundición, entre otras).

EL PROGRAMA DEFINITIVO SERÁ PUBLICADO PRÓXIMAMENTE

Web: www.iftabira.org
LinkedIn: https://www.linkedin.com/company/10602924/

IV FÓRUM TÉCNICO DE TRATAMIENTO TÉRMICO

TECHNICAL FORUM ON HEAT TREATMENT

17 de octubre

October 17th

IK4-AZTERLAN (Durango)

tabira Instituto de Fundición

WFO

IK4 AZTERLAN Research Alliance

TRATER Press

Solicitud de información del evento, mediante email a info@iftabira.org
o a través de la web https://bit.ly/2Hkc91M

Lenard presentó en Techtextil la gama Xispal RS R1 y el nuevo tejido Polar 938 Valen-T en naranja AV

Lenard presentó en la feria internacional Techtextil de Frankfurt, del 14 al 17 de mayo, los frutos de su proceso de innovación constante en tejidos técnicos para la protección y la seguridad laboral.

Uno de los focos principales del stand fue una demostración, después de distintos lavados y condiciones extremas, de la diferencia entre una prenda confeccionada con la gama Xispal R1 y otros tejidos.

La tecnología R1 garantiza máxima durabilidad del tejido, convirtiéndose en altamente rentable en negocios como el renting de lavandería.

En el stand se mostraron maniquíes con prendas procesadas en idénticas condiciones de lavado. El resultado es impactante.

Mientras que las prendas Xispal prácticamente no tienen pérdida de color ni fibrilación, otros tejidos sufren un desgaste considerable.

La tecnología R1 suma 4 aspectos que permiten garantizar esta durabilidad:

1. Aportación de un pequeño % de PA en su mezcla de fibras (mejora de las tenacidades y durabilidad del tejido).
2. Mejora en la preparación de las fibras componentes del tejido durante el proceso previo al teñido (mejor anclaje del colorante).
3. Utilización de una nueva gama de colorantes con tecnología química de última generación (mantenimiento del color durante la repetitividad de los lavados).
4. Nuevo método de acabado (aumenta la protección de las fibras y el resultado final es menor fibrilación del tejido).

Lenard también presentó el nuevo tejido Polar 938 VALEN-T en color naranja de alta visibilidad, que contiene beneficios de protección ante la llama y el arco eléctrico, además de ser un tejido antiestático. La durabilidad de este tejido es especialmente notable. Su envejecimiento es muy bueno y presenta una gran solidez del color y la permanencia certificada de sus prestaciones, incluso después de 50 lavados de acuerdo con la normativa EN 6330.

En el stand, además de la gama completa de Xispal R1, se presentaron también el novedoso tejido para POLOS 822 R1 Xispal RS y el nuevo tejido Polar 938 VALEN-T en color naranja alta visibilidad.

HORNOS A GAS DE ALTA HOMOGENEIDAD

HEA
SINCE 1945

HORNOS INDUSTRIALES

www.alferieff.com • hea@hornoshea.com
Telféfono: +34 91 639 69 11

CastForge en 2020

Del 16 al 18 de junio de 2020, se celebrará una nueva edición de CastForge en Stuttgart. El año pasado, en el estreno de la feria, todo el mundo quedó encantado por su clara orientación en el ámbito de la fundición, la forja y su procesamiento. «Los 153 expositores de 18 países valoraron que CastForge les proporcionase por primera vez una plataforma propia en la que presentar toda la cadena de valor añadido», explica Gunnar Mey, director del Departamento de Industria de Messe Stuttgart. «En la edición programada para 2020 también ofreceremos a los compradores, desarrolladores y diseñadores técnicos la posibilidad de encontrar piezas de fundición y forja de alta calidad y listas para montar, además de asesores especializados, de forma rápida, eficiente y según sus necesidades», sigue explicando Mey.

CastForge, la feria especializada en piezas de fundición y forja con mecanizado, vuelve en 2020 después del exitoso estreno del pasado año.

La feria CastForge ha convencido tanto a expositores como a visitantes y por eso volverá a abrir las puertas con determinación 2020.

Mayor oferta de servicios en CastForge

Un gran número de expositores nuevos presentarán su oferta de servicios en CastForge 2020. «Estuvimos en el estreno de CastForge como visitantes y nos pudimos hacer una idea del concepto de la feria», explica Carmelo Maffia, director del Customer Focus Team Industry en Leiber Group. La visión general compacta que ofrece la feria especializada en piezas de fundición y forja constituye uno de los motivos por los que la empresa participará en la feria de 2020. «A raíz de las con-

HORNOS DE INDUCCIÓN

PARA FORJA INDUCTOFORGE DE INDUCTOTHERM

SOFTWARE I-HAZ

MAXIMIZA PRODUCCIÓN
+ REDUCCIÓN RECHAZOS EN PARADA

SERVICIO TÉCNICO LOCAL

Fabricación y Reparación de Bobinas Local

INDUCTOTHERM GROUP IBERIA
ONDARLAN

Alta productividad y alta seguridad para su forja

ONDARLAN, S.L.:
+34 943 635079
o visite: www.ondarlan.com
email: oficina@ondarlan.com
I.P. Videoconferencia: 37.143.120.37

versaciones mantenidas con los expositores in situ hemos quedado convencidos de que queremos presentar nuestras innovadoras soluciones para la construcción ligera aquí en Stuttgart», añade Maffia.

Para Franz Böllinger, director general en Böllinger Group con sede cerca de Heilbronn, CastForge es un punto de encuentro tan cercano, que es casi de visita obligatoria. «Como fabricante de piezas de prototipo y series de volumen bajo en el ámbito de la tecnología de accionamiento para la industria del automóvil, nuestras competencias son muy demandadas en la actualidad», explica Böllinger. «En CastForge representaremos la cadena completa de procesos, desde la ingeniería hasta la producción de alto rendimiento o la técnica de procesamiento, pasando por la fabricación aditiva y la fundición de metal ligero en el procedimiento de fundición en arena de aluminio», añade Böllinger. Además de las soluciones para el motor de combustión clásico, la empresa también apuesta por nuevas técnicas de accionamiento alternativas.

Thomas Laue, director de ventas de la fundición Heunisch GmbH, también confirma que este concepto ha convencido a numerosos expositores que ya estuvieron en el estreno y volverán a venir en 2020: «La llegada de CastForge fue toda una suerte para nosotros. Todas las expectativas puestas en esta primera edición de la feria especializada en nuestros productos se superaron, por eso, es evidente que la fundición HEUNISCH no se perderá la siguiente edición. CastForge, con una organización perfecta, es una plataforma muy buena para proporcionar una visión general de nuestra amplia gama de fabricación al público profesional internacional, conseguir nuevos clientes y consolidar las relaciones comerciales con nuestros socios».

En CastForge se representa la cadena completa de valor añadido, desde la fundición o la forja de la pieza en bruto, pasando por el mecanizado, hasta el componente final.

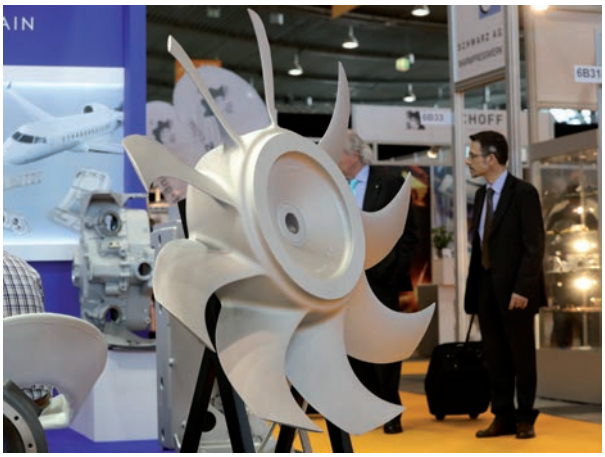
Del 16 al 18 de junio de 2020, Stuttgart se convierte en punto de encuentro de la oferta y la demanda de piezas de fundición y forja de alta calidad listas para montar, así como los respectivos procesos de mecanizado.

La Feria es un punto de encuentro de empresas del sector. El objetivo de la feria es que los fabricantes de piezas de fundición y forja y las empresas especializadas en mecanizado se den a conocer.

Allí presentarán sus productos a los compradores de los sectores de la construcción de maquinaria e instalaciones, de tecnología de accionamiento, de la industria de bombas y sistemas hidráulicos, y de la fabricación de vehículos comerciales.

Encuentro de interesados

El primer encuentro de interesados celebrado en Messe Stuttgart y otro evento en la Asociación industrial Svaz Slevaren en Brünn (República Checa) han tenido



Tanto si se trata de un peso de pocos gramos o varias toneladas, CastForge se centra en las necesidades individuales de los visitantes profesionales.

THERM PROCESS

GIFA METEC THERM PROCESS NEWCAST

The Bright World of Metals

25–29 JUNE
DÜSSELDORF
GERMANY
2019

THERM PROCESS

12TH INTERNATIONAL TRADE FAIR AND SYMPOSIUM FOR THERMO PROCESS TECHNOLOGY

N°1 worldwide

Nuevas soluciones de materiales mediante tratamiento térmico

THERMPROCESS y el simposio cubren todos los campos de negocio en torno a las instalaciones industriales de termoprocesos, con novedades e innovaciones en las áreas de hornos industriales, instalaciones de generación de calor y tecnología de procesos térmicos.

Plataforma para transferencia de know-how

Ponencias sobre los más novedosos desarrollos de la ciencia, la investigación y la industria completan la exposición.

¡Bienvenidos a Düsseldorf!

eco Metals
EFFICIENT PROCESS SOLUTIONS

FOGi

Expo-Düsseldorf España, S.L.
C./ Fernando Garrido, 6 - Local
28015 Madrid - Spain.
Tel. (0034) 915 944 586
info@expodusseldorf.com

Messe Düsseldorf

thermprocess-online.com
tbwom.com

2020, Messe Stuttgart brillará de nuevo con CastForge.

una muy buena afluencia de visitantes. Los cerca de 20 participantes pudieron asistir a una presentación del recinto ferial de Stuttgart y de CastForge y, para finalizar, fueron invitados a un debate abierto. «El intercambio de ideas con empresas del sector es nuestro secreto del éxito y nos permite organizar la Feria con el fin de satisfacer las necesidades de las fundiciones, las forjas y los trabajadores», explica Mey. El equipo del proyecto debate con los posibles expositores sobre los temas claves, los posibles puntos del programa marco, los grupos objetivos y mucho más. «De este modo, obtenemos una valiosa información para nuestro trabajo y nos convertimos en un verdadero socio del sector», añade Mey.

El próximo encuentro de interesados de CastForge tendrá lugar en Stuttgart el día 22 de mayo de 11:00 a 14:00, de forma simultánea a Moulding Expo, la feria especializada en la fabricación de herramientas, modelos y moldes.

CastForge resuelve una carencia en el panorama ferial.

Acerca de CastForge

Como feria especializada, CastForge se centra en la fundición, la forja y su procesamiento. Del 16 al 18 de junio de 2020, el sector se reunirá en el recinto ferial de Stuttgart para presentar su gama de servicios. El objetivo de la feria es que los fabricantes internacionales de piezas de fundición y forja, y las empresas especializadas en mecanizado se den a conocer. Allí presentarán sus productos a los compradores de los sectores de la construcción de maquinaria e instalaciones, de tecnología de accionamiento, de la industria de bombas y sistemas hidráulicos, y de la fabricación de vehículos comerciales. La información para los visitantes de CastForge se completa con otras ferias que se celebran de forma simultánea: la Global Automotive Components and Suppliers Expo, la Engine Expo, la Automotive Interiors Expo, la Automotive Testing Expo, la Surface Technology Germany y la LASYS, la Feria Internacional de Procesamiento de Materiales con Láser.

SUB CON TRATA CIÓN'19

FERIA INTERNACIONAL
DE PROCESOS
Y EQUIPOS PARA
LA FABRICACIÓN

4/6 DE JUNIO DE 2019

Mª Carmen Gorostiza
Tel. 94 404 00 78/93
subcontratacion@bec.eu

www.subcontratacionbilbao.com

BILBAO EXHIBITION CENTRE

EXPOSSIBLE!

30€

40€

40€

35€

¡Ya a la venta el Volumen 4!

Con la aparición del 4º volumen "Fundiciones de hierro y otras aleaciones no férreas susceptibles de tratamiento térmico" del título general de la obra "Tratamientos Térmicos de los Materiales Metálicos, Aceros y otras Aleaciones susceptibles de Tratamiento Térmico" de D. Manuel Antonio Martínez Baena cierra el ciclo de una obra estructurada en 4 libros,

La primera parte del volumen 4, se refiere a las fundiciones de hierro, pasando revista a las fundiciones grises, a las fundiciones atruchadas y fundiciones blancas.

Se incluyen también los 2 tipos de fundiciones maleables: la de corazón negro y la de corazón blanco, así como los procesos térmicos de recocido para su obtención a partir de la fundición blanca. Capítulo aparte merecen las fundiciones especiales: las de grafito compacto y las de grafito esferoidal. Igualmente reciben una cuidadosa atención las fundiciones calidad ADI, en las que se detalla en profundidad, dada su especificidad, el tratamiento térmico. Al mismo tiempo que se hace un breve comentario sobre las fundiciones ACI y las AGI.

La segunda parte del libro está dedicada a las aleaciones no férreas, tanto para forja, como para moldeo: bonificables o no bonificables. En las aleaciones de cobre se analizan tanto los latones, como los bronces ordinarios, así como las calidades de mayor aleación: cuproaluminio, cuprosiliceos, cuproberilios y cuproníqueles.

Finalmente se dedica un capítulo a las aleaciones de titanio y su tratamiento térmico. Tras la clasificación de las distintas familias, son adecuadamente descritas las aleaciones alfa α, las beta β, así como las Alfa α + beta β.

Puede ver el contenido de los libros y el índice en www.pedeca.es o solicite más información:
Teléf.: 917 817 776
E-mail: pedeca@pedeca.es

Part of ADVANCED ENGINEERING | by EASYFAIRS

metalmadrid `19

27 - 28 NOVIEMBRE
FERIA DE MADRID

LA FERIA LÍDER EN INNOVACIÓN INDUSTRIAL

ROBOMATICA
COMPOSITE SPAIN
CONNECTED MANUFACTURING
PERFORMANCE METALS ENGINEERING
ADDITIVE MANUFACTURING
New for 2019

Gold sponsors

FUCHS
Hoffmann Group
SCHUNK
TRUMPF

Event Partners

AEMAC
hp 3D Printing
lantek

Últimos espacios disponibles en MetalMadrid 2019. Infórmate y reserva ya el tuyo:

+34 91 541 24 88 · metalmadrid@easyfairs.com · www.metalmadrid.com

Coyuntura del metal

Por Confemetal

Actividad Productiva

La producción industrial de Metal, medida con el Índice de Producción del Metal (IPIMET) corregido de efecto calendario, anota en el mes de febrero un incremento del 0,9% respecto al mismo mes del año anterior, tras el repunte del 2,6% registrado en el mes anterior; en la serie original aumentó un 0,9% en enero, una décima porcentual menos que el registrado en el mes anterior.

En el acumulado en el año, se registra un incremento

INDICADORES DE ACTIVIDAD DE LA INDUSTRIA DEL METAL
Tasas de Variación. Índices Base 2015=100

% sobre mismo período del año anterior	% variación - Índices de Producción			% variación - Índices de Cifra de Negocios			% variación - Índices de Entrada de Pedidos		
	feb-19	ene-19	ENE-FEB 19	feb-19	ene-19	ENE-FEB 19	feb-19	ene-19	ENE-FEB 19
24. Metalurgia, fab. productos acero, acero y ferroaleaciones	-7,9	-1,6	-4,8	0,1	-2,1	-1,0	-1,7	-2,5	-2,1
25. Fab. prod.metálicos exepto maquinaria y equipo	5,4	2,8	4,2	7,9	7,1	7,5	2,7	0,1	1,4
26. Fab. prod. informáticos, electrónicos y ópticos	4,4	16,5	10,0	3,0	9,7	6,3	2,9	9,3	6,0
27. Fabricación de material y equipo eléctrico	-1,8	-3,0	-2,4	9,5	10,8	10,1	8,3	7,1	7,7
28. Fab. de maquinaria y equipo n.c.o.p. (*)	1,2	7,1	4,0	3,7	0,9	2,3	28,1	6,2	16,3
29. Fab. vehículos de motor, remolques y semirremolques	-2,1	-0,3	-1,2	-5,2	-6,7	-5,9	-7,8	-4,5	-6,2
30. Fabricación de otro material de transporte	8,2	9,2	8,6	10,9	18,9	13,6	109,7	-70,5	-18,2
33. Reparación e instalación de maquinaria y equipo	1,6	3,7	2,6	7,7	8,6	8,1	21,8	23,4	22,7
Industria del Metal	**0,9**	**2,6**	**1,7**	**3,4**	**2,7**	**3,1**	**10,4**	**-6,0**	**1,8**

(*) n.c.o.p.= no clasificado en otra parte. - Fuentes: INE y Confemetal

del 1,7% en la serie corregida de calendario (2,8% en 2018), y un 1,0% en la serie original (5% en 2018).

Por ramas de actividad, en el mes de febrero cabe anotar en la serie corregida de efecto calendario la caída en la fabricación y fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones, y en la fabricación de vehículos a motor, remolques y semirremolques por sexto mes consecutivo.

El Índice de Cifra de Negocios de la Industria del Metal (ICNMET) corregido de efecto calendario, que mide la evolución de la demanda actual y la facturación, aumentó en febrero un 3,4% (provisional), tras la tase de variación del 2,7% de enero.

En el acumulado del año, se anota una tasa de variación positiva del 3,1% (5,9% en 2018).

La evolución de la cifra de negocios, según las ramas de actividad del Metal en el mes de febrero, ha sido positiva en todas ellas, a excepción de la fabricación de vehículos a motor, remolques y semirremolques.

El Índice de Entrada de Pedidos de la Industria del Metal (IEPMET) corregido de efecto calendario, que mide la evolución de la demanda futura, experimentó un incremento en febrero del 10,4% (provisional), tras el decremento del 6% registrado en enero, acumulando en lo que va de año, un incremento del 1,8% (5,7% en 2018).

La evolución de la entrada de pedidos en el mes de febrero ha sido diversa; destaca la tasa positiva en la rama de fabricación de maquinaria y equipo, otro material de transporte y en sentido negativo, la fabricación de fabricación de vehículos a motor, remolques y semirremolques.

Comercio Exterior

Las exportaciones del Sector del Metal en febrero aumentaron un 0,7% en comparación al mismo mes del año anterior, frente al incremento registrado en enero, un 1,5%.

En el acumulado del año 2019, se incrementan un 1,1%, en comparación al mismo periodo del año anterior.

Por su parte, las importaciones del Metal aumen-

EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS MEDIOS (1) - PRODUCTOS SIDERÚRGICOS
(Índice Base Octubre 2003 = 100)

AÑO 2018-2019	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE
- Perfiles estructurales (HEB)	156	152	159	153	153	150
- Perfiles comerciales (angulares)	158	158	150	146	156	156
- Corrugado	162	160	152	151	155	149
- Chapa laminado frío	164	164	161	158	153	153
- Chapa laminado caliente	183	189	180	178	171	171
- Chapa galvanizada	164	167	161	159	153	153
- Tubos decapados	141	147	144	141	139	136

(1) Estos datos deben tomarse como un índice de tendencia, en ningún caso como referencia firme de precios. Fuente: UAHE

ÍNDICE DEL PRECIO PARA EL ACERO CORRUGADO

Índice Base enero 2014 = 100	nov-18	dic-18	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19
INDICE	106,99	108,72	107,35	106,54	109,13	106,47
% var. con respecto al mes anterior	-0,71%	1,62%	-1,26%	-0,75%	2,43%	-2,44%
% variación con respecto al mismo mes del año anterior	4,05%	4,02%	-2,94%	-4,05%	-0,84%	-2,40%

Fuente: Cámara de Comercio de España

taron en febrero un 3,3%, frente al 7,4% de enero, con lo que en año acumulado del año se registra el citado 5,3.

La diferencia de exportaciones e importaciones da como resultado un saldo comercial negativo de -780 millones, acumulando en el año del año un déficit de -2.411 millones (-1.515 en 2018).

Por tipos de bienes y para el periodo de enero-febrero, las exportaciones de metales comunes y sus manufacturas bajan un 0,2%, las de maquinaria, aparatos y material eléctrico suben un 3,8%, las de material de transporte bajan un 0,2% y las de instrumentos mecánicos de precisión suben un 3,1%.

Asimismo, las importaciones de metales comunes y sus manufacturas suben un 4,6%, las de maquinaria, aparatos y material eléctrico, un 8,9%, las de material de transporte, un 1,6%, y las de instrumentos mecánicos de precisión, un 5,5%.

Mercado Laboral

El número de afiliados a la Seguridad Social en la Industria del Metal alcanzó en el mes de marzo de 2019 la cifra de 777.177 personas, lo que supone 3.356 personas más con respecto al mes anterior y 11.631 más que en el mismo mes del año anterior.

En términos relativos, se anota un incremento del 1,5% interanual, el mismo porcentaje que el registrado en febrero.

En el primer trimestre del año se anota un crecimiento interanual del 1,6%, frente al 2% del trimestre anterior y el 4,9% respecto al mismo trimestre del año anterior.

Se alcanza un promedio anual de 773.112 afiliados, un 1,6% superior al crecimiento registrado en el mismo periodo del año anterior.

Según la EPA, el número de ocupados en la Industria del Metal (divisiones CNAE 2009 del 24 al 30 y el 33) alcanzó la cifra de 1.000.600 en el primer trimestre de 2019, lo que supone un aumento del 0,8% respecto al mismo trimestre del año anterior y 8.300 empleos más que un año antes, y 1.800 empleos menos que en el trimestre anterior.

El número de parados EPA en la Industria del Metal en el primer trimestre de 2019 alcanzó la cifra de 57.600 personas, lo que supone un aumento del 2,9% en com-

paración al mismo trimestre del año anterior, alcanzándose en la media de año 2019 un total de 57.600 personas desempleadas de media en toda la Industria del Metal, lo que supone un aumento del 2,9% con respecto al año anterior.

La población activa se mantiene por encima del millón de personas (1.058.200), un 0,9% más que en el mismo trimestre del año anterior.

La tasa de paro aumenta hasta el 5,4% de la población activa, desde el 5% del trimestre anterior.

Evolución del Mercado de Productos de Acero

Productos Siderúrgicos Largos

La información facilitada por la Unión de Almacenistas de Hierros de España (UAHE) se refiere a la evolución de los precios medios de diversos productos siderúrgicos, referidos a un índice base=100.

Este índice se calcula en base a los datos obtenidos en los diez primeros días de cada mes.

El índice toma como referencia el precio del producto en el mes de octubre de 2003 al que se le da valor 100.

Precios de Acero Corrugado

La Cámara de Comercio de España elabora mensualmente el Índice de Precios para el Acero Corrugado en España.

En la elaboración de este índice colaboran las empresas del sector, tanto productores de la materia prima, como demandantes.

El Índice Cámaras del Precio para el Acero Corrugado de abril de 2019 fue 106,47 puntos, lo que supone una variación del -2,44% respecto al dato de marzo (2,43%).

Con respecto al mismo mes del año anterior, el Índice de Precios ha bajado un -2,40%.

Uso en la producción de bobinas e inductores para el calentamiento por inducción. Estado actual de la tecnología más avanzada

Por Manuel Durán. 3D INDUCTORS Senior Designer specialist GH INDUCTION // GH ELECTROTERMIA

Las técnicas de fabricación de bobinas e inductores siguen dos patrones principales de producción. Aún el más popular, el que requiere doblar y soldar el tubo de cobre, permite dar forma al devanado para que se ajuste a la pieza a calentar. Esta es la solución desde los primeros días del temple por inducción [1]. Los requisitos de producción de alto rendimiento y durabilidad empujaron a los diseñadores y fabricantes de bobinas a considerar también una solución de producción más robusta, utilizando cuando fuera posible, bobinas mecanizadas.

Mientras que la vida útil de la bobina mejoró en muchas configuraciones, también aumentó el coste debido al uso de bloques de cobre mecanizados a las dimensiones adecuadas, para obtener la forma final. Además, esto no cambió el hecho de que las uniones soldadas todavía eran necesarias para todo el ensamblaje.

GH Induction hace más diez años empezó a investigar en nuevas tecnologías de fabricación, en su búsqueda de mejorar los procesos de fabricación y así garantizan la durabilidad y la vida útil de las bobinas.

Tecnologías de fabricación sin soldaduras

Para comprender los desafíos generales de la fabricación de bobinas, es importante entender cuál es el fenómeno que ocurre en una bobina durante el proceso de calentamiento y los elementos que influyen en su vida útil:

- Fatiga mecánica resultante de los ciclos de contracción y retracción, debido a las fuerzas magnéticas sobre la superficie de cobre durante las fases de calentamiento.
- Radiación de la superficie calentada.
- Desgaste del intensificador de campo (ferrita o laminaciones).
- Diseño de serpentín que restringe el paso de agua o crea turbulencias [2-3].

Las uniones soldadas en un ensamblaje de bobina / inductor son a menudo los puntos más débiles y el punto de inicio de la destrucción de la bobina (a menos que haya un cortocircuito debido a un contacto entre la bobina y la pieza, o al uso de una mala calidad de cobre).

Se han desarrollado dos técnicas para minimizar las uniones soldadas:

1. Fundición a la cera: Microfusion™

El primer desarrollo fue en 2011 utilizando una solución de fundición de precisión (Microfusion™ - Wax casting) con una combinación de cobre y plata. Este método se utilizaba ampliamente en joyería e industrias de precisión. El resultado es una bobina de una sola pieza cuyo material se produce con una excelente repetibilidad dimensional y espesores de pared de la bobina muy estrechos. Sin embargo, no era óptimo para pocas unidades y contaba con varias fases para la producción de la bobina.

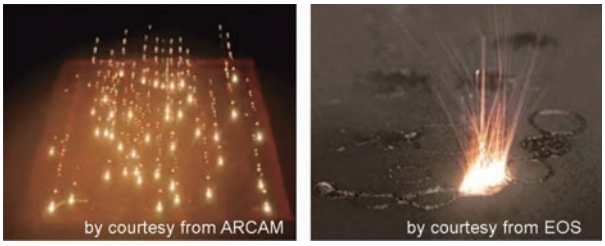


Imagen del proceso en vivo usando el rayo de electrones (izquierda) y el láser.

2. Fabricación de material aditiva: Impresión 3D

Dos años después (2013/2014) de la patente basada en microfusión y para mejorar el proceso de fabricación, desarrolló otro método basado en la fabricación aditiva y en el cual sigue invirtiendo.

Principios de fabricación en general

El principio general de la fabricación aditiva es crear capas de material mediante la fusión de polvo en una ubicación definida, para crear capas delgadas de material solidificado. La repetición de este proceso crea un modelo 3D.

Existen dos tecnologías principales basadas en el uso de un haz de láser (LBM) y una que utiliza un haz de electrones (EBM) como solución de fusión localizada [5]. Un concepto derivado basado en el uso del láser apareció relativamente reciente en el mercado, donde el produc-

FABRICACIÓN SENSORES DE TEMPERATURA

- Fabricación propia de Termopares y Termoresistencias.
- Especializados en tratamientos térmicos.
- Fabricación especial AMS-27850-E.
- Fabricación especial para hornos de vacío.
- Condiciones especiales para fabricantes de hornos.

LABORATORIO CALIBRACIÓN in situ

- Laboratorio acreditado ENAC en temperatura, in-situ y en nuestras instalaciones.
- Calibración de instrumentación, sensores de temperatura y hornos (TUS y SAT).
- Especialización en AMS-2750-E.
- Control de periodicidades entre calibraciones.
- Plataforma de certificados on-line.
- NUEVO servicio de calibración de transmisores de vacío in situ y en nuestro laboratorio.

SCI Suministro y Calibracion Industrial s.l.
www.sciempresa.com

Ribera de Axpe 11, D2, L203, 48950 Erandio - Vizcaya • Tel. +34 944765276 • Fax: +34 944766021 • e-mail: sci@sciempresa.com

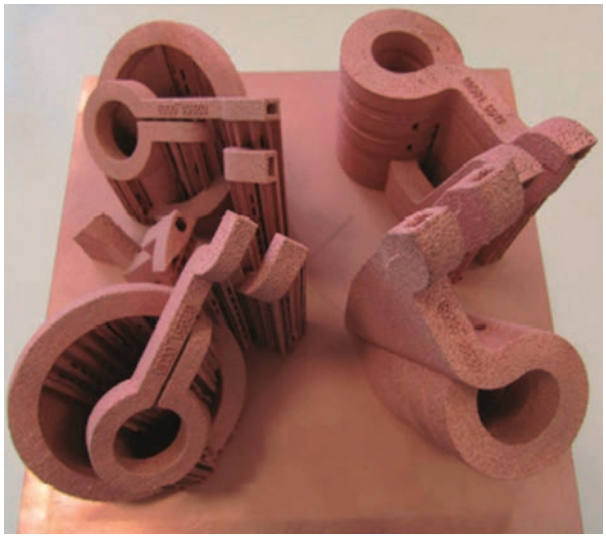
Features	EBM	LBM
Heating source	Electron beam	Laser beam
Powder material	Pure copper	Copper alloy
Material density after process	100 %	<99 %
Working environment	Vacuum	Argon atmosphere
Working temperature	Around 700 °C (pre-heat by laser)	Unit at 200 °C
Special support tooling	None or limited	Required
Post treatment	None (no stress)	Annealing (on highly stressed parts)
Production speed	EBM > LBM	
Powder size	EBM > LBM	
Capability to process copper	EBM > LBM (based upon GH Induction experience)	
Build rate (cm3/h	80	5-20
Remaining powder	Partly sintered	Free powder

Tabla de Comparación de Procesos EBM Vs. LÁSER.

to a tratar es fundido directamente por un láser justo después de una boquilla de inyección.

La comparación de los métodos es importante. Hoy en día muchas soluciones que utilizan el láser (LBM) aparecen debido a la facilidad del diseño de la máquina (sin cámara de vacío, sin alta temperatura...). Sin embargo, según la tabla que se muestra del propio láser presentan un inconveniente intrínseco a la hora de considerar la fabricación de la bobina con cobre puro:

- Transformación limitada de la energía en una fusión eficiente debido a la refracción del haz sobre el cobre [6].
- Se necesita un tratamiento posterior debido a la tensión creada dentro de la parte.
- Riesgo de contaminación del elemento (sin vacío).
- El uso de elementos adicionales para mejorar la adherencia del polvo sigue siendo un importante interrogante.



Lote de inductores de la máquina EBM.

Solución de producción de bobinas

GH Induction ha estado realizando pruebas y desarrollos con ambas tecnologías [7]. Hemos obtenido mejores resultados (velocidad de fusión, nivel de porosidad) con EBM, utilizando polvo de cobre que con LBM (problema de reflexión del haz, argón atrapado según la discusión anterior). Además, considerando un enfoque de producción industrial, la tecnología EBM permite apilar las piezas una sobre otra. Esto reduce el coste del lote (varias geometrías se fabrican juntas a la vez).

Además, el tiempo de proceso (véase la tabla inferior) es relativamente rápido y permite una fabricación por lotes completa en unas 24 horas. Por supuesto, estas tecnologías deben ser evaluadas constantemente, debido a los rápidos avances y evoluciones de las máquinas y los procesos. Las bobinas producidas utilizan un cobre puro (99,9%) entregado en polvo y utilizado, así como en la máquina EBM.

Ventajas de la impresión en 3D

Según la fundición de cera presentada anteriormente, la impresión en 3D, independientemente de la solución de impresión, presenta numerosas ventajas:

- Directamente desde el proceso de fabricación acabado CAD.
- Proceso EBM 3D que no requiere ningún proceso de alivio de tensión.
- Alta repetibilidad dimensional (dentro de 0,1 mm).
- Fabricación por lotes.
- Pueden ser reparadas como cualquier bobina hecha de tubo de cobre.

Inconvenientes de la impresión en 3D

La impresión en 3D presenta algunas limitaciones:

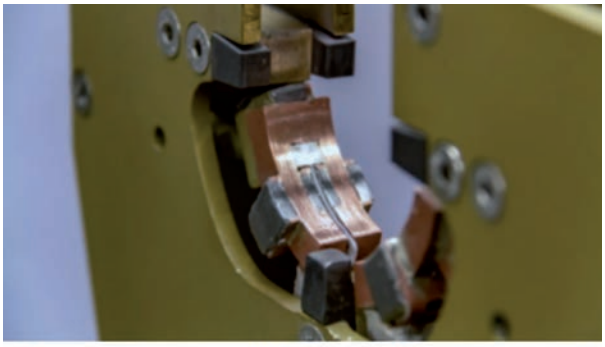
- EBM y LBM tienen limitaciones dimensionales que limitan el uso de estas técnicas.

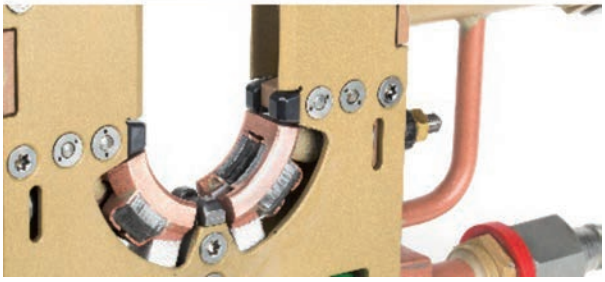
- En el caso de la EBM un tamaño ligeramente inferior a 180 x 180 x 140 mm. La capacidad actual de la máquina restringe su uso a bobinas de tamaño pequeño y mediano, como las que se utilizan comúnmente para componentes de automoción.
- El diseño CAD es necesario para la transferencia adecuada de datos a la máquina 3D, lo que significa que es necesario diseñar cada pieza a tener en cuenta.
- Espesor de pared no inferior a 1,0 mm.

Aplicaciones Industriales. ¿Dónde utilizar las bobinas impresas EBM 3D?

A pesar de las numerosas ventajas, podemos considerar algunas pautas para considerar el uso de EBM.

- Bobina con una vida útil muy larga.
- Bobina con alto volumen de piezas a producir (tipo automoción).
- Bobina para pieza con un perfil de tratamiento térmico preciso.
- Bobina con dimensiones dentro de un volumen determinado de la cámara de trabajo (limitación de la máquina).





- Bobina de geometría compleja que requiere variaciones en el espesor de la pared o muchos cambios finos en el perfil de cobre.
- Diámetro interno de la bobina con dimensiones muy pequeñas.

Ejemplos industriales

Las bobinas impresas en 3D se han utilizado rápidamente en varias aplicaciones. Después de los primeros casos de uso se ha producido una clasificación natural para centrarse en la aplicación, como ya se ha mencionado anteriormente, donde la vida útil es clave y el objetivo es la reducción de costes por pieza producida.

A. Aplicación en componentes de motor - cigüeñal

El cigüeñal es una parte compleja donde la vida útil de las bobinas es muy importante, porque impacta mucho el coste por pieza.

Si tomamos como ejemplo un cigüeñal de 4 cilindros de un automóvil de pasajeros, dependiendo de la configuración de la máquina, se pueden necesitar hasta 9 bobinas para templarlo en una sola máquina con un tiempo de ciclo aproximadamente de 40 segundos.

Estas bobinas suelen tener una vida útil que oscila entre 40 y 60.000 ciclos en media.

Se puede lograr un mayor número de ciclos con máquinas de mayor velocidad e inductores complejos, cuyo incremento del coste aumenta mucho el coste por pieza producida.

Pasar a inductores 3D el usuario final se beneficia de las siguientes ventajas:

- Vida útil de 50.000 a 150.000 / 200.000 ciclos como promedio (existe el caso de 450.000 piezas producidas).
- Reducción del número de controles debido a que no se cambia el inductor.
- Ahorro de piezas de producción perdidas al no detenerse la producción.

B. Aplicación en el montaje de semiejes de transmisión

Con alrededor de 60 millones de vehículos personales y camiones ligeros ensamblados cada año, el semieje representa un gran volumen para el tratamiento térmico por inducción, como un componente de seguridad muy importante.

Uno de los componentes utilizados en el montaje es el anillo exterior fijo que tiene 2 áreas principales para endurecer (vástago y campana).

La bobina típica de temple del vástago (bobina tipo canal) realizará un calentamiento de una sola inyección de 3 a 5 segundos, dependiendo de su longitud, la profundidad requerida de la caja y el tiempo de ciclo.

La potencia involucrada (más de 100 kW) hace que la bobina sea un componente altamente tensionado.

Más allá del aumento de la vida útil, el usuario se beneficiará también de la reducción del trabajo de cambio y aumentará la ganancia de la producción por bobina.

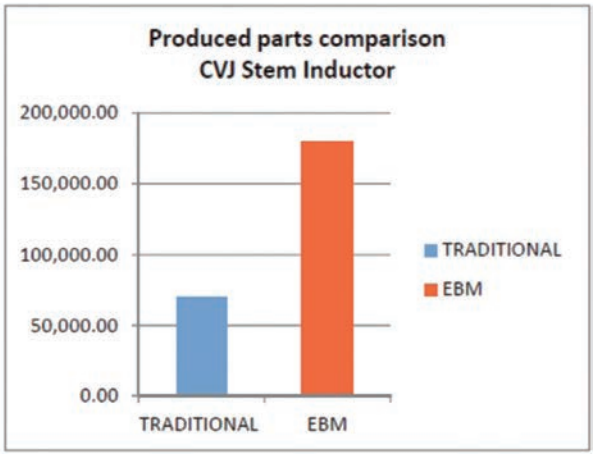
CONCLUSIONES

Las tecnologías de fabricación sin soldaduras para bobinas ya se presentan a los usuarios desde hace 5 años, utilizando la conocida técnica de la fundición a la cera.

Con las técnicas de fabricación aditiva se ha dado un nuevo paso con importantes ventajas que son la repetibilidad dimensional, la fabricación en un solo paso y la capacidad de fabricación por lotes.

Por supuesto, todavía existe alguna limitación el uso de dicha tecnología, pero las nuevas capacidades de las máquinas las superará y será la tecnología estándar.

Éste es el caso de GH que utiliza impresión 3D complementando el resto de las técnicas disponibles.



Comparación de la vida útil de la bobina para el proceso de endurecimiento del vástago CVJ.

40 ANIVERSARIO · ANNIVERSARY · Desde / Since 1978
• Gran disponibilidad de modelos.
• Alta variedad de calidades.
• Piezas a medida según plano.
• Tubos radiantes.
• Rodillos.
• Parrilas.
• Cestones/cadenas.
• Muflas/Potes de recocido.
• Recuperadores.
REPRESENTANTE PARA ESPAÑA Y PORTUGAL
Tecnymat Aceros, S.L.
Polígono Industrial Ugaldeguren 3 - Parcela 17-2, Nave 1
48170 Zamudio (Vizcaya)
Teléf.: 944 710 035 - Fax: 944 710 227
tecnymat@tecnymat.com
SCHMOLZ + BICKENBACH GUSS
GmbH & Co. KG

SU MEJOR COMUNICACIÓN
REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL
Estrenamos Nueva Web
www.pedeca.es
• Nuevo diseño y navegación más fácil, rápida e intuitiva
• Nuevos contenidos con los temas que le interesan
• Nueva presentación e información actualizada día a día
• Web responsive para que consulte desde su dispositivo favorito
PREGUNTE POR NUESTROS PACKS DE PUBLICIDAD
IMPRESIÓN + DIGITAL
PEDECA Press Publicaciones
SOMOS SU MEDIO
C/ Goya, 20. 1°. • 28001 MADRID
Telf.: 91 781 77 76 • Fax: 91 781 71 26
pedeca@pedeca.es • www.pedeca.es

La industria consumidora de gas reivindica la necesidad de peajes armonizados, con los del resto de sus competidores europeos

Se ha celebrado en Madrid el Foro Industrial del Gas 2019, bajo el lema "El nuevo marco del gas como oportunidad para la industria", un encuentro anual organizado por GasINDUSTRIAL que contó con importantes personalidades de las industrias españolas consumidoras de gas y del sistema gasista.

Javier Esteban, presidente de GasINDUSTRIAL, señaló en su discurso que "el gas es estratégico para cientos de empresas industriales españolas que, a su vez, juegan un papel clave en la sostenibilidad del sistema gasista, ya que su consumo supone más del 60% de la demanda nacional, con una factura anual de 4.700 millones de euros".

Costes del gas para la industria, desventaja competitiva

Los precios que paga el industrial español son de media, dependiendo del país, entre un 20 y un 25% más altos que los de sus competidores europeos. Y en el coste final esta diferencia se eleva, ya que los peajes están en España un 45% por encima de los de la media europea, una realidad que incide directamente en la competitividad de sectores como el papelero, siderúrgico, cerámico, cogeneración, químico, vidrio, refino y otros muchos cuyos procesos productivos son intensivos en gas.

Javier Esteban resumió en diez puntos qué se necesita en España para contar con un suministro de gas al industrial, que sea homologable en precios con el del resto de sus competidores europeos con los que concurre en mercados globales.

Los diez objetivos arrancan por lograr que los costes regulados del sistema no soporten conceptos que no correspondan a servicios realmente prestados, por bajar sustancialmente esos costes y que estas reducciones se trasladen a los peajes y no a reducir la deuda histórica del sistema, y que las reducciones de las tarifas de peajes repercutan en una bajada sustancial a la indus-

tria. Asimismo citó la necesidad de que la CRE baje el precio de los peajes de atravesar Francia y que la conexión por los Pirineos Orientales (STEP) se haga realidad.

El presidente señaló que MibGas debe alcanzar la plena liquidez en la curva de productos de hasta dos años, que deben eliminarse las barreras de entrada de gas al sistema mediante un hub de GNL con total liquidez, y que es vital la participación de los consumidores industriales directos en el mercado. Y pidió también que no se incrementen los impuestos por consumo del gas, en especial por transferencia de costes de política energética.

Además, Javier Esteban anunció que la Asociación ha promovido la puesta en marcha de una iniciativa de asociaciones -ACOGEN, ANFEVI, ANFFECC, AOP, ASCER, ASPAPEL, CONFEVICEX, FEIQUE, y UNESID-, cuyos industriales son consumidores de gas, con el objetivo de actuar como interlocutor de la industria con el sistema gasista en el tema de los cambios legislativos, que han de dar paso a un nuevo marco normativo que supondrá una puesta al día de los costes de peajes y también un avance en la apertura a la liberalización efectiva de en-

Principales sectores de grandes consumidores de gas en España: Química, cerámica, alimentación, siderúrgica y papel.

Abrasivo de acero de alta calidad para granallado

La tecnología de Ervin para abrasivos con alto contenido de carbono es la más avanzada del mundo. Ervin fabrica sus productos en Alemania y el Reino Unido de acuerdo con los estándares internacionales SAE e ISO. Nuestro proceso de producción, completamente controlado, garantiza productos uniformes con una microestructura martensítica templada. Los estrictos controles de calidad, combinados con un proceso de producción líder, reducen el consumo y aumentan la transmisión de energía de la granalla, proporcionando el mejor resultado para nuestros clientes.

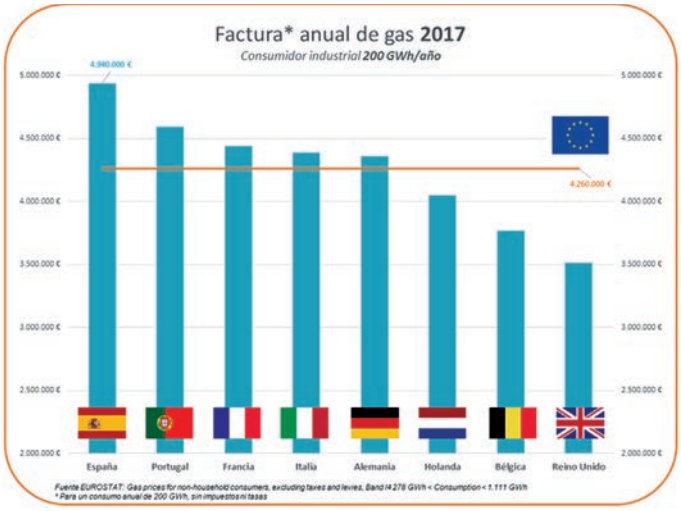
Por favor visítenos en el: GIFA / Hall 15 / Stand B25

ERVIN

Ervin Germany GmbH
P +34 628 531 487
iberia@ervin.eu

The World Standard for Quality

www.ervin.eu



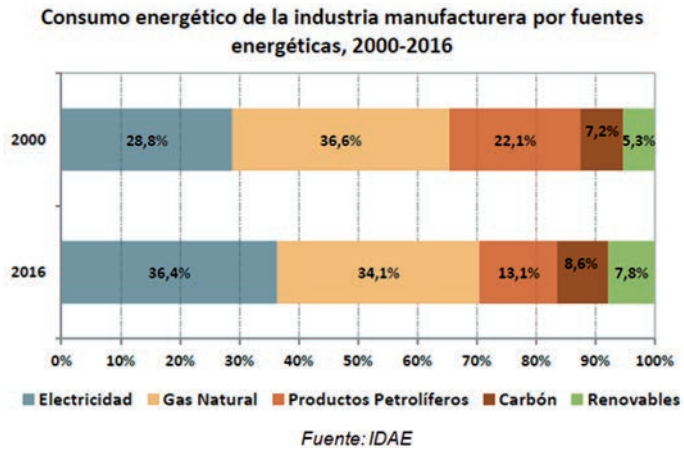
La industria manufacturera española paga más por el gas que consume que cualquiera de sus homógologas europeos con los que compite.

trada de gas al sistema, algo trascendental para las industrias consumidoras de gas.

Consumo industrial de gas en la transición ecológica

El Foro Industrial del Gas 2019 se desarrolló en dos mesas de debate; la primera bajo el título de "Consumo industrial de gas en la transición ecológica", en la que se debatió sobre el binomio industria-gas desde el enfoque de los diferentes sectores industriales intensivos en

Gas y Electricidad, con peso similar, principales fuentes energéticas de la industria manufacturera española



La factura anual del gas de la industria >4.700 millones de euros/año.

gas y que contó con la intervención de Bruno de Bièvre, presidente de UBE Corporation; Francisco Aguilocho, director de compras de AB Azucarera Iberia, Miguel Sánchez, director general de RDM Barcelona Cartonboard. La mesa fue moderada por Verónica Rivière, directora general de GasINDUSTRIAL.

Los industriales mostraron su gran preocupación por los altos costes del gas, señalando que suponen una clara desventaja comparativa frente a sus homólogos de Francia, Alemania o Italia con los que concurren en mercados globales. Rivière afirmó que "sólo con un gas competitivo, España podrá impulsar la reindustrialización".

Los participantes coincidieron en que, para competir en mercados globales, la industria española necesita costes de gas armonizados con los de sus competidores europeos y que por ello debe agilizarse la asunción de medidas que promuevan esa equiparación de costes del gas, con los del resto de países europeos con los que competimos.

Nuevo marco normativo, oportunidad para armonizar costes con Europa

La segunda mesa, titulada "Novedades en el contexto del gas y su repercusión en el consumo industrial", contó con la participación de María Fernández, vicepresidenta de la CNMC; Marcelino Oreja, consejero delegado de Enagás; Raúl Yunta, presidente de MibGas y Sergio López, subdirector general de Hidrocarburos del Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO), y fue moderada por Javier Esteban.

La CNMC ha publicado el calendario de circulares normativas en materia de energía que incidirán directamente en el coste que paga por el gas el consumidor industrial. Hasta fin de año, el regulador aprobará una serie de circulares que conformarán un nuevo marco regulatorio del sistema gasista. Para Javier Esteban, presidente de GasINDUSTRIAL, "este marco es una oportunidad para armonizar los peajes en línea con el resto de Europa".

La mesa repasó las novedades normativas en el contexto del gas y su repercusión en el consumo industrial, abordando la importancia de las futuras circulares que la CNMC publicará en este año. En cuanto al mercado, se destacó la necesidad de implementar medidas que agilicen y faciliten la participación directa de los industriales en MibGas, así como la creación de un hub de GNL. Los avances en la liberalización del mercado y los mercados de futuros y el papel del gas en la ruta para la descarbonización de la industria, fueron los temas estrella de esta mesa.

Algunas consideraciones sobre los aceros de cementación (Parte V)

Por Manuel Antonio Martínez Baena, Ingeniero Metalúrgico

5. Introducción

Los **aceros de cementación** tienen, como denominador común, un bajo contenido de carbono comprendido, normalmente, entre 0,12 y 0,25% [C = (0,12 ÷ 0,25%)]. Se utilizan en la fabricación de piezas y otros componentes para el automovil que han de resistir fuertes rozamientos, tener buena respuesta a las vibraciones, y aguantar los choques y demás esfuerzos a los que, habitualmente, están sometidas en su trabajo mecánico; **figura 5.1**. La obtención de tales características –*resistencia al desgaste*, *resistencia a la fatiga* y *resistencia a los esfuerzos mecánicos*–, algunas de ellas opuestas entre sí, se consiguen mediante un correcto tratamiento térmico de: **cementación** + **temple + revenido.**

Con la cementación se enriquece en carbono la superficie de las piezas de acero. El carbono difunde desde la superficie hacia el interior o núcleo del material en proceso; la superficie enriquecida alcanza unos espesores o profundidades de capa cementada, que en la práctica industrial están, usualmente, comprendidos entre 0,5 y 2 milímetros.

El tratamiento termoquímico de cementación, consiste en calentar las piezas de acero en una atmósfera rica en carbono (**C**) a temperaturas austeníticas, que nor-

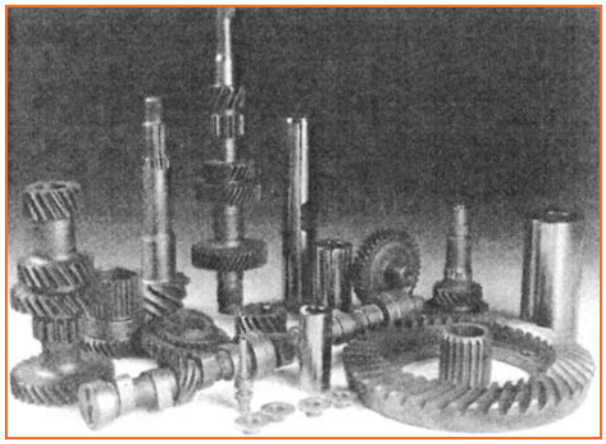


Figura 5.1. Piezas y componentes del motor y caja de cambio de automóvil fabricados con aceros de cementación. Tratamiento de cementación, temple y revenido.

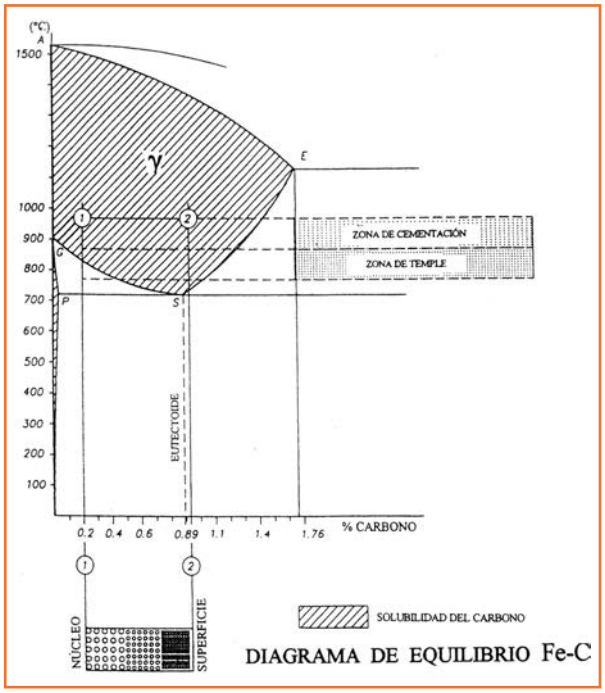


Figura 5.2. Diagrama simplificado (**Fe-C**). Representación esquemática de los niveles de temperatura y concentración de carbono (%**C**) en la capa cementada, característicos de toda cementación.

malmente están comprendidas entre 880 y 930 °C, –**figura 5.2**– durante un tiempo determinado que depende del espesor de capa pretendido: a mayor profundidad de capa mayor tiempo de cementación. Con la cementación se obtiene un nuevo acero, de naturaleza heterogénea, con alto carbono en la superficie [**C** = (0,80 ÷ 1,10%)]; que, una vez templado y revenido, alcanza una elevada dureza superficial superior a **58 HRC**, mientras que en el núcleo, no alterado el carbono del acero original [**C** = (0,10 ÷ 0,25%)], se obtienen las características propias de su estado y composición química.

En la cementación, debido a los mecanismos que entran en juego y regulan el proceso, el contenido de carbono va disminuyendo desde la superficie al núcleo o corazón de la pieza correspondiente. En la pieza cementada existe, entonces, una capa exterior rica en carbono [**C** = (0,80 ÷ 1,10%)] y un núcleo, con bajo carbono (**C** ≤ 0,25%), que corresponde al acero del cual se ha partido para fabricar la pieza en cuestión.

La idea simplista de lograr, en las piezas cementadas y templadas, un núcleo tenaz y una capa dura, es en la práctica, bastante más complicado de lo que parece a simple vista, si analizamos detenidamente, los distintos factores que intervienen en el proceso de cementación + temple.

La capa cementada ha de reunir los siguientes requisitos: (1) ha de ser dura y tiene que estar bien adherida al núcleo o substrato que la soporta; (2) tiene que resistir la fricción y, también, las potenciales solicitaciones de choque; y (3) ha de tener la tenacidad suficiente para no agrietarse por muy dura que sea, ya que su rotura acarreará irremediablemente el fallo catastrófico de la pieza en servicio. El núcleo no basta con que sólo sea tenaz, si no que ha ser al mismo tiempo, lo suficientemente resistente para poder soportar, sin deformarse ni romperse, eventuales esfuerzos máximos a los que están, normalmente, expuestas las piezas y demás componentes mecánicos en servicio.

Para que las piezas a cementar alcancen, en cada caso particular, las características más convenientes de capa y de núcleo, hay que imponer para su correcto cumplimiento, dos condiciones de tipo metalúrgico: (1) el material base, es decir, el acero con el que se ha de fabricar la pieza; y (2) el ciclo completo de tratamiento térmico: [*cementación* + *temple* + *revenido*].

La importancia del papel que representa el acero y el que representa el tratamiento termoquímico de cementación, en el éxito o en el fracaso de las pieza cementadas; es potencialmente la misma, con idéntico valor que la importancia del papel que representa el tratamiento térmico final de temple + revenido.

ACERO EN/UNE (Simbólica)	Composición química (% en masa)							
	C	S máx	Mn	P máx	S	Cr	Mo	Ni
C 15	0,12 ÷ 0,18	0,40	0,30 ÷ 0,60	0,035	< 0,035	–	–	–
17Cr3	0,14 ÷ 0,20	0,40	0,30 ÷ 0,90	0,025	< 0,035	0,70 ÷ 1,00	–	–
16MnCr5	0,14 ÷ 0,19	0,40	1,00 ÷ 1,30	0,025	< 0,035	0,80 ÷ 1,10	–	–
20MnCr5	0,17 ÷ 0,22	0,40	1,10 ÷ 0,90	0,025	< 0,035	1,00 ÷ 1,30	–	–
18CrMo4	0,15 ÷ 0,21	0,40	0,60 ÷ 0,90	0,025	< 0,035	0,90 ÷ 1,20	0,15 ÷ 0,25	–
20MoCr4	0,17 ÷ 0,23	0,40	0,70 ÷ 1,00	0,025	< 0,035	0,30 ÷ 0,60	0,40 ÷ 0,50	–
16NiCr4	0,13÷0,19	0,40	0,70 ÷ 1,00	0,025	< 0,035	0,60 ÷ 1,00	–	0,80 ÷ 1,00
15NiCr13	0,13 ÷ 0,19	0,40	0,40 ÷ 0,70	0,025	< 0,035	0,60 ÷ 0,90	–	3,00 ÷ 3,50
17NiCrMo6-4	0,14÷ 0,20	0,40	0,60 ÷ 0,90	0,025	< 0,035	0,80 ÷ 1,20	0,15 ÷ 1,25	1,20 ÷ 1,50
14NiCrMo13-4	0,11÷ 0,17	0,40	0,30 ÷ 0,60	0,025	< 0,035	0,80 ÷ 1,10	0,20 ÷ 0,30	3,00 ÷ 3,50
20NiCrMo13-4	0,17÷ 0,22	0,40	0,30 ÷ 0,60	0,025	< 0,035	0,80 ÷ 1,20	0,30 ÷ 0,50	3,00 ÷ 3,50

Tabla 5.I. Composición química de los principales aceros de cementación de uso más corriente. Euronorma **UNE-EN 10084/2008**.

5.1. Selección y elección de los aceros de cementación

En la selección de los aceros de cementación es importante conjugar varios factores: (1) la geometría y dimensiones de la pieza; (2) la resistencia mecánica del núcleo; y (3) el propio precio del acero. La interrelación de estos tres factores determinará, para cada caso, la elección del acero a utilizar, que junto con las tolerancias dimensiónales de las piezas en cuestión, fijará la aplicación de un determinado ciclo completo de tratamiento: [*cementación + temple + revenido*]. Todo ello, encaminado a evitar los riesgos de rotura y de distorsiones de las piezas cementadas, nos llevará a la elección del acero con el nivel de composición química más adecuado; **tabla 5.I**

El conjunto de aceros de cementación lo forman dos grupos principales: (1) grupo de **aceros al carbono** (**C**) de presencia restringida; y (2) grupo de **aceros aleados** de una más amplia presencia: aceros al cromo (**Cr**), aceros al cromo-manganeso (**Cr-Mn**), aceros al cromo-molibdeno (**Cr-Mo**), aceros al níquel-cromo (**Ni-Cr**) y aceros al níquel-cromo-molibdeno [**Ni-Cr-Mo**].

Los **aceros al carbono** se utilizan en la fabricación de piezas con formas simples y de pequeñas dimensiones. Dada la débil templabilidad de los aceros al carbono, debido a su falta de aleación, el enfriamiento de temple se realiza normalmente en agua y es por lo que dichos aceros no se podrán utilizar en la fabricación de piezas de geometría compleja y de difícil diseño, ya que existe el riesgo de deformaciones, e incluso el de roturas, con un temple en agua tan enérgico.

Los **aceros aleados** presentan, particularmente, características de templabilidad netamente superiores frente a los aceros al carbono; circunstancia que hace posible su temple en medios menos enérgicos: temple en aceite o en baño de sales a una relativa baja temperatura de enfriamiento [Tª baño enfriamiento = (170 ÷ 200 °C)]. Según la resistencia y tenacidad que, potencialmente, se puede alcanzar en el núcleo de las piezas, una vez cementadas y templadas, los aceros de cementación se suelen clasificar en tres grupos principales:

- ***Aceros de gran tenacidad*** y ***baja resistencia***. Dentro de este grupo se encuentran los aceros al carbono más representativos: **C 15** (F-1511); **C 10** (F-1510). La resistencia (**R**) de temple en núcleo estimada, está comprendida entre 60 y 80 kg/mm^2 [MPa = (588 ÷ 784)].

- ***Aceros de aceptable resistencia*** y ***tenacidad media***. Dentro de este grupo se incluyen los aceros de baja y media aleación; **p.ej.**: **16MnCr5** (F-1516); **18CrMo4** (F-1550**); 16NiCr4** (F-1580). La resistencia (**R**) de temple en núcleo estimada, está comprendida entre 80 y 100 Kg/mm^2 [MPa = (784 ÷ 980].

- ***Aceros de más alta resistencia***. Para niveles de resistencia alta se utilizan los aceros de mayor aleación;

ACERO EN/UNE (Simbólica)	Dureza en condición de tratamiento		Propiedades mecánicas en la sección templada [núcleo]											
			≤ 11mm de diámetro				[12 ÷ 30] mm de diámetro				[30 ÷ 70] mm de diámetro			
	Recdo *HB	**F+ P HB	$LE_{0,2}$ MPa	R MPa	A (%)	Z (%)	$LE_{0,2}$ MPa	R MPa	A (%)	Z (%)	$LE_{0,2}$ MPa	R MPa	A (%)	Z (%)
C 15	145	125	450	850	12	30	390	780	14	40	—	—	—	—
17Cr3	174	120 160	530	850 1050	10	35	450	750 950	11	40	—	—	—	—
16MnCr5	207	140 287	650	920 1130	9	35	620	820 1115	10	40	450	660 970	11	40
20MnCr5	217	152 207	760	1100 1385	7	30	710	995 1315	8	35	460 570	810 1115	10	35
18CrMo4	207	140 187	655	905 1210	9	35	595	805 1110	10	40	—	—	—	—
20MoCr4	220	150 200	760	1120 1385	7	30	705	1000 1320	8	35	—	—	—	—
16NiCr4	210	152 201	710	990 1310	8	35	680	910 1210	9	40	560	800 1110	10	40
15NiCr13	235	170 217	860	1255 1470	7	30	810	1205 1460	7	35	750 800	1115 1350	8	36
17NiCrMo6-4	225	160 207	855	1210 1460	7	30	805	1205 1450	9	35	710	1115 1355	8	35

***HB = Dureza Brinell **F = Ferrita; **P = Perlita

Tabla 5.II. Dureza en condición de tratamiento y características mecánicas en el núcleo templado, según el diámetro o sección de la que se parte. Aceros de cementación de uso más corriente.

p.ej: **20NiCrMo13-4** (F-1525); **15NiCr13** (F-1540); **14NiCrMo13-4** (F-1560). La resistencia (**R**) de temple en núcleo estimada, está comprendida entre [110 ÷ 150] Kg/mm^2 = [1078 ÷ 1470] MPa.

En la **tabla 5.II** se indican la dureza en estado de recocido, y las características mecánicas del núcleo templado –*límite elástico*, *resistencia mecánica*, *alargamiento de rotura* y *estricción*– de una serie de aceros de cementación, de uso muy corriente en la industria del automóvil, según el diámetro o sección de material en cuestión.

En los aceros de cementación al cromo (**Cr**), en diámetros y secciones de cierta dimensión, es posible el temple en agua; con el temple en agua se consiguen valores de tenacidad moderadamente altos, todavía, en el núcleo y una alta resistencia al desgaste en la capa cementada. Los aceros de cementación al cromo (**Cr**) presentan al mismo tiempo características, particularmente mayores, frente a las que se obtienen en el grupo de aceros al carbono (**C**); pero al templar los aceros al cromo en agua sufren una fuerte y evidente deformación, con el peligro añadido de posibles grietas de temple.

Los aceros de cementación al manganeso-cromo (**Mn-Cr**) [**16MnCr5**… **27MnCr5**] se pueden utilizar en piezas de pequeñas o medianas secciones (**≤ 40 mm**), con formas simples, que no estén muy solicitadas frente a esfuerzos de fatiga, ni tampoco a los de choque. Lo mismo es válido para los aceros cromo-molibdeno (**Cr-Mo**); el acero **18CrMo4**, de amplísima utilización, es muy apto para la fabricación de piezas con secciones transversales o espesores máximos hasta **30 mm**. Más allá de **40 mm** de espesor, hay una fuerte caída de los valores de resistencia en el núcleo, por lo que no es aconsejable su empleo en secciones transversales y/o espesores superiores.

El grupo de aceros de cementación al níquel-cromo (**Ni-Cr**), incluye diversos aceros muy adecuados para la fabricación de piezas, que estén dentro de una amplia gama de diámetros y espesores. El acero **16NiCr4** es muy apropiado para aquellas piezas que tengan que sufrir alguna operación de recalcado y/o extrusión en frío, debido a su notable plasticidad; sobre todo, cuando la estructura del material de partida es de tipo globular. El acero **16NiCr4** se emplea ampliamente en la industria de automoción, sobre todo en engranajes y piezas de responsabilidad, cuyas secciones transversales y/o espesores están comprendidos entre **40** y **60 mm.**

Conducta garantizada: (1) por su buena aptitud al mecanizado, cuando el material ha sufrido un recocido isotérmico; (2) por admitir una cementación uniforme y de fácil ejecución; y (3) por las muy buenas características que se pueden obtener de resistencia y tenacidad, tanto de capa como de núcleo, después de que el material ha sido cementado y templado.

En este grupo de aceros está incluido, por su impresionante historia, el más clásico y, al mismo tiempo, el más popular de todos los aceros de cementación al níquel habidos en nuestro país: el acero **D2** según norma del antiguo Instituto de Técnica Aeronáutica (**INTA**); **F-154** designado años después por el Instituto del Hierro y el Acero (**IHA**). Por último, con las desgnación de la Norma **UNE-EN**, **15 NiCr13** (F1540) simbólica y numérica, respectivamente. Es éste un acero de alto níquel [**Ni** = (3 ÷ 3,50%)] utilizado, preferentemente, en la fabricación de piezas y elementos mecánicos que transmiten grandes esfuerzos, y en aquellos otros en los que se desea una buena tenacidad. Se alcanza, por temple, resistencias de núcleo comprendida entre 900 y 1250 MPa. En el grupo de aceros de cementación al níquel-cromo-molibdeno [**Ni-Cr-Mo**], los aceros que lo integran tienen unas características que son las más apropiadas y fundamentales para obtener de ellos el máximo rendimiento:

a. Buen comportamiento al tratamiento de cementación + temple + revenido.

b. Temple final (≤ 860 °C) con escasa tendencia a la formación de austenita retenida.

c. Elevada resistencia y tenacidad de núcleo.

d. Aceptable aptitud de mecanizado.

Dentro de este grupo de alta aleación, los aceros más utilizados que presentan después del correspondiente tratamiento térmico, la mayor resistencia mecánica de núcleo de las piezas correspondientes, son:

- Acero **20NiCrMo2-2**; se emplea y utiliza, normalmente, en piezas cuyo espesor o sección transversal no sobrepase los **40 mm.**

- Acero **17NiCrMo6-4**, su empleo está centrado en una amplia gama de piezas de sección transversal o espesor máximo de hasta **80 mm**. Acero de muy amplia difusión.

- Acero **20NiCrMo6-4,** tiene análogo comportamiento que los anteriores, y tiene una cierta mayor templabilidad que el acero **17NICrMo6-4** y es, asimismo, menos tenaz. Se utiliza, con gran profusión, en la fabricación de piezas de sección transversal o espesor máximo hasta **95 mm.**

- Acero **14NiCrMo13-4**, de utilización más restringida, es el acero de más aleación del grupo. Gracias a su gran templabilidad resulta muy adecuado para la fabricación de piezas de grandes secciones transversales o espesores, entre **100** y **150 mm**, que deban cumplir las más altas exigencias mecánicas.

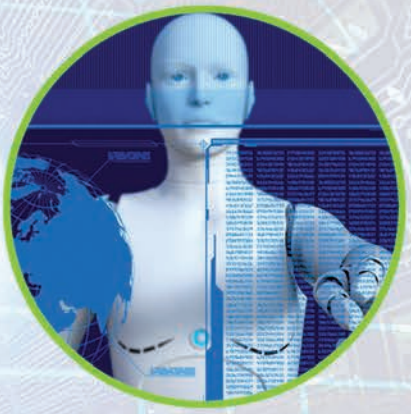
En la **figura 5.3** se indican, a título informativo, los datos para la elección de varios de los principales aceros de cementación de más alta aleación, en función del diámetro máximo o sección transversal equivalente, ca-

INDUSTRIA 4.0

DIGITAL FACTORY
INTELIGENCIA ARTIFICIAL
TECNOLOGÍA PARA LA SALUD
ROBÓTICA DE SERVICIO
EDUCACIONAL
SISTEMAS PESQUEROS
MONITORIZACIÓN y TELEDETECCIÓN
DRONES E INDUSTRIA AEROESPACIAL
IMPRESIÓN 3D

INNOVATLÁNTICO 4.0
salón de las nuevas soluciones tecnológicas
VIGO 3 y 4 OCTUBRE 2019
EXHIBITION CENTER - ESTACIÓN MARÍTIMA

INNOVATLÁNTICO
VIGO 4 Y 5 OCT 2018
salón de las nuevas soluciones tecnológicas



VIGO: EJE DINAMIZADOR DEL NOROESTE PENINSULAR

"FORUM INNOVATLÁNTICO"

Muelle de Trasatlánticos VIGO s/n. C.P.: 36202 VIGO.
TELÉFONO: +34 886 117 898 | MÓVIL: +34 693 737 287
info@saloninnovatlantico.com www. saloninnovatlantico.com
twitter.com/InnovAtlantico_ www.facebook.com/SALONInnovatlanticoVIGO

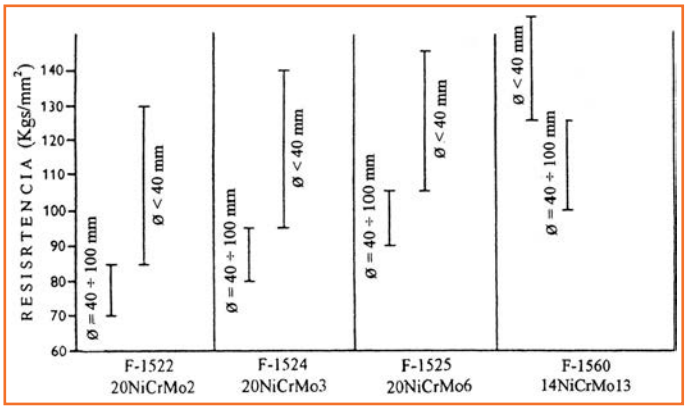


Figura 5.3. Valores orientativos de resistencia en el núcleo, después del temple, de un cierto número de aceros de cementación en función del diámetro o sección transversal equivalente.

lidad de pieza, y de la resistencia que se desea alcanzar en el núcleo de la misma.

Resumiendo: es importante evaluar como factores que intervienen en la elección del acero, junto a todo lo ya indicado, aquella composición química y aquel estado de suministro más económicos que nos garantice: (1) una buena respuesta al mecanizado; (2) un buena respuesta a los tratamientos térmicos de cementación + temple. Con la finalidad fundamental de conseguir siempre las menores distorsiones posibles, en las piezas cementadas y templadas, así como el mejor y máximo rendimiento en servicio.

Para finalizar este apartado indicamos por su importancia –*haciendo una amplia exposición*– las cuatro características fundamentales que se han de tener siempre en cuenta, a la hora de elegir y seleccionar un acero de cementación: (1) templabilidad; (2) tamaño de grano austenítico; (3) propiedades mecánicas a alcanzar; (4) deformaciones y distorsiones.

5.1.1. *Templabilidad*

Para facilitar la selección del acero más idóneo, se recurre al criterio más característico y usual, tal es el **ensayo de templabilidad Jominy**, que para cada acero determinan el diámetro, con lo cual se puede asegurar, como mínimo, el 70 por 100 (≥**70**%) de martensita en el núcleo, después de templado el correspondiente material en aceite.

El ensayo de templabilidad Jominy tiene la gran ventaja indicada, de poder reproducir las condiciones de temple con suficiente precisión y en el que, también, los resultados son siempre comparables. Es el ensayo normalizado para comprobar la templabilidad del núcleo y de la capa. Desde el punto de vista metalúrgico, sólo basta que los aceros de cementación tengan la templabilidad suficiente para asegurar una estructura martensítica. La templabilidad, no cabe duda, tiene una primordial importancia en las propiedades y en la clasificación de los aceros de cementación; aceros éstos que deben, normalmente, cumplir con una banda de templabilidad, según normas establecidas.

Durante el proceso de cementación + temple directo, y en virtud de que toda la pieza se enfría al mismo tiempo, hay que considerar, al mismo tiempo, una templabilidad de núcleo y una templabilidad de capa.

La templabilidad de la capa cementada ha revelado ser, en la práctica, el criterio más importante establecido. Su aplicación ha permitido la elección de aceros bien adaptados a los métodos actuales de fabricación que utilizan el temple directo, es decir, aprovechar como temperatura de temple la propia temperatura de cementación.

El esquema que representamos en la **figura 5.4**, debido a los estudios de H. U. Meyer sobre la templabilidad de capa, pone de manifiesto el interés práctico de las curvas de templabilidad de la capa cementad,a obtenidas mediante el ensayo de templabilidad Jominy. Se estudian tres aceros de cementación [**A**, **B**, **C**] con distintos contenidos de elementos de aleación en su composición química, pero con igual contenido de carbono (C = 0,20%) y que, al mismo tiempo tienen idéntica templabilidad de núcleo.

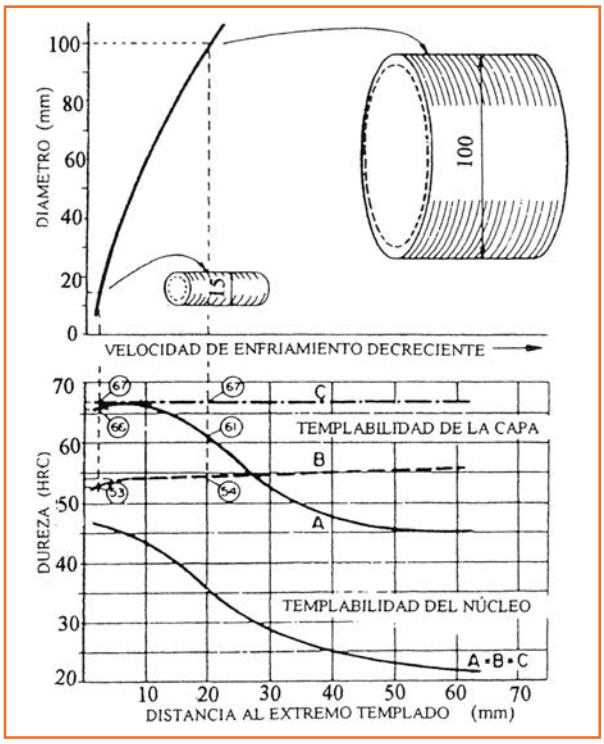


Figura 5.4. Comparación de la templabilidad de capa cementada de tres aceros (**A**; **B**; **C**) con elementos de aleación distintos y el mismo carbono (C = 0,20%), en los que se obtiene la misma templabilidad de núcleo (H.U.Meyer).

El acero **A**, con carbono de 1,00% (C = 1,00%) en la superficie cementada, muestra una elevada dureza en los primeros 10 mm. de la distancia del extremo templado, después la dureza decrece. El acero **B** no alcanza los niveles, normalmente, exigidos de dureza superficial, a pesar de que se ha templado con una alta velocidad de enfriamiento. El acero **C** presenta una dureza elevada, no importando muy mucho la velocidad de temple; la explicación de ello está en que este último acero tiene elevada templabilidad de capa.

En la parte superior de la **figura 5.4** se muestra, en la práctica, el significado de una adecuada templabilidad de la capa cementada. Mientras que los aceros **A** y **C**, en el caso de un redondo de 15 mm., la dureza de capa cementada es correcta; sin embargo, para redondos superiores de 15 mm. –*hasta* 100 mm– sólo el acero **C** es el apropiado.

Queda demostrado, pues, que el método y empleo del ensayo de templabilidad Jominy, para determinar la templabilidad de la capa cementada, es el más adecuado. La dureza medida sobre una serie de planos rectificados longitudinalmente, sobre la probeta a distintas profundidades; es decir, sobre generatrices donde el nivel de carbono (%**C**), conocido previo análisis, va decreciendo en orden progresivo desde la superficie hacia el núcleo. Esto nos dará una serie de curvas de templabilidad, correspondientes a los diferentes contenidos de carbono y a los distintos niveles de la profundidad de capa.

Para determinar el contenido de carbono (%**C**) de la capa cementada, a distintas profundidades de la misma, se utilizan dos probetas Jominy de formato normal del mismo acero y colada; probetas que se cementan para obtener el correspondiente nivel de carbono en la capa.

Una de las probetas, después de cementada, se templa en aceite y posteriormente se reviene en un baño de plomo a una temperatura aproximada de 650 °C y durante 10 a 15 minutos, ya que hay que ablandarla para la extracción de viruta, por torneado, de la superficie cementada. El torneado se realiza cuidadosamente por capas superficiales de distinto y muy reducido espesor. A la viruta extraída de cada una de las capas mecanizadas se le analiza por separado el carbono, y con los resultados y valores (%) de cada uno ellos –*1,10%***C***; 1,00%***C***; 0,90%***C***; 0,80%***C***…*, etc.– se traza la curva del gradiente del contenido de carbono (%**C**); **figura 5.5**.

A la segunda probeta se le somete a la prueba normal de templabilidad Jominy. Conocido ya el gradiente de carbono superficial en esta segunda probeta y efectuado el ensayo previo de templabilidad Jominy, se procede, entonces, a efectuar su rectificado sobre varias generatrices a distintas profundidades diametrales: correspondiendo a cada profundidad el nivel de carbono previamente analizado [1,10%; 1,00%; 0,90%; 0,80% **C**…, etc.]. Luego se toma la dureza a lo largo de cada una de las generatrices rectificadas, y con todos esos valores se trazan las curvas de dureza Jominy de la capa cementada y templada del acero estudiado; **figura 5.6**.

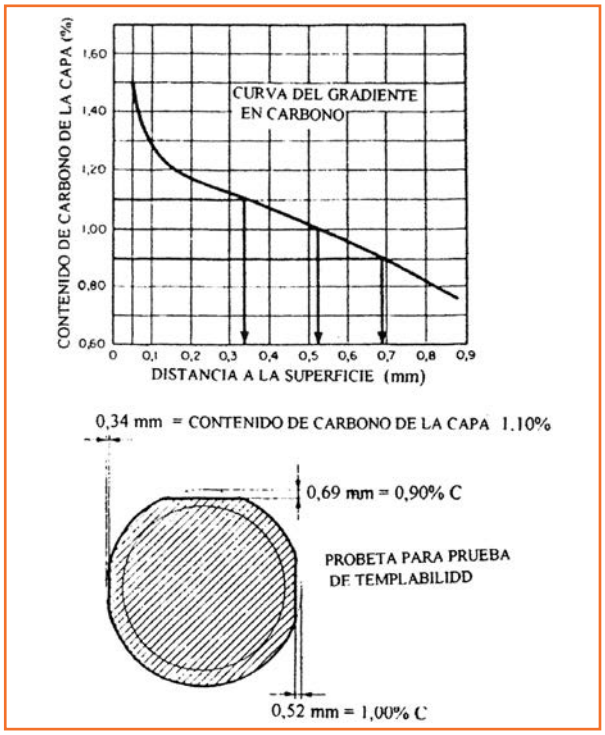


Figura 5.5. Determinación de la templabilidad de capa cementada para distintos contenidos de carbono y a distintos niveles del estrato cementado.

Cálculos teóricos de templabilidad de la capa cementada, con la ayuda de los factores de **Grossman** en los aceros hipoeutectoides y los factores de **Jatzak** & **Girardi** en los aceros hipereutectoides, que caracterizan y com-

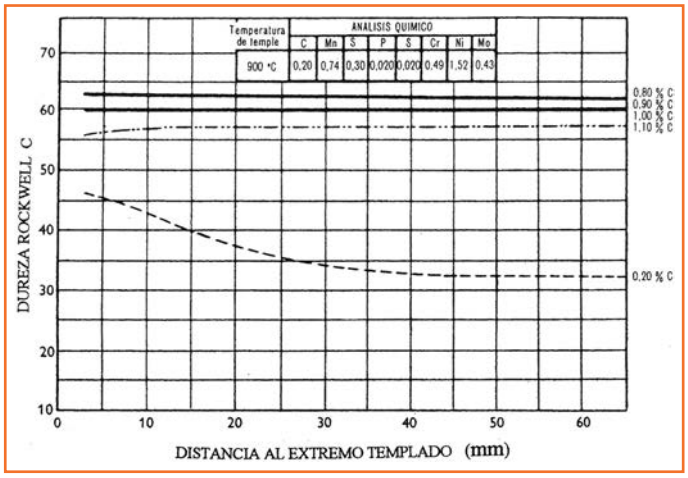


Figura 5.6. Curvas de templabilidad de la capa cementada de una acero **20NiCrMo2** (F-1522) templado a 900 °C. Observamos que la mayor dureza se obtiene con un contenido de carbono de la capa = 0,80%.

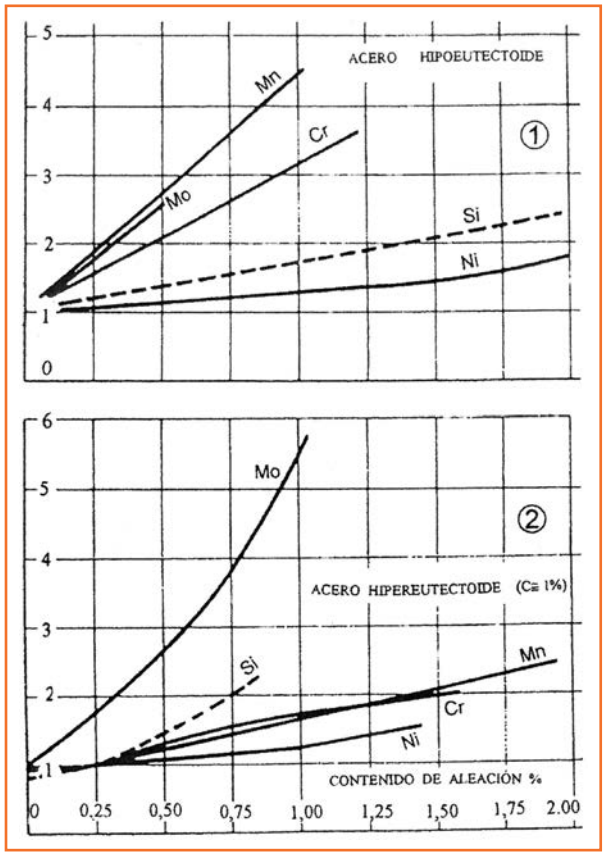


Figura 5.7. Factores de multiplicación para el cálculo de la templabilidad (ordenadas), según los contenidos de aleación (abscisas): (1) aceros hipoeutectoides; (2) aceros hipereutectoides.

plementan el efecto de los elementos aleados, –**figura 5.7**– han demostrado su buena concordancia con los resultados prácticos. Cálculos teóricos que hacen más fácil, todavía, la predicción y comparación de resultados. La observación de los gráficos muestra, claramente, que la beneficiosa influencia del manganeso (**Mn**) y del cromo (**Cr**) sobre la templabilidad de los aceros hipoeutectoides, no aparece en los aceros hipereutectoides. La contribución de molibdeno (**Mo**) es siempre muy elevada en los ambos casos, mientras que la del níquel (**Ni**) queda prácticamente invariable.

Resumiendo: la templabilidad de la capa cementada aumenta con su contenido en carbono; aunque, en la práctica, se tiende mayormente a conseguir una óptima concentración de carbono disuelto en la austenita. Hecho a tener muy en cuenta, ya que cuando se sobrepasa tal concertación, aparecen entonces a distintas profundidades de capa indeseables carburos insolubles en cantidad, tanto mayor cuanto menor es la temperatura de temple. Esto hace que disminuya el contenido de elementos de aleación en la matriz martensítica y, como consecuencia de ello, disminuya la templabilidad. Por otro lado, la tendencia a formar austenita retenida aumenta sustancialmente con concentraciones de carbono elevadas y siendo asimismo, la austenita retenida un constituyente blando, hay otra razón fundamental para pretender conseguir contenidos de carbono óptimos en la superficie cementada: **C** = [0,80 ÷ 0,95%].

En la actualidad se dispone de procedimientos de cementación que garantizan una regulación exacta del potencial de carbono; circunstancia ésta que siempre se ha de tener en cuenta a la hora de elegir y utilizar un determinado acero. Aunque en la práctica, es preferible aprovechar los conocimientos adquiridos y utilizar el acero de composición más adecuada, para que su comportamiento, tanto en el ciclo completo de cementación y temple, como después en su rendimiento mecánico del material cementado sea igualmente el más favorable.

5.1.2. *Tamaño de grano*

Una de las características de calidad que, con mayor frecuencia, se exige a los aceros de cementación es su tamaño de grano. Es, por tanto, fundamental tener un control del tamaño de grano, dada su tendencia al engrosamiento con la temperatura y el tiempo de cementación; circunstancia ésta que repercute de una forma decisiva sobre las propiedades y características mecánicas del material en servicio. Normalmente todos los aceros de cementación son de grano controlado: tamaño de grano [**6** ÷ **8**] **ASTM.**

Conviene señalar que nos referimos casi siempre a un tamaño de grano potencial, el tamaño de grano austenítico; es decir, al tamaño grano de austenita que puede alcanzar el acero con un tratamiento térmico determinado y siempre efectuado por encima de la temperatura crítica de transformación (**Ac_3**).

El tamaño de grano depende de la temperatura y tiempo de calentamiento y asimismo, de la distribución y cantidad de los elementos que, voluntariamente, se adicionan al acero en su proceso de fabricación, con el único fin de obstaculizar e impedir el crecimiento de grano: aluminio (**Al**), titanio (**Ti**), vanadio (**V**) y otros. La ley de crecimiento de grano, definida por la curva que determina el tamaño de grano alcanzado para cada temperatura de calentamiento, es distinta y está influenciada por muchos factores, siendo éstos la causa fundamental para que el grano crezca a muy diferentes temperaturas; **figura 5.8.**

- ***Aceros de grano grueso***. El crecimiento del grano comienza a una temperatura aproximada de **Ac_3 + 50 °C**; el crecimiento es continuo y constante cuando se rebasa la temperatura crítica de sobrecalentamiento.

- ***Aceros de grano fino***. El crecimiento del grano comienza a una temperatura aproximada de **Ac_3 + 130 °C**; el crecimiento es más lento, pero cuando se ha rebasado la temperatura critica de sobrecalentamiento es muy rápido.

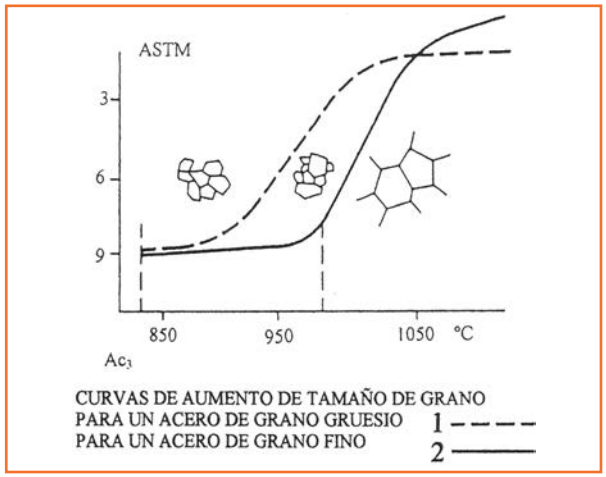


Figura 5.8. Curvas de aumento de grano con la temperatura: (1) aceros de grano no controlado; (2) aceros de grano controlado (grano fino).

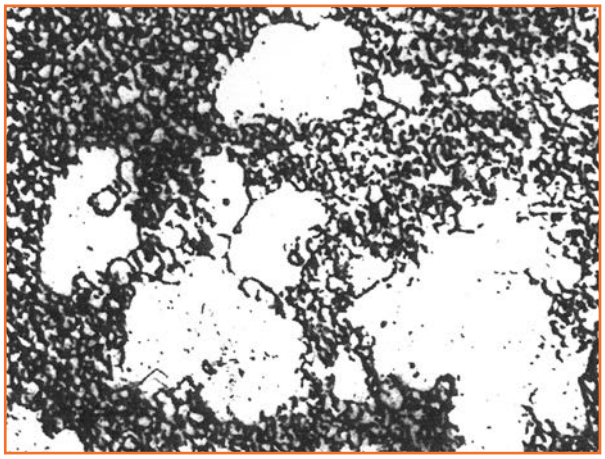


Figura 5.9. Grano dúplex como consecuencia, posiblemente, a un mal control de la temperatura de forja; y/o también a la dificultad de regulación de la velocidad de enfriamiento posterior a la misma. Acero **20NiCrMo3**.

Es bien conocido que una estructura de grano fino tiene mejor tenacidad y resistencia a la fatiga que una estructura de grano grueso. Los aceros de grano fino tienden a deformarse menos cuando se les someten a enérgicos ciclos de tratamiento térmico, frente a los aceros de grano grueso; aunque los aceros de grano grueso tienen, como sabemos, mayor templabilidad y se mecanizan mejor que los aceros de grano fino.

El establecer unas especificaciones de tamaño de grano fino en los aceros de cementación no es siempre fácil de conseguir, si tenemos en cuenta las actuales exigencias metalúrgicas y, a veces, económicas de producción que exigen ciclos térmicos a más altas temperaturas; y, al mismo tiempo, tener la absoluta necesidad de aplicar temple directo desde la propia temperatura de cementación.

Por otra parte, en los trabajos de forja y estampación del material *–práctica muy usual en puesta en forma de piezas para la industria del automóvil–* se pueden producir fenómenos de crecimiento de grano, como consecuencia de un control poco riguroso de los tiempos y temperaturas de forja; particularmente en la última etapa del proceso de puesta en forma de las piezas, donde la temperatura tiene que ser ligeramente superior a la mínima establecida.

Otro factor a considerar, es la velocidad de enfriamiento del material después de las operaciones de forja o estampación en caliente. Con frecuencia el crecimiento del tamaño de grano no se produce de una manera uniforme, sino que ocurre a una temperatura determinada casi siempre próxima a la de sobrecalentamiento; el mecanismo de crecimiento comienza en unos cuantos granos que lo hacen desproporcionadamente a expensas de otros vecinos, formándose entonces, el denominado **grano dúplex**; **figura 5.9.**

El crecimiento anormal del tamaño de grano es un fenómeno de germinación y coalescencia, semejante al que ocurre en la recristalización de aquellos metales que, previamente, han sufrido deformación; apareciendo, por igual, granos finos y granos gruesos desordenadamente mezclados, que tienen su origen en un exceso de temperatura.

5.1.3. *Propiedades mecánicas*

En los aceros de cementación, las propiedades mecánicas tienen un carácter singular, puesto que únicamente, se les exige una resistencia mecánica y una tenacidad de núcleo apropiada para que las piezas cementadas puedan soportar, sin deformarse ni romperse, los esfuerzos mecánicos y/o las solicitaciones a que están expuestas en servicio. El tratamiento térmico que sufre el núcleo en la práctica, *–que no se puede separar del de la capa cementada–* es un simple temple con enfriamiento en aceite, seguido de un revenido que se realiza a muy baja temperatura, únicamente para eliminar las tensiones de temple.

El revenido de las piezas ya cementadas y templadas, se efectúa a una temperatura comprendida entre 150 y 180 °C y solo afecta a la capa cementada, eliminándole las potenciales tensiones de temple. Por tanto, no ha lugar hablar de diagramas de revenido, salvo en raras ocasiones cuando algunos de estos aceros *–los de más alta aleación–* se utilizan como tales aceros de temple y revenido: **bonificándolos.**

En la **figura 5.10** se muestran resultados orientativos sobre la variación de las propiedades mecánicas *–núcleo–* del acero **20NiCrMo6**. Resultados que se han obtenido mediante probetas de distintas secciones, con un tratamiento térmico común de temple a 850 °C y revenido a 180 °C. Igualmente se pueden observar esas diferencias, que son muy normales en el núcleo de aquellas

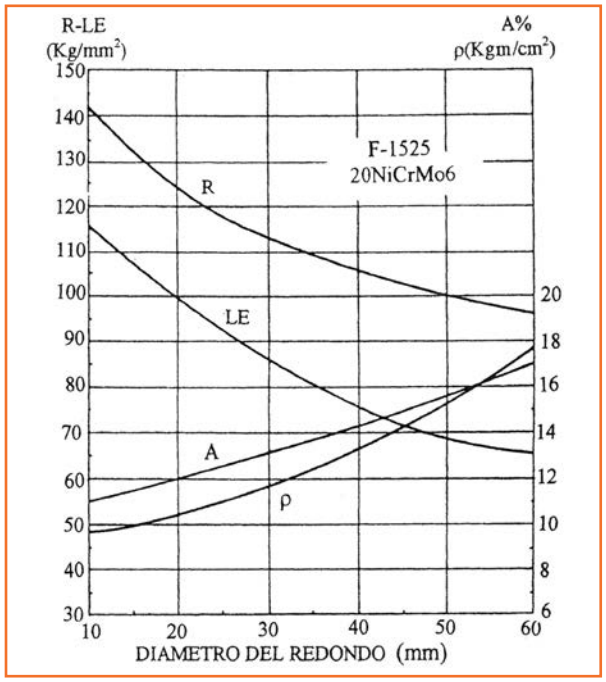


Figura 5.10. Variación de las características mecánicas del acero **20NiCrMo6** en función del diámetro o espesor del material, y después de un temple a 850 °C + revenido a 180 °C durante 2 horas.

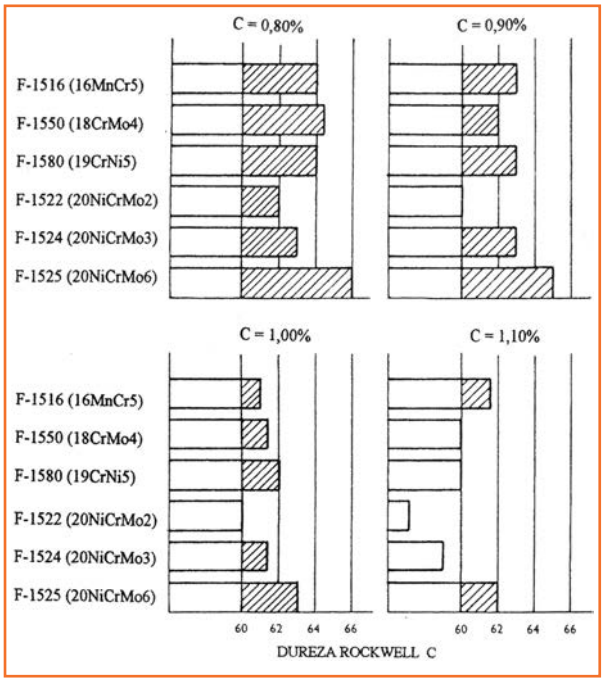


Figura 5.11. Valores máximos de dureza superficial para distintos contenidos de carbono en la capa cementada de un grupo importante de aceros: aceros más utilizados.

piezas con una marcada divergencia de sección. Apreciamos, pues, una muy significativa disminución de la resistencia mecánica al aumentar el diámetro o sección del material; es el caso de geometría intrincada y muy frecuente también, en piezas estampadas o forjadas donde abundan las diferencias de sección o espesor.

La característica mecánica fundamental, que se le exige al núcleo de una pieza cementada y templada, es su límite elástico, debido única y exclusivamente, a la no admisión de deformaciones plásticas de las piezas en servicio. A pesar de ello, se toma como característica más importante y básica la resistencia a la rotura, ya que la zona de núcleo "tocando" a la capa cementada es, fundamentalmente, la que más influye en el comportamiento mecánico del material.

Al ser en esa zona inmediatamente adyacente núcleo-capa, donde hay que esperar mayores solicitaciones durante el trabajo mecánico de las piezas en servicio; necesitamos, pues, que las piezas cementadas tengan después del temple, un núcleo con el mayor porcentaje de martensítica dúctil posible, para que se pueda cumplir ampliamente con todos esos requisitos.

La alta dureza superficial exigida, necesaria para obtener una buena resistencia al desgaste, se consigue con relativa facilidad cuando el proceso de cementación, temple y revenido es correcto; para ello hay que tener muy en cuenta el potencial de carbono que debe mantenerse en los valores adecuados, durante todo el ciclo de cementación del material en tratamiento.

En la **figura 5.11**, se reúnen los valores máximos de dureza superficial alcanzados para diferentes contenidos de carbono, en la capa cementada y templada, de 6 de los principales aceros de las **tablas 5.I** y **5.II**. Para contenidos de carbono de 0,80% (**C** = 0,80%), en todos los aceros se alcanzan **62** HRC, pero la dureza disminuye fuertemente para contenidos más altos de carbono (**C** ≥ 1%). Tales valores son muy significativos, ya que pueden indicarnos –*en una composición determinada del acero base* y *para un contenido de carbono dado de la capa cementada* y *templada*– la influencia que puede tener la formación y presencia de austenita retenida y el efecto de los carburos en esa capa endurecida.

En la **figura 5.12** se muestran las microestructuras de capa superficial templada, de tres aceros de cementación de uso normal. Las mejor estructura de capa endurecida –*martensita fina*– se obtiene en los tres aceros, con contenidos de carbono en la capa de 0,80 por 100 [**C** = (0,80 ¸ 0,90%)]; estructura ésta que contiene carburos finamente distribuidos; estructura que, asimismo, se corresponde con los máximos valores de dureza; ver **figura 5.11.**

Resumiendo: el acero de cementación más óptimo será aquél que reúna las siguientes condiciones metalúrgicas:

1. Tener un carbono apropiado en su composición base, que contraste con la capa cementada, además de una buena maquinabilidad.

2. Después de cementado, mediante un proceso apro-

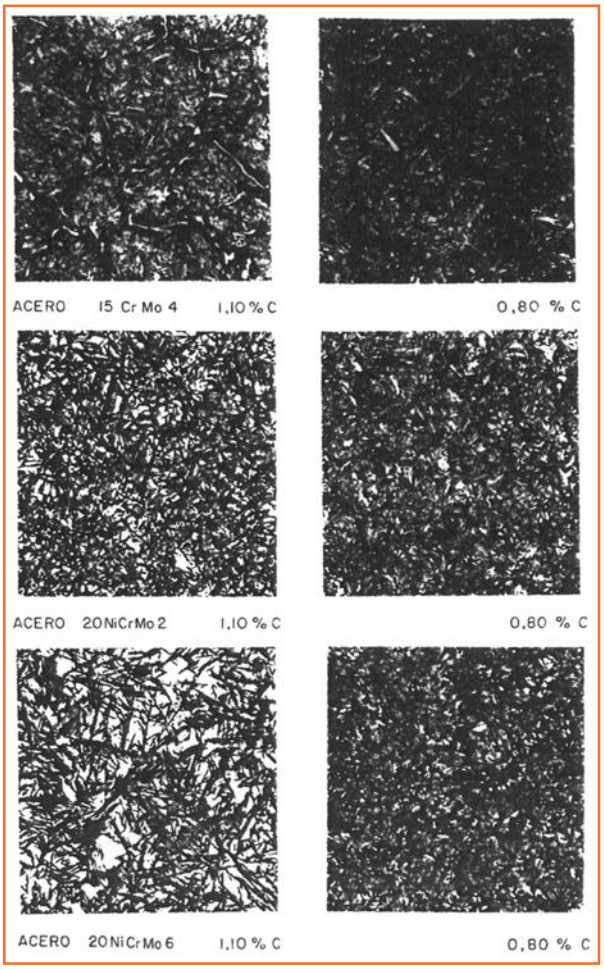


Figura 5.12. Estructuras de temple de capa cementada [C = 1,10 y 0,80%] de tres aceros muy representativos del conjunto perteneciente a la figura **5.11**.

piado le proporcione una cantidad de carbono en la superficie, que esté comprendida entre 0,80 y 1 por 100 [**C**= (0,80 ÷ 1,00%)]; y, en el temple directo con posterior revenido a baja temperatura [*Tª ≤ 18 °C], sea capaz de cumplir los siguientes condiciones:

- Variación progresiva y gradual del contenido de carbono de la capa cementada conforme aumenta su profundidad.
- Grano fino de la capa cementada y del núcleo.
- Estructura martensítica en todo el espesor de la capa cementada.
- Capa cementada exenta de redes de carburos –*cementita reticular*– que presente en todo su espesor una distribución uniforme de carburos finos, duros y resistentes al desgaste.
- Profundidad de capa con el mínimo contenido de austenita retenida.
- Resistencia de núcleo solicitada.

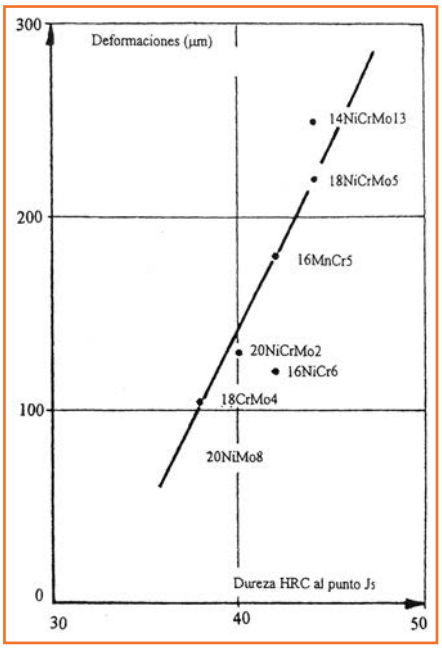
5.1.4. *Deformaciones y distorsiones*

En el tratamiento termoquímico de cementación, las deformaciones de las piezas son debidas a variaciones dimensionales inevitables, condicionadas: (1) por la naturaleza propia del acero; (2) por las transformaciones estructurales habidas a lo largo del ciclo completo de tratamiento: cementación + temple; (3) por las tensiones creadas, mejor o peor distribuidas, durante el enfriamiento de temple; y (4) por las distorsiones, es decir, variaciones de forma que la mayoría de las veces aparecen como consecuencia de un tratamiento de temple mal realizado –*tratamiento incorrecto*–; **p.ej.**: calentamientos rápidos, escasas precauciones tomadas durante todo el ciclo térmico, colocación no adecuada de las piezas en el horno, enfriamientos muy enérgicos y violentos, etc.

Se ha comprobado con cierta reiteración, que cuando la templabilidad del acero aumenta, mayores son también las deformaciones habidas. Tomamos como ejemplo el acero **18CrMo4** donde las distorsiones de las piezas, una vez templadas, han sido menores casi en un 50%, frente a las piezas que han sido fabricadas con acero **18NiCrMo7-6** de mayor templabilidad; **figura 5.13**. Es bien conocido, igualmente, que templando el material en un medio de enfriamiento más suave –*menor severidad de temple*–, se pueden disminuir las deformaciones.

Para confirmar todo lo anterior expuesto, se han realizado multitud de estudios sobre la influencia de los factores que tienen una relación más directa con las deforma-

Figura 5.13. Deformaciones, según la templabilidad del acero, después de cementación + temple en aceite a 20 °C.



* Tª = temperatura.

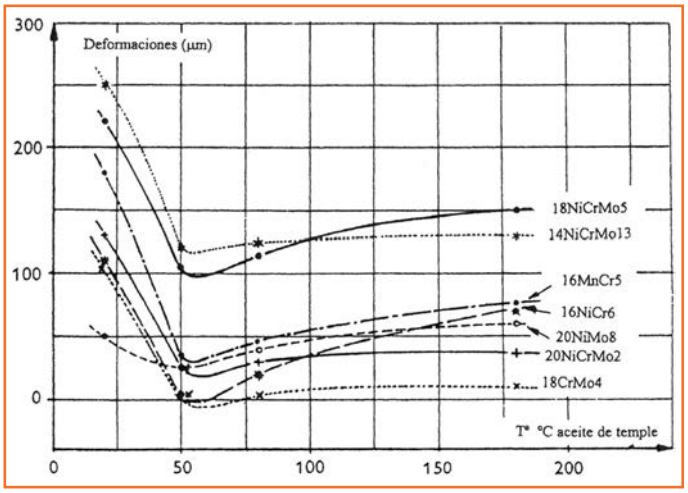


Figura 5.14. Deformaciones de temple, según la temperatura del baño de enfriamiento: baño de aceite.

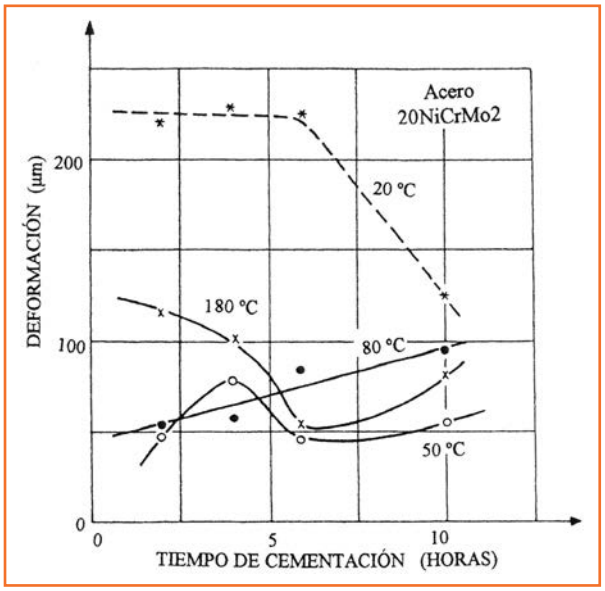


Figura 5.15. Deformaciones durante el tratamiento térmico, según el tiempo de cementación y de la temperatura del aceite de temple. Acero **20NiCrMo2**.

ciones, es decir: (1) severidad de temple del medio de enfriamiento, normalmente aceite, a distintas temperaturas; (2) el tamaño de grano austenítico; (3) ciclo térmico de tratamiento; (4) estructura en bandas del material de partida; (5) profundidad de cementación, etc.

En la **figura 5.14**, se representan las deformaciones de temple habidas, en función de la temperatura del medio refrigerante: **aceite**. Se puede observar que son mínimas las deformaciones cuando se templa la pieza en aceite y éste se mantiene constante en un intervalo de temperatura comprendido entre 50 y 80 °C. Una correlación más racional, respecto a las temperaturas del baño de aceite se pueden alcanzar tomando, como criterio de templabilidad, la del acero en la que interviene ya el efecto de masa de la pieza en tratamiento.

El ciclo de tratamiento –*cementación + temple + revenido*–, es otro de los factores que hay que considerar. En la **figura 5.15**, eligiendo como variables el tiempo de cementación, se pueden observar las deformaciones habidas de temple, según las diversas temperaturas del baño de enfriamiento.

Es muy interesante señalar que las deformaciones disminuyen al aumentar el tiempo de cementación, y realizando el posterior enfriamiento de temple en el baño de aceite a una temperatura aproximada de 20 °C; variación ésta no monótona, que aumenta o disminuye cuando se templa en aceite, dentro de una banda de temperaturas comprendida entre 50 y 180 °C, observándose la mínima variación que cuando se templa en baño de aceite a 80 °C de temperatura.

En el temple con enfriamiento baño caliente –*temple isotérmico*– a temperaturas comprendidas entre 160 y 180 °C, es posible que se consigan las menores deformaciones, pero no siempre se obtienen idénticos resultados, dependiendo éstos muy mucho de la calidad o clase de acero. Es un hecho comprobado que en el martempering, los valores de tales distorsiones son bastantes variables e imprecisos de unos aceros a otros. En cambio dichos valores son mucho más coincidentes cuando el enfriamiento de temple se efectúa en aceite a temperatura entre 50 y 80 °C.

Resumiendo: queda claro, pues, que las deformaciones y distorsiones en las piezas cementadas y templadas dependen de varios parámetros que se relacionan, en gran parte, con la naturaleza del acero. Unos son de mayor importancia: templabilidad, tamaño de grano, estructura original del acero de partida; otros son menos importantes, más secundarios: contenido de carbono del acero, profundidad de capa cementada, colocación inadecuada de las piezas en el horno, etc.

Pero está ampliamente demostrado, y aquí lo resaltamos, que el parámetro fundamental de todo el conjunto, es la temperatura del aceite de temple. El baño de aceite, donde se templan las piezas previamente cementadas, ha de mantenerse dentro de un intervalo de temperaturas comprendido entre 50 y 80 °C; principio éste que podemos considerarlo como criterio metalúrgico esencial y muy conveniente para la consecución de un mínimo de deformaciones, que potencialmente se pueden ocasionar durante el temple que sigue a la cementación de las piezas en cuestión.

5.2. Tratamientos térmicos que se aplican a los aceros de cementación

Los tratamientos térmicos que, habitualmente, se aplican a los aceros de cementación –*barras laminadas, pro-*

SU MEJOR COMUNICACIÓN

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL

PEDECA *Press* Publicaciones

SOMOS SU MEDIO

C/ Goya, 20. 1º. • 28001 MADRID • Telf.: 91 781 77 76 • pedeca@pedeca.es • www.pedeca.es

ductos forjados y *estampados*, etc– son: el **normalizado** y el **recocido.** La **cementación** propiamente dicha: [*cementación* + *temple* + *revenido*] se aplica fundamentalmente a piezas ya mecanizadas, a cotas más o menos precisas de acabado. El **normalizado** y el **recocido** del material acero, son del todo fundamentales para homogeneizar y afinar la estructura original de forja o de laminación sufrida; al mismo tiempo que eliminamos todas heterogeneidades estructurales habidas en el material de partida y se consigue también, que el producto forjado o laminado sea de más fácil maquinado.

Hay distintas formas de recocido que pueden sufrir las piezas y materiales laminados o forjados, antes de ser mecanizados finalmente a las cotas establecidas. En un buen número de ocasiones la estructura más o menos homogénea ocasionada con tales tratamientos, –*normalizado* y/o *recocido*– se identifica asimismo, como aquélla que produce las menos distorsiones y deformaciones durante el tratamiento térmico final de las piezas ya mecanizadas: cementación + temple + revenido.

En el apartado dedicado a la cementación propiamente dicha, nos referiremos únicamente a la **cementación gaseosa** como procedimiento rápido, preciso y económico; aplicable sobre todo, a la producción de grandes series de miles de piezas. El ejemplo más reiterado y representativo lo tenemos en las industrias de automoción, –*ligera* y/o *pesada*– e industrias auxiliares y de componentes del automóvil. Industrias donde se han implantado instalaciones que procesan grandes series de miles de piezas en hornos de avanzada tecnología –**p.ej.**: *hornos de vacío para la cementación a baja presión*–, además de los clásicos hornos automáticos de cementación gaseosa continuos y semicontinuos, igualmente bien equipados. Los tratamientos más usuales son los que describimos a continuación, esquematizados en la **figura 5.16.**

5.2.1. *Normalizado*

Calentamiento del material a una temperatura de austenización próxima a los 880 °C, después hay un tiempo de permanencia a esa temperatura, comprendido entre media hora y una hora, según sea la sección y masa del material o piezas a normalizar; cumplido el tiempo se saca el material –*barra laminada*, *producto forjado* o *pieza estampada*– del horno y se enfrían en aire ambiente. El material normalizado alcanza, en la práctica, una dureza relativamente baja; no por ello la maquinabilidad que presenta es a veces la óptima.

Figura 5.16. Esquema de los principales tratamientos previos a la cementación. Ciclos de recocidos y normalizados habituales en los aceros de cementación.

5.2.2. *Recocido subcrítico*

Calentamiento del material a una temperatura aproximada de 670 °C, temperatura por debajo de la del punto crítico $\mathbf{A_1}$ y un periodo de tiempo mínimo de permanencia, a tal temperatura, de una hora. A continuación se enfría el material dentro del horno, hasta una temperatura de 500 °C y, por último, se saca enfriándolo al aire en calma. Con un normalizado seguido de un recocido subcrítico se alcanza, en el material así tratado, una dureza aceptable y una mayor maquinabilidad.

5.2.3. *Recocido de regeneración o recocido total*

Calentamiento del material a una temperatura próxima a los 870 °C, hay un tiempo mínimo de permanencia a temperatura de tratamiento, de hora a hora y media, según la sección y masa del material a recocer; seguidamente éste se enfría con un régimen de enfriamiento de 60 °C/hora, manteniéndose dentro del horno hasta llegar a 500 °C y a continuación se extrae y se enfría al aire en calma. Con este tratamiento, el acero baja muy significativamente su dureza; pero tiene, normalmente, el inconveniente de provocar una estructura bandeada –*como consecuencia de un enfriamiento lento a través de los puntos críticos de transformación*–. Estructura ésta que no es deseable ni aconsejable en los aceros de cementación, debido a los múltiples problemas que ocasiona en los materiales: tanto en su mecanizado y transformación en piezas, como en el posterior tratamiento térmico de **cementación + temple.**

5.2.4. *Recocido isotérmico*. Recocido de maquinabilidad

Calentamiento a una temperatura de austenización próxima a 900 °C y un tiempo de permanencia aproximado, a dicha temperatura, de una hora a hora y media, según la sección y masa del material a recocer; a continuación se efectúa un enfriamiento relativamente rápido –*setenta segundos por cada centímetro de espesor*: **70 s/cm**– hasta a una temperatura comprendida entre 650 y 680 °C. Hay después un tiempo de mantenimiento e incubación a esa temperatura que permite después la transformación isotérmica de la austenita en perlita, el tiempo y la temperatura dependen diagrama **TTT** del acero correspondiente; **figura 5.17**. Una vez completado el ciclo isotérmico de reacción perlítica, las

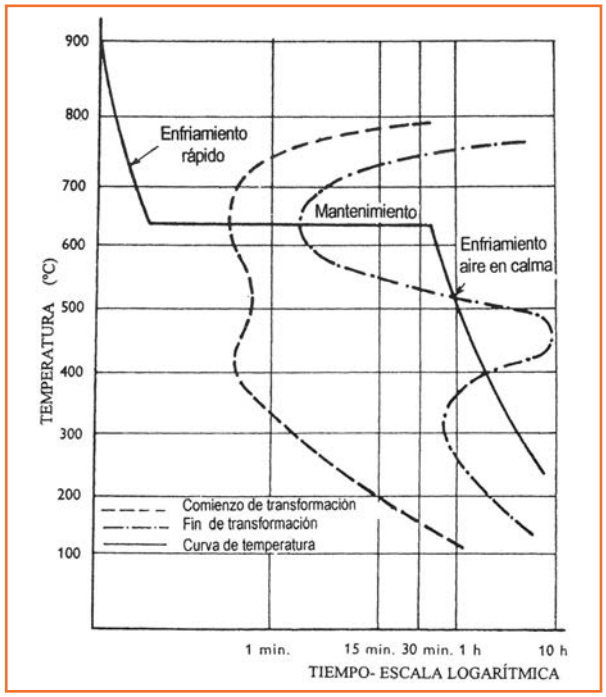


Figura 5.17. Representación esquemática del recocido isotérmico. Recocido de maquinabilidad.

piezas se pueden sacar del horno y enfriarse a continuación al aire en calma.

En la fabricación de piezas en general, donde las fases de mecanizado son muy diversas –*brochado*, *taladrado*, *torneado*, *tallado*, *afeitado*, etc.– y en las que la herramienta de corte trabaja de forma muy distinta, el concepto de mecanizado se estima para todo el conjunto de operaciones, siendo por ello preciso elegir las estructura más apta y que abarque a la mayoría de las operaciones del conjunto, o al menos a aquellas más críticas.

Es un hecho constatado que la estructura más idónea para el mecanizado de los aceros de cementación es la estructura ¨blanca-negra¨ de ferrita-perlita, conseguida por la transformación isotérmica de la austenita; **figura 5.18**. Con el recocido isotérmico se obtiene, en el acero, una estructura de ferrita-perlita no bandeada, al mismo tiempo que una correcta dureza y una buena maquinabilidad, con la ventaja añadida de que se minimizan las posibles y eventuales distorsiones que se pueden ocasionar durante el tratamiento térmico –*cementación* + *temple*– de las piezas en proceso.

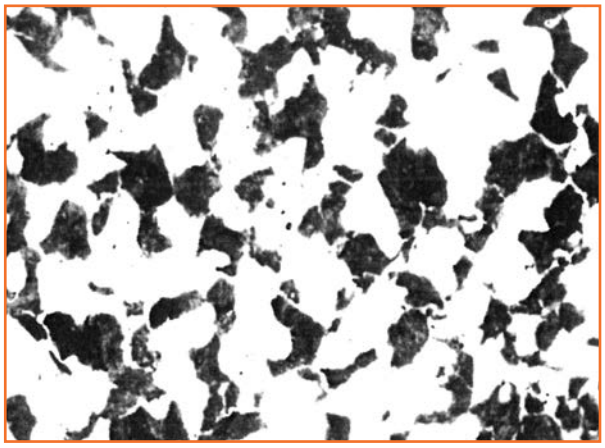


Figura 5.18. Tipo de microestructura obtenida en el recocido isotérmico: estructura ferrita-perlita = estructura ¨blanca y negra¨ no bandeada.

Naturalmente que esas optimas propiedades se obtienen cuando el recocido isotérmico se ha realizado correctamente. Hecho que se puede constatar, fácilmente, si se examina al microscopio –*primero con* 100 y *después con* 1.000 *aumentos*– la estructura del material recocido; la perlita presente tiene que ser en este caso de forma laminar sin que aparezcan otros constituyentes; **p.ej.**: de tipo sorbítico. Se puede decir que el recocido isotérmico es correcto, cuando observada la estructura a 1.000 aumentos, los espacios interlaminares de la perlita están bien definidos; **figura 5.19.**

5.2.5. *Cementación*

La cementación gaseosa es la forma más desarrollada y reconocida para la aplicación de tal tratamiento en las

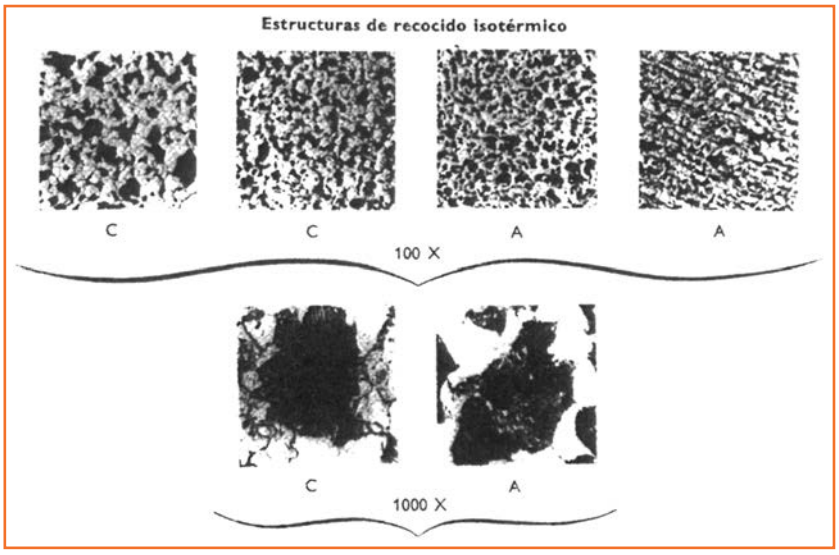


Figura 5.19. Microestructuras donde se trata de reflejar los criterios de aceptación de las fracción ferrita-perlita = estructura ¨blanca y negra¨, obtenida mediante recocido isotérmico.

piezas de acero, ya que permite un control de las condiciones de carburación mucho más perfecto que cualquiera de las otras formas de cementación –*cementación sólida* y *cementación en sales*–. La actividad del carbono en el gas cementante se puede mantener constante en un valor deseado, de forma fácil y segura, mediante el simple ajuste automático de la mezcla cementante.

Esa actividad termodinámica es la que determina el contenido máximo de carbono que podemos disolver en la austenita durante el proceso de cementación. Su ajuste y mantenimiento constante, mientras éste dure, evitará la formación de austenita con carbono en exceso.

La profundidad de la capa cementada debe ser la suficiente para resistir las máximas solicitaciones y esfuerzos mecánicos a los que, normalmente, están sometidas las piezas en servicio.

En las ruedas dentadas y engranajes en general **p.ej.**: el espesor de capa cementada va en función del módulo del diente* –*a mayor módulo mayor espesor de capa* y *a módulo menor profundidad de capa menor*–. En la práctica industrial, el espesor de capa cementada puede variar, como ya antes se ha indicado, desde algunas décimas a 2,00 mm., y es función de la temperatura y de la duración o tiempo de cementación.

En las actuales circunstancias y para la producción de grandes series de piezas fabricadas con aceros de grano fino controlado, el proceso de tratamiento térmico más normal es el de **cementación gaseosa + temple directo** con enfriamiento, en aceite o gas a presión, desde la temperatura de cementación. La práctica más comúnmente generalizada de cementación, propiamente dicha, considera la operación en dos fases; **figura 5.20**: (1) una primera fase de carburación [Tª = (900 ÷ 950 °C)] con determinados caudales de gas portador y gas activo; (2) una segunda fase de difusión y ajuste de carbono en la capa, y posterior temple directo a más baja temperatura [Tª = (860 ÷ 840 °C)]. Se utiliza durante esta última fase, únicamente el gas portador o de relleno, para conseguir una mejor distribución y difusión del carbono en la capa cementada y asegurar, también, una muy buena zona de transición capa-núcleo.

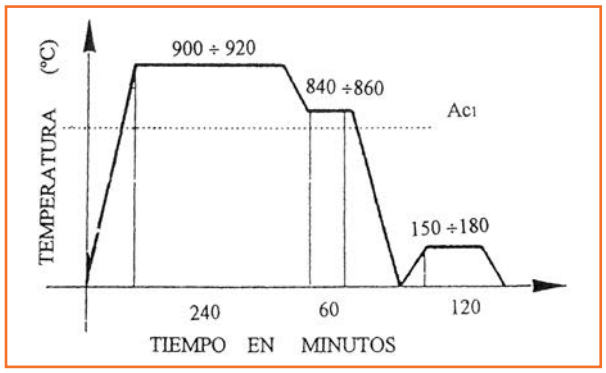


Figura 5.20. Esquema característico de los ciclos industriales de cementación gaseosa en hornos continuos y/o discontinuos.

* Módulo de diente = relación entre el diámetro primitivo y el número de dientes del engranaje o piñón correspondiente: m = d/z; m = módulo; d = diámetro primitivo; z = número de dientes.

5.2.6. *Temple*

Es importante tener en cuenta que el temple directo, considerado como parte del tratamiento completo de cementación gaseosa en horno continuo, es el método más empleado y generalizado en la actual producción de grandes series de piezas en la industria del automóvil; circunstancia que se aplica no solo en virtud de un concepto óptimo de economía, sino también de calidad y de uniformidad. En algunas especificaciones se insiste en templar directamente desde la temperatura de cementación [Tª = (900 ÷ 930 °C)]; y en otras particularmente, se prefiere bajar aproximadamente 50 °C la temperatura del horno [Tª = (850 ÷ 880 °C)] una vez finalizado el ciclo de cementación.

La bajada de la temperatura de temple es debido al hecho antes indicado, de producir una mejor difusión del carbono en la capa cementada y al mismo tiempo, reducir al máximo la presencia de austenita retenida así como la posibilidad de eventuales deformaciones durante el temple; **figura 5.21.**

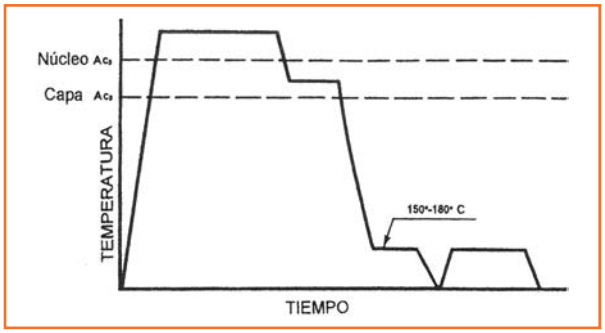


Figura 5.21. Ciclo de cementación con temple directo y enfriamiento isotérmico en baño caliente –*temple martensítico que se realiza, normalmente, en aceite o en sales*– a temperatura comprendida entre 150 y 180 °C.

Es interesante destacar que, cuanto menor sea el número de calentamientos y el de enfriamientos a los que se sometan las piezas durante los tratamientos de cementación + temple, menor será la posibilidad de deformación y distorsiones de las mismas. Por ello resulta muy aconsejable, bajo este aspecto, el empleo del temple único directo desde una temperatura un poco más baja que la de cementación, tratamiento éste ampliamente difundido.

Como consecuencia de una larga permanencia de las piezas a elevada temperatura, todo el tiempo que dura la carburación, el temple directo de las mismas constituye en muchas ocasiones un factor crítico y a veces peligroso, para gran parte de los aceros de cementación aleados –*sobre todo en aceros de alto níquel* [**Ni** ≥ 1,80%] y *de alto cromo* [**Cr** ≥ 1,00%]–; particularmente, cuando la capa cementada presenta muy superficialmente, una alta concentración de carbono disuelto en la austenita. Circunstancia que origina, en la mayoría de los casos, un endurecimiento irregular por temple de la capa cementada, al producirse inevitablemente en ella, un exceso de austenita retenida; **figura 5.22.**

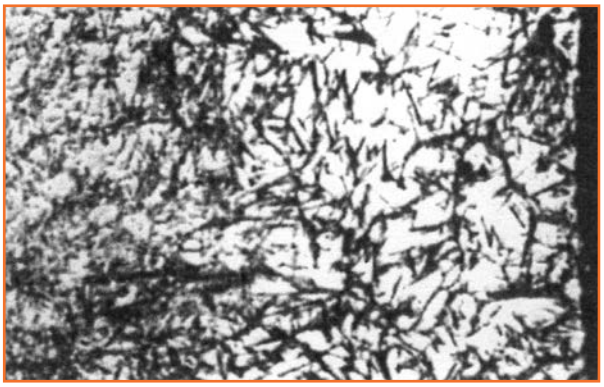


Figura 5.22. Exceso de austenita retenida en la masa matricial martensítica de una capa cementada y templada. **Acero 16CrMn5**.

Con todos estos argumentos se puede llegar a la convicción de que no todos los aceros aleados se comportaran por igual, cuando se les somete a un temple directo desde la temperatura de cementación.

Hay aceros que durante la cementación tienden a aprovechar al máximo, particularmente, las ventajas de una buena regulación del potencial de carbono que evita la sobrecarburación superficial y permite, al mismo tiempo, realizar el temple directo. Tales aceros tienen, como característica fundamental, un contenido limitado en cromo [Cr = (0,40 ÷ 0,60%)].

La relativa disminución de la templabilidad de dichos aceros se compensa con las adiciones de molibdeno [**Mo** = (0,15 ÷ 0,40%)] y de níquel [**Ni** = (0,40 ÷ 1,00%)].

El contenido de austenita retenida que se origina en las operaciones de cementación + temple directo, –*causa fundamental de la disminución de la dureza de capa*– es también mucho menor.

5.2.7. *Revenido*

Las piezas después de cementadas y templas, presentan una muy alta dureza en superficie, por lo que es necesario realizarles un revenido a baja temperatura [Tª = (150 ÷ 200 °C)] de la capa endurecida de temple. El revenido modifica sensiblemente la estructura martensítica de la capa templada, a la vez que relaja y minimiza las tensiones de compresión superficial producidas durante el temple de la misma.

Las modificaciones de las características mecánicas, ocasionadas por el revenido de la capa cementada y templada, serán diferentes según sea la naturaleza de las tensiones producidas en el temple.

A temperaturas normales de revenido, comprendidas entre 150 y 200 °C, disminuye de una manera poco significativa la dureza de la capa cementada y templada. Se aumenta el límite elástico, al mismo tiempo que disminuye la resistencia a la fatiga a flexión rotativa: (12 ÷ 15%) menos.

El revenido tiene muy poca influencia sobre el efecto de desconchamiento de la capa cementada y templada; circunstancia que eventualmente, se puede producir durante el trabajo mecánico de la pieza correspondiente.

Tampoco dicho tratamiento tiene influencia significativa sobre la resiliencia: característica ésta que potencia la no aparición, en la mayoría de los casos, de todo inicio de rotura diferida de las piezas en servicio.

Todos estos resultados son, por otra parte, perfectamente coherentes cuando se tienen en cuenta: (1) la naturaleza de las solicitaciones y esfuerzos a los que están sometidas las piezas en servicio; (2) las estructuras de la capa obtenida; y (3) las tensiones residuales de temple presentes en la capa endurecida.

En casos aislados a veces se está en condiciones, más o menos lógicas, de utilizar las piezas cementadas en estado sólo de temple; esto es posible únicamente, en circunstancias muy particulares; **p.ej.**: piezas que en su trabajo mecánico sufren pequeñas solicitaciones o pequeños esfuerzos.

Pero cuando las piezas están sometidas a cargas estáticas constantes y muy elevadas, que pueden conducir a una ruptura diferencial de capa –*caso de roscas embutidas*, etc.–, se hace necesario revenir tales piezas a baja temperatura [Tª = (150 ÷ 200ºC)].

5.2.8. *Tratamiento subcero*

En el temple que sigue a la cementación, aparece en la capa cementada y templada en la mayoría de los casos, abundante cantidad de austenita retenida; esto ocurre casi siempre, por el simple hecho de ser la superficie cementada muy rica en carbono.

La austenita retenida aparece especialmente con mayor intensidad, en aquellas piezas cementadas y templadas,

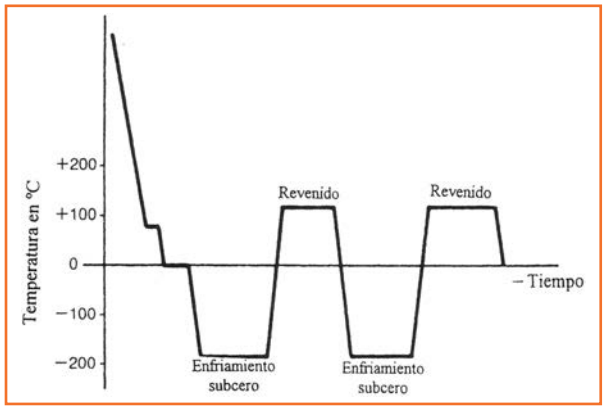


Figura 5.23. Representación esquemática del tratamiento subcero.

obtenidas de aceros con alto contenido de níquel (**Ni** > 1%) en su composición química.

La aplicación del **tratamiento subcero –figura 5.23–** sobre piezas, en general, templadas y fabricadas de acero con alto carbono; ya que es asimismo el medio capaz de transformar, casi en su totalidad, la austenita retenida de temple en martensita.

El tratamiento subcero es muy beneficioso en aquellas piezas que han sido cementadas y templadas, –*cementación + temple + revenido*– ya que el revenido normal y clásico de la capa cementada no puede sobrepasar los 200 °C de temperatura, teniendo en cuenta además, que es insuficiente para lograr la total transformación de la austenita retenida de temple en martensita.

Dado que, en la capa cementada y templada, cuando se rebasa la temperatura normal de revenido (Tª > 200 °C), baja muy sustancialmente su dureza.

Es por ello aconsejable efectuar el tratamiento subcero [Tª ≈ (**– 90** °C)] en piezas y elementos constructivos de responsabilidad mecánica elevada, particularmente en aquellas piezas fabricadas con aceros con alto níquel, que han sufrido un profundo tratamiento térmico de cementación + temple + revenido.

tenova B.M.I.
El especialista en hornos para tratamientos térmicos al vacío
Temple gas y aceite
Revenido y recocido
Nitruración baja presión
Nitruración iónica
Cementación baja presión
Soldadura brazing
Sinterizado
MIM
APLICACIONES TERMOTECNICAS, S.L - Apdo. 4052 - 48080 BILBAO – ESPANA
TEL : 94.426.25.22 FAX: 94.426.22.62
info@aplitec-tt.com ; www.aplitec-tt.com ; www.bmi-fours.com
APLITEC

INGENIERÍA DE REFRACTARIOS Y COMBUSTIÓN
Compromiso y fiabilidad
DEGUISA
www.deguisa.com

TECRESA®
TECNICAS DE REFRACTARIOS, S.A.U.
A member of the STEULER Group
EMPRESA LIDER EN MONTAJE, SUMINISTRO, MANTENIMIENTO Y SUPERVISION DE REVESTIMIENTOS REFRACTARIOS
Revestimientos Refractarios Industriales
Pavimentos Industriales – Protección de Superficies
Reparación y Refuerzo Estructural – Protección Pasiva contra Incendios
Ingeniería de Revestimientos Refractarios - Estudios de Eficiencia Energética
CENTRAL
Ribera de Zorrozaurre 15, 2º
Tf: +34 902 11 89 47·Fax: +34 944 48 37 32
48014 BILBAO
www.tecresa.com · tecresa@tecresa.com
DELEGACIONES
Asturias
Andalucia
Galicia
Cantabria

Flexinox INDUSTRIAL
www.flexinox.com
ESPECIALISTAS EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS PARA TRATAMIENTO TÉRMICO Y RECAMBIOS EN ACEROS REFRACTARIOS
TUBOS RADIANTES
MUFLAS
RETORTAS
UTILLAJES
CESTAS Y CRISOLES
CADENAS
REPARACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE HORNOS
(OBRAS REFRECTARIAS)
Representante para España de AUBE-LINDBERG
FILINOX, S.A.
C/ Sant Adrià, 76
08030 Barcelona
Tel.: 93 223 26 62
Fax: 93 223 26 67
customer@inoxidables.com

PYRO® CONTROLE
CHAUVIN ARNOUX GROUP
SSi SUPER SYSTEMS INC.
HITECH INSTRUMENTS LTD
TKK EREMA
TOKAI KONETSU KOGYO CO., LTD.
WINNER TECHNOLOGY CO.,LTD.
주식회사 위너테크
Sondas de oxígeno
Analizadores de gases
Pruebas de uniformidad de temp. AMS2750D, E y CQI9 r3
Sondas de temperatura
Videoregistradores
Reguladores de temperatura
Thyristores
Resistencias CSi y MoSi2
Automatización de hornos
ENTESIS technology
Guitard 72 baixos, E-08014 Barcelona
Tel. (+34) 93 410 54 54, Fax (+34) 93 419 97 33
www.entesis.net · e-mail:info@entesis.net

APLITEC
Utillaje tipo mecano, cestas, tubos radiantes
Fundición acero inoxidable refractario
CFC
CODERE SA
Utillaje forming
ECONOX SR
RD TECHNOLOGIES
APLICACIONES TERMOTECNICAS, S.L Apdo. 4052 - 48080 BILBAO - ESPANA
Tel: +34. 94.426.25.22 Fax:+34. 94.426.22.62 info@aplitec-tt.com www.aplitec-tt.com

Fabricamos hornos y estufas industriales
Modelos stándars y especiales
tecno piro®
www.tecnopiro.com
Hornos del Vallés, S.A
Barcelona (Spain)
T/ 936 926 612 - 606 134 562
hdv@tecnopiro.com

PROYCOTECME
HORNOS INDUSTRIALES
Especialistas en tratamiento térmico
SOLO
Borel Special Furnaces
HORNOS VERTICALES, TRANSFER Y CONTINUOS
HORNOS Y ESTUFAS
PANELES DE GASES
PANELES DE CONTROL Y SUPERVISIÓN
CONSUMIBLES Y CALDERERÍA
CONSUMIBLES FUNDICIÓN
Ipsen
www.proycotecme.com
Tel: +34 938 467 984
proycotecme@proycotecme.com

Interbil
Ingeniería Térmica Bilbao s.l.

P.I. Sangròniz, Iberre 1-M5
E-48150 SONDICA (Vizcaya)
Tel.: 94 453 50 78
Fax: 94 453 51 45
bilbao@interbil.es

Ingeniería y Productos para Hornos y Procesos Térmicos

- Ingeniería de Hornos.
- Suministro y fabricación de resistencias.
- Quemadores recuperativos y regenerativos.
- Reguladores de potencia.
- Sistemas de control de procesos.
- Control de atmósferas.

www.interbil.es

ARROLA®
SERVICIO INTEGRAL
PARA INSTALACIONES
DE TRATAMIENTO TERMICO

HORNOS INDUSTRIALES

DISEÑO Y FABRICACION DE INSTALACIONES - ASISTENCIA TECNICA
METROLOGIA Y CALIBRACION - CONTROL DE ATMOSFERA
SISTEMAS INFORMATICOS PARA CONTROL Y REGISTRO DE DATOS

POLIGONO INDUSTRIAL ARGIXAO, PAB. 60
E 20700 ZUMARRAGA (GIPUZKOA) SPAIN
TEL. (+34) 943 72 52 71 FAX. (+34) 943 72 56 34
info@arrola.es www.arrola.es

Wheelabrator

Su Proveedor de soluciones en Tratamiento de Superficies

Maquinaria y consumibles para granallado, chorreado, shotpeening y acabado por vibración.

Gran Via de les Corts Catalanes 133, At.B, 08014 BARCELONA
Tel. +34 934211266 Fax. +34 934223137

wheelabrator
shaping industry

www.wheelabratorgroup.com • contact@wheelabratorgroup.es
Norican Group es la empresa matriz de DISA y Wheelabrator

alju

- Granalladoras.
- Instalaciones de chorreado manual y automático.
- Líneas de granallado y pintado.
- Filtros de aspiración.
- Piezas y calderería antidesgaste.
- Esmeriladoras pendulares.

FABRICANTES CON INGENIERÍA PROPIA

Teléf.: +34 944 920 111 • e-mail: alju@alju.es • www.alju.es

ACEMSA
Centro Metalográfico de Materiales

C/ Arboleda, 14 - Local 114
28031 MADRID
Tel. : 91 332 52 95
Fax : 91 332 81 46
e-mail : acemsa@gmx.es

Laboratorio de ensayo acreditado por ENAC

- *Laboratorio de ensayo de materiales : análisis químicos, ensayos mecánicos, metalográficos de materiales metálicos y sus uniones soldadas.*
- *Solución a problemas relacionados con fallos y roturas de piezas o componentes metálicos en producción o servicio : calidad de suministro, transformación, conformado, tratamientos térmico, termoquímico, galvánico, uniones soldadas etc.*
- *Puesta a punto de equipos automáticos de soldadura y robótica, y temple superficial por inducción de aceros.*
- *Cursos de fundición inyectada de aluminio y zamak con práctica real de trabajo en la empresa.*

CRONITE
Better by design

Diseño y fabricación de piezas fundidas en aleación de cromo / níquel

Cronite Ibérica: Ilárraza, 14 - 01192 ILARRAZA (ALAVA)
Tfno. 609 419 325 - Fax +33 243 212 463
E-mail: maricarmen.garcia@cronite-group.com - www.cronite-group.com

ERVIN
The World Standard for Quality

Ervin es el fabricante especialista en granalla de Acero y Granalla de Acero inoxidable.
No sólo ofrecemos la mejor calidad de granalla del mercado, sino también un excelente servicio técnico.

- **Máxima productividad, mínimo coste**
- **Desgaste reducido**
- **Reducción del polvo y de la eliminación de residuos**

Por favor, póngase en contacto con el Sr. Manuel Forn:
M +34 628 531 487 mforn@ervin.eu www.ervin.eu

- Gran disponibilidad de modelos.
- Alta variedad de calidades.
- Piezas a medida según plano.
- Tubos radiantes.
- Rodillos.
- Parrillas.
- Cestones/cadenas.
- Muflas/Potes de recocido.
- Recuperadores.

REPRESENTANTE PARA ESPAÑA Y PORTUGAL
Tecnymat Aceros, S.L.
Polígono Industrial Ugaldeguren 3 - Parcela 17-2, Nave 1
48170 Zamudio (Vizcaya)
Teléf.: 944 710 035 - Fax: 944 710 227
tecnymat@tecnymat.com

SCHMOLZ + BICKENBACH GUSS
GmbH & Co. KG

SOLO
Switzerland
Hornos industriales para el tratamiento térmico
www.soloswiss.es
SOLO Swiss SA
email : mail@soloswiss.com - tel. : +34 656 878 067

Ipsen
www.Ipsen.de
Your Total Solutions Provider

Borel
Standard Furnaces & Ovens
Switzerland
Hornos industriales y estufas
www.borel-hornos.com
Borel Swiss SA
email : borel@soloswiss.com - tel. : +34 656 878 067

HOT
écnicas en Hornos HOT S.L.
- HORNOS PARA TRATAMIENTO TÉRMICO
- UTILLAJES, PARRILLAS, CESTAS
- PINTURAS PROTECTORAS
- HORNOS DE LABORATORIO
- DISEÑO, CONSTRUCCION Y ASESORAMIENTO
- SERVICIO TÉCNICO, REPUESTOS
AICHELIN
Group
Lohmann
Qualität in Edelstahl
Stop off paints LUISO
TECNICAS EN HORNOS HOT S.L.
Polígono Ibaiondo
Pabellón nº 13
20120 Hernani - Spain
e-mail: hot@tecnicashot.com
TF : + 34 943 33 72 33
Fax : + 34 943 33 72 34
Mv. : + 34 609 20 00 90

Termopares especiales
calibraciones ENAC
automatización de procesos
Reguladores
Video-Registradores
pirometro infrarrojo
calibración hornos de vacio
experiencia
desde -200 a 2400ºC
Termopares
SCI
Suministro y Calibracion Industrial s.l.
www.sciempresa.com
sondas pt-100
instrumentación
servicio técnico
calibración insitu
cámara termografica
calibración TUS
todo en temperatura
Indicadores
consultoria AMS-2750-D
calibración SAT
expertos en normativa aeronáutica
Ribera de Axpe,11,d2,L203,48950 Erandio tel.944765276 sci@sciempresa.com

insertec
Furnaces & Refractories
Etxerre Kaminoa 21 \
48970 Basauri \
Bizkaia \ Spain
Tel.: +34 - 944 409 420
Fax: +34 - 944 496 624
email: insertec@insertec.biz
www.insertec.biz

Generación económica para un Vacío óptimo
Busch Ibérica S.A.
+34 (0)93 861 61 60
busch@buschiberica.es
www.buschiberica.es
BUSCH
Bombas y Sistemas de Vacío

SPECTRO
AMETEK
MATERIALS ANALYSIS DIVISION
Analizadores Estacionarios de Metales
La solución integral para sus necesidades de análisis de metales
SPECTROLAB
SPECTROMAXx
SPECTROCHECK
Visitenos en:
Subcontratación – Bilbao – 4 al 6 de Junio – Pabellón 5 – Stand A34
GIFA – Düsseldorf – 25 al 29 de Junio – Pabellón 11, Stand 11H21
MetalMadrid – 27 y 28 de Noviembre – Stand D40
944 710 401 • comercial@spectro.es

INDICE de ANUNCIANTES

ACEMSA 48
ALJU 48
APLITEC 47
ARROLA ..... CONTRAPORTADA
BAUTERMIC 46
BMI 47
BOREL 49
BUSCH 49
CRONITE 19
DEGUISA 47
ENTESIS 47
ERVIN AMASTEEL 27
FLEXINOX 47
GRUPO PIROVAL 46
HEA 7
HORNOS DEL VALLÉS 23
HOT 17
INDUSTRY TOOL ..... Interior PORTADA
INNOVATLÁNTICO 33
INSERTEC 49
INTERBIL 48
IPSEN ..... Interior CONTRAPORTADA
LIBROS TRATAMIENTOS TÉRMICOS 14
METALMADRID 15
ONDARLAN 9
PROYCOTECME 47
PUMPS & VALVES 25
REVISTAS TÉCNICAS 41
SOLO SWISS ..... PORTADA
SPECTRO 49
SUBCONTRATACIÓN 13
SUMINISTRO Y CALIBRACIÓN 21
TECNYMAT ACEROS 48
TECRESA 47
THERMPROCESS 11
TRATER DAY ..... 4 y 5
WHEELABRATOR 48

Próximo número

SEPTIEMBRE

Nº Especial **TRATER Day** (Bilbao).
Hornos industriales. Espectrómetros. Equipos de control. Quemadores. Atmósferas.
Software de control de temperatura. Fuentes de energía.

The Global Market Leader in Heat Treatment Solutions

Backed by 70 years of experience, it is our mission to stregnthen materials through expert-driven solutions. We are committed to delivering proven technology for a range of apllications that enable you to transform space exploration, improve titanium medical implants and develop more efficent cars and jet engines.

Vacuum Atmosphere Customer Service Parts Retrofits Controls

Sales@Ipsen.de | 0049 2821 804 0 | www.Ipsen.de

Ipsen

PORQUE
LA DIFERENCIA
SE MARCA
DESDE EL PRINCIPIO

EL KNOW HOW UNIDO AL CUIDADO DE LAS PRIMERAS FASES DE FABRICACION MARCAN LA CALIDAD, FIABILIDAD Y DURABILIDAD FINAL DEL PRODUCTO.

MEDIANTE HORNOS DESARROLLADOS, INSTALADOS Y MANTENIDOS POR ARROLA SE FABRICAN COMPONENTES PARA LA MAS ALTA COMPETICION.

ARROLA®

SERVICIO INTEGRAL
PARA INSTALACIONES
DE TRATAMIENTO TERMICO

SERVICIO INTEGRAL

PARA INSTALACIONES DE TRATAMIENTO TERMICO Y GALVANIZADO EN CALIENTE

DISEÑO Y FABRICACION DE INSTALACIONES - ASISTENCIA TECNICA
METROLOGIA Y CALIBRACION - CONTROL DE ATMOSFERA
SISTEMAS INFORMATICOS PARA CONTROL Y REGISTRO DE DATOS

POLIGONO INDUSTRIAL ARGIXAO, PAB. 60
E 20700 ZUMARRAGA (GIPUZKOA) SPAIN
TEL. (+34) 943 72 52 71 FAX. (+34) 943 72 56 34
info@arrola.es www.arrola.es

publiadx