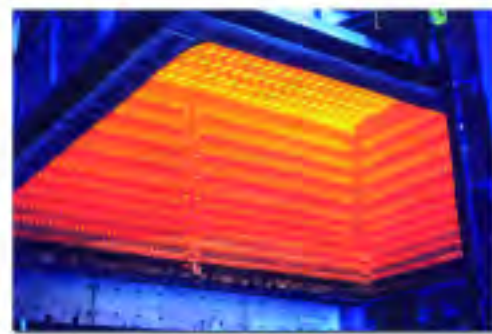


**Hornos**  
Laboratorio e industriales



**Quemadores**  
recuperativos y regenerativos



**Reguladores de Potencia**  
a Tiristores:

**AEG**

Power supply systems



**Equipos de control de**  
**atmosferas:**

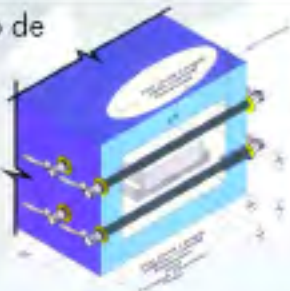


**mesa**  
electronic



Sonda Lambda

**Carburo de**  
**Silicio**



**Fabricación de**  
**resistencias,**  
en hilo o pletina  
conformadas a medida  
según plano.

MoSi2 (Hasta 1800°C)



**interbil**  
Ingeniería Térmica Bilbao s.l.

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

[www.interbil.es](http://www.interbil.es)



JUNIO 2012 • Nº 29

# TRATER JUNIO 2012 • Nº 29 Press

REVISTA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

[www.pedeca.es](http://www.pedeca.es)



Pabellón 3, Stand C 59

## Soluciones

## insertec

Hornos & Refractarios

Para el Tratamiento Térmico



[www.insertec.biz](http://www.insertec.biz)

28 Mayo - 2 Junio

# 2012

# 27 BIEMH

## BIENAL ESPAÑOLA DE MÁQUINA-HERRAMIENTA

La 27ª edición de la BIEMH será un punto de encuentro de alto nivel tecnológico y de innovación en el sector:

### REPRESENTACIÓN POR SECTORES

- MÁQUINAS HERRAMIENTA
- OTRAS MÁQUINAS
- HERRAMIENTAS PARA MÁQUINAS-HERRAMIENTA
- PIEZAS, COMPONENTES Y ACCESORIOS
- AUTOMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
- METROLOGÍA Y CONTROL DE CALIDAD
- SERVICIOS PARA EL TALLER Y LAS EMPRESAS



Machine-Tool Manufacturers' Association of Spain (AFM)  
Asociación Española de Fabricantes de Máquinas-herramienta  
www.afm.es



EMPOSSIBLE

www.biemh.com

# INFORMACIÓN DE CALIDAD

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL



**6 NÚMEROS ANUALES**

**90 €**  
(I.V.A. incluido)  
Edición Nacional

**115 €**  
(I.V.A. incluido)  
Edición Internacional



**5 NÚMEROS ANUALES**

**65 €**  
(I.V.A. incluido)  
Ed. Nacional

**85 €**  
(I.V.A. incluido)  
Ed. Internacional



**9 NÚMEROS ANUALES**

**115 €**  
(I.V.A. incluido)  
Ed. Nacional

**150 €**  
(I.V.A. incluido)  
Ed. Internacional



**6 NÚMEROS ANUALES**

**90 €**  
(I.V.A. incluido)  
Ed. Nacional

**115 €**  
(I.V.A. incluido)  
Ed. Internacional

**PEDECA press** Publicaciones

C/ Goya, 20. 4ª. • 28001 MADRID • Telf.: 91 781 77 76 • Fax: 91 781 71 26 • pedeca@pedeca.es

www.pedeca.es



Nuestro programa de fabricación incluye aplicaciones de tratamiento en:

- Metales Férricos y No Férricos.
- Trabajo en Continuo o Intermitente.
- Con o sin Atmósferas Protectoras.
- Con calentamiento Eléctrico o a Gas.

Tipos de Hornos para estas Aplicaciones y Procesos:

- Horno de Carro.
- Horno de Campana.
- Horno de Cámara.
- Máquina de Cargar.
- Horno de Cinta "Cast Link"
- Horno de Cinta de Malla.
- Horno de Pote.
- Horno de Tambor.

- Horno de Empuje.
- Horno de Solera de Rodillos.
- Horno con Tanque de Temple incorporado.
- Horno de Solera Giratoria.
- Horno de Retorta Rotativa.
- Estufas con recirculación.
- Equipos para Calentamiento.
- Horno de Vacío.
- Equipos Auxiliares.

**Ingeniería y Servicios Técnicos, S.A.**

Avda. Cervantes, 6 - Basauri, Vizcaya, Spain

Tel.: 34-944 409 420 / Fax: 34 - 944 496 624

www.insertec.biz

e.mail: insertec@insertec.biz

## Sumario • JUNIO 2012 - N° 29

Editorial 2

Noticias 4

Land Instruments lanza la NUEVA Arc • Air Products, reconocida por su responsabilidad corporativa • Schneider Electric presenta los nuevos reguladores de temperatura Zelio Control REG • SYSMAC amplía su solución con nuevas CPUs de 4 y 8 ejes • Conocer mejor los gases de soldadura • SICK e IDC Tecnología realizan jornada de seguridad • Pedro Rodríguez, nuevo Director General de RUUKKI Metals para España y Portugal • AM-201GE, la nueva cámara monocromo.

### Artículos

- Fórum de ARCAS - Por Juan Martínez Arcas 12
- Durómetro universal totalmente motorizado modelo, Duravision 250/350 de Emcotest - Por Izasa 14
- MIDEST 2012, acelerador de encuentros 16
- Orbital Aerospace y Matrice, nuevos miembros de HEGAN 18
- SECO/WARWICK suministra un conjunto de hornos de vacío al centro Z.P.H. Jan Tarapata 22
- Nueva cámara de termografía fija FTI-E 1000 - Por Land Instruments Int. 24
- Equipos para la industria del tratamiento térmico - Por Ernesto Guerra 26
- Técnicas en Hornos HOT S.L. 27
- Comportamiento termomecánico de un acero microaleado al Nb - V - Por E. A. Cartaya, G. Varela, J. M. Cabrera 28
- Algunas consideraciones sobre la nitrocarburation ferrítica gaseosa - Por Manuel Antonio Martínez Baena y José María Palacios Reparaz (+) 36
- Nitruación por plasma de aceros inoxidables. Limitaciones en procesos industriales y optimización microestructural - Por P. Corengia, E. de las Heras, D. Egidi, A. García-Luis y M. Brizuela 44

Guía de compras 52

Índice de Anunciantes 56

Síguenos en



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

**PEDECA PRESS PUBLICACIONES S.L.U.**  
 Goya, 20, 4º - 28001 Madrid  
 Teléfono: 917 817 776 - Fax: 917 817 126  
 www.pedeca.es • pedeca@pedeca.es

ISSN: 1888-4423 - Depósito legal: M-53065-2007

Diseño y Maquetación: José González Otero  
 Creatividad: Víctor J. Ruiz  
 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



Asociación de Amigos de la Metalurgia

## Editorial

### AIRE FRESCO

La **BIEMH** celebra su edición 27 y la revista **TRATER Press** con el número que tiene en sus manos, estará presente en dicho certamen en el **Pabellón 1, Stand B-50**. No podía ser de otra forma.

Las expectativas son muy buenas, se intentará potenciar un nuevo rumbo y respirar aire fresco. 4 Pabellones completos son buena muestra de ello.

En esta edición se darán cita 1.171 expositores, entre fabricantes, distribuidores y compañías del sector, para que visitantes de todo el mundo puedan ver y conocer los últimos desarrollos, tecnologías y servicios de empresas líderes en su especialidad.

Además y coincidiendo con los días de Feria, se llevarán a cabo diversas jornadas técnicas, llenas de innovaciones, en las que se conocerá lo más avanzado de la industria.

El grupo **PEDECA PRESS PUBLICACIONES** no podía faltar a esta cita tan importante, entregando las distintas revistas del grupo a expositores y visitantes.

Esperamos poder saludarle personalmente.

*Antonio Pérez de Camino*

nos centramos  
en el  
**producto**

**SECO/WARWICK GROUP**

Equipo de procesamiento de calor

**SECO/WARWICK**

**SECO/WARWICK**  
THERMAL



**SECO/WARWICK**  
ALLIED

## Land Instruments lanza la NUEVA Arc

Arc es un rango de cámaras térmicas para aplicaciones generales suficientemente robustas para soportar ambientes industriales y compactas para utilizar en I+D y Automoción. Arc es una cámara radiométrica de alta resolución que proporciona imágenes térmicas detalladas con una alta precisión de temperatura.

Está disponible en dos rangos de medida de temperatura, 0 a 500 °C y 100 a 1.000 °C, cuatro lentes, dos frecuencias y tres variantes de software para cumplir los requisitos de cada usuario.

Efectúa un sofisticado proceso de datos. Conexión directa a módulos I/O mediante cable Ethernet industrial. Se suministra como estándar con el software Viewer que permite la visualización de imágenes y datos térmicos mientras el Viewer+ ofrece configuración para trabajar de manera independiente y el LIPS que permite un análisis completo, grabación y reproducción de datos térmicos.

Un rango de 4 lentes permite la visualización de cualquier objetivo a cualquier distancia con una claridad sobresaliente. Junto

con esto destaca su amplio rango de temperatura ambiente de trabajo, que la hace apta para su uso tanto en un banco de trabajo como en las más exigentes aplicaciones industriales. Arc utiliza un enfoque remoto motorizado que permite una instalación rápida, sencilla y segura.

Info 1

## Air Products, reconocida por su responsabilidad corporativa

La compañía Air Products ha sido seleccionada por la revista más prestigiosa de responsabilidad corporativa Corporate Responsibility Magazine (CR Magazine) como una de las 100 mejores compañías de 2012, en un ranking que valora el perfil de la RSC de las empresas. Air Products ha conseguido el puesto número 53.

Esta lista se elabora anualmente entre empresas destacadas de todos los sectores, incluyendo industria farmacéutica, alta tecnología y gran consumo. La lista de las 100 mejores prácticas corporativas de 2012 revela que la transparencia es, cada vez más, la nueva apuesta de la responsabilidad corporativa de las compañías.

Air Products cuenta para sus proyectos de responsabilidad social y medioambiental con los avances e investigaciones que desarrolla su departamento de I+D, MATGAS, un centro de excelencia en investigación de CO<sub>2</sub> y sostenibilidad, pionero en el uso sostenible de fuentes energéticas y en la reducción de emisio-

nes de CO<sub>2</sub> así como en investigaciones relacionadas con la búsqueda de energías alternativas, tratamiento de aguas residuales, alimentación, y análisis del ciclo de vida.

La selección de compañías se basó en los datos proporcionados por la empresa IW Financial, a partir de 320 indicadores clasificados en las siguientes categorías: cambio climático, relaciones laborales, medioambiente, gestión financiera, gobernabilidad, derechos humanos y filantropía.

El análisis de datos se llevó a cabo según la metodología de la Asociación Oficial de Responsabilidad Corporativa, una entidad profesional centrada en promover la responsabilidad corporativa en las empresas de todo el mundo.

Info 2

## Schneider Electric presenta los nuevos reguladores de temperatura Zelio Control REG

Schneider Electric, especialista global en gestión de la energía y líder en eficiencia energética, ha presentado Zelio Control REG, su nueva línea de reguladores de temperatura. Con comunicación Modbus y funciones avanzadas de serie, como PID, auto-tuning, lógica difusa o rampas, ofrecen una solución completa, simplicidad de instalación y un uso excelente. Además, todas las funciones están incluidas, evitando así cualquier accesorio extra intercambiable.





**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



POLICONO INDUSTRIAL ARCIXAO, 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



La nueva gama de reguladores de temperatura Zelio Control REG de Schneider Electric puede integrarse en arquitecturas inteligentes supervisadas por terminales HMI o controladas por autómatas programables (PLC) para el intercambio y la trans-

misión de los datos, como por ejemplo los valores de los puntos preestablecidos, valores presentes y alarmas.

Los reguladores Zelio Control REG pueden configurarse mediante el software Zelio Control Soft (de descarga gratuita en internet), común para todos los modelos, y con el que se consiguen ahorros de más del 70% del tiempo en la configuración de los parámetros.

La nueva solución de la compañía destaca por su alta compacidad (<90mm de profundidad), lo que permite una fácil inclusión en las máquinas. Zelio Control REG está disponible en 3 formatos: 24 x 48 mm, que destaca por su tamaño reducido y funcional, 48 x 48 mm, caracterizado por su excelente combinación y su buena relación tamaño/funcionalidad, y 96 x 48 mm, de diseño elegante y gran visualización de datos.

Los controladores Zelio Control REG utilizados con nuestra gama de relés de estado sólido ofrecen una solución global y eficaz en el control de temperatura en las siguientes aplicaciones: hornos, HVAC, packaging y textil.

Info 3

## SYSMAC amplía su solución con nuevas CPUs de 4 y 8 ejes

Esta expansión de la familia Sysmac es parte del compromiso de Omron para satisfacer las necesidades de automatización, ofreciendo una solución consistente desde un bajo número de ejes, hasta las máquinas más grandes y complejas del mercado,



permitiendo una sencilla y escalable construcción modular de la máquina.

Siguiendo con el lanzamiento de la Plataforma de Automatización Sysmac el pasado mes de Julio de 2011, Omron amplía la familia de sus controladores de máquina con el lanzamiento de las nuevas CPUs serie NJ3.

Esta nueva serie consiste en dos CPUs de 4 y 8 ejes, con las que Omron amplía su solución y ofrece total compatibilidad y escalabilidad desde 4 hasta 64 ejes.

La serie NJ3 es totalmente compatible con el controlador de máquinas NJ5, usando la misma herramienta de programación y configuración -Sysmac Studio- y las mismas redes integradas -EtherCAT para control total de toda la máquina y EtherNet/IP para información de planta. Al igual que NJ5, su hermano pequeño NJ3 integra la última tecnología de procesadores de Intel Corporation, aprovechando todas las ventajas de la arquitectura de la plataforma de automatización Sysmac.

Info 4

## Conocer mejor los gases de soldadura

Air Products/Carburos Metálicos, ha llevado a cabo un estu-

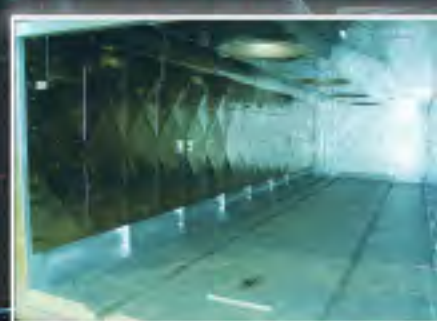




**DISEÑANDO Y FABRICANDO  
HORNOS Y ESTUFAS  
INDUSTRIALES  
DESDE 1945**



**HORNOS ALFERIEFF** contabiliza la construcción de más de 1100 hornos, por ello, contamos hoy con una renombrada experiencia en el campo de los hornos industriales



**CONSTRUYENDO FUTURO**

▶ AERONÁUTICA ▶ ESPACIO ▶ FERROCARRIL ▶ NAVAL ▶ AUTOMOCIÓN ▶ EÓLICA ▶ FOTOVOLTAICA ▶ TERMOSOLAR ▶ ELÉCTRICO ▶ I.PESADA

**HORNOS  
ALFERIEFF®**



Email: [hornos@alferieff.com](mailto:hornos@alferieff.com) · [www.alferieff.com](http://www.alferieff.com)

dio que demuestra la importancia de conocer los gases que se emplean en soldadura. Entre las conclusiones destacan que elegir el gas adecuado tiene efectos positivos directos en la calidad y productividad del proceso de soldadura y, por el contrario, un gas inadecuado puede ocasionar daños como la porosidad o la quiebra del cordón de soldadura, cuya reparación supone un gasto cinco veces mayor a la elección adecuada desde el principio.

Los resultados de la encuesta que realizó Air Products a más de cuarenta mil expositores en la feria Techni-Show, en Utrech (Países Bajos), muestran la escasa atención que ponen los soldadores a la hora de adquirir formación sobre las propiedades de los gases, las mezclas especiales, sus funciones y su tecnología.

Sobre el modo en que los gases son suministrados, la encuesta revela que el 71% de soldadores todavía utiliza botellas de 200 bar de presión, pero la intención del sector es que pronto sean reemplazadas por botellas de 300 bar de presión.

Carburos Metálicos ya dispone, en su cartera de productos, de la gama de botellas Integra®, con un tamaño reducido y llenado a 300 bar de presión, en lugar de a 200 bar como las botellas tradicionales. Este factor ofrece mayor seguridad al reducir el riesgo de caída y facilitar el manejo y transporte.

Además, Carburos Metálicos suministra gases que sirven para optimizar los procesos de soldadura y el corte de diferentes materiales como el acero al carbono, el acero inoxidable, el aluminio, o el cobre y sus aleaciones. Estos gases se emplean,

entre otras aplicaciones, para la tecnología láser, en la que la función del gas es el control de los vapores producidos y la purga del material de corte; y en la generación del haz láser de CO<sub>2</sub>, en el que la radiación está producida por la molécula de CO<sub>2</sub>, y por tanto requiere el uso de gases o mezclas de gases de elevada pureza, especialmente concebidos para estas aplicaciones.

Otra solución desarrollada por Carburos Metálicos es la gama de gases Maxx®, que mejoran la calidad de la soldadura, disminuyen la producción de humos y aumentan la productividad respecto a los gases tradicionales. También dispone de la gama de gases ultrapuros Experis®, que ofrecen la máxima fiabilidad y pureza; y las mezclas Experis®, que tienen hasta 10 años de vida estable.

Info 5

## SICK e IDC Tecnología realizan jornada de seguridad

El pasado 7 de marzo la empresa IDC conjuntamente a SICK inició una doble jornada de seguridad en máquinas en sus instalaciones en Alcalá de Henares. Los ponentes Josep Plassa (Responsable de Seguridad de SICK) y Florentino Rico (Director Técnico de IDC) alternaron una parte teórica legal con casos prácticos basados en un montaje demo realizado en las instalaciones de IDC Tecnología.

La celda robotizada, ideada e instalada por el Departamento Técnico de IDC Tecnología, estaba integrada por una cinta de transporte, un robot antropomorfo



ABB y un despaletizador. Alrededor de treinta participantes presenciaron unos simulacros basados en situaciones prácticas tal y como empresas como IDC o SICK las suelen encontrar en su día a día, ante todo en sectores como fabricación de maquinaria, aeronáutico, componentes automóvil y materias primas.

IDC Tecnología es una compañía española dentro del segmento de la Distribución Industrial Especializada de componentes y sistemas para la automatización industrial de procesos productivos.

La empresa está especializada en tres áreas de actividad comercial: Neumática y Control de Movimientos, Sensórica-Seguridad Industrial e Identificación Automática, y Componentes y Sistemas de Visión Artificial.

La empresa SICK este año está llevando a cabo un ambicioso plan de formación en el ámbito de normativas en la seguridad industrial. Los trainings se realizan tanto en formato presencial como online.

Asimismo, SICK ofrece formación continua de producto profundizando sobre funciones y selección de dispositivos, análisis y diagnóstico.

Info 6

# SU MEJOR COMUNICACIÓN

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL



**PEDECA** Press Publicaciones  
S O M O S S U M E D I O

Síguenos en



## Pedro Rodríguez, nuevo Director General de RUUKKI Metals para España y Portugal

Pedro M<sup>a</sup> Rodríguez, hasta ahora Sales Manager de RUUKKI Metals en España, ha sido nombrado Director General de la compañía para España y Portugal.

Pedro Rodríguez es Ingeniero Industrial por el Centre D'Études Supérieures Industriels (CESI) y Master en Business Administration and Marketing de ESIC. Tras varios años de experiencia en el sector siderúrgico, ocupaba desde abril de 2007 el cargo de Sales



Manager en RUUKKI Spain, filial de la multinacional finlandesa Rautaruukki Oyj.

El directivo llevará a cabo la continuación de la fase de expansión de RUUKKI en España y Portugal desde su sede de Vitoria, desde la cual la compañía viene desarrollando su estrategia de crecimiento en estos mercados, en los que prevé aumentar las ventas de aceros especiales. La

empresa está reforzando su contacto con el cliente directo, a través del servicio de asistencia técnica y asesoramiento a clientes, a los que oferta aceros anti-desgaste, de alta resistencia y aceros recubiertos especiales.

A su vez, Josu Piña, hasta ahora Director General de la compañía en España, ha sido nombrado Vicepresidente de la nueva unidad de negocio RUUKKI Americas, ámbito que incluye todos los países del continente americano.

Ambos han tomado cargo de sus nuevas posiciones desde el pasado 15 de marzo.

Info 7

## AM-201GE, la nueva cámara monocromo

Infaimon presenta las nuevas AM/AB-201GE del fabricante danés JAI. Con una resolución de 1.920 x 1.080 píxeles a una velocidad de 38 imágenes por segundo, la nueva cámara con arquitectura quad-tap de JAI utiliza sensores Kodak KAI-02150 CCD e interfaz Gigabit Ethernet.



Como toda la línea de cámaras de alta resolución de JAI, las nuevas AM/AB-201GE incorporan una lista de características industriales para optimizar su rendimiento en sistemas de visión artificial, tales como alineamiento preciso del sensor, avanzada gestión de temperatura, carcasa robusta y alta resistencia a choques y vibraciones.

Info 8

FUNDI *pre-est*  
FORO AL SERVIDOR DE LA FUNDICIÓN

MOLD *pre-est*  
¿Puede medir la calidad?

Nueva WEB  
www.pedeca.es

SURFAS *pre-est*  
gts

TRATER *pre-est*  
Pujosa

Síguenos en



# AFE CRONITE

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



Parrillas apilables



Muflas



Cintas de eslabones



Montajes estándar y personalizados



Platos, Parrillas, Cestas



Montajes hornos de pote



Rodillos



Turbinas, Guías



Grafito, CFC

AFE Cronite - Ibarraza, 14 - 01182 IARRAZA (ALAVA)

Tel: 945 253 400 - Fax: 945 293 145 - E-mail: M.GARCIA@afecronite.com - www.afecronite.com

## SYSTEM 4

# LA MEJOR GAMA DISPONIBLE DE TERMÓMETROS DE ALTA PRECISIÓN

Los termómetros de la gama del Sistema 4 de Land proporcionan exactitud y flexibilidad dentro del rango de 0 a 2600° C para satisfacer las necesidades exactas de su proceso.

- Termómetros de alta y baja temperatura con y sin fibra óptica.
- Procesadores LANDMARK digitales o analógicos; simples o multicanal.



- Salidas industriales 4/20 mA, profibus y RS232
- Amplio rango de accesorios de montaje.
- Termómetros y procesadores completamente intercambiables.
- Exactos, fiables, medida sin deriva.

**LAND**  
An AMETEK Company

SOLUCIONES DE MEDIDA DE TEMPERATURA SIN CONTACTO

## Fórum de ARCAS

Por Juan Martínez Arcas



Pueden formularnos las preguntas que deseen sobre la problemática de los Tratamientos Térmicos, dirigiéndose a la revista:

Por carta: Goya, 20, 4º - 28001 Madrid - Teléfono: 917 817 776 - Fax: 917 817 126

E-mail: [pedeca@pedeca.es](mailto:pedeca@pedeca.es)

Tanto preguntas como respuestas irán publicadas en sucesivos números de la revista por orden de llegada, gracias a la activa colaboración de D. Juan Martínez Arcas.

Como decíamos en el número anterior, el alivio de tensiones por vibraciones supone una alternativa real y efectiva del Tratamiento Térmico en horno para aliviar tensiones y no sólo las de trabajo (Revenido distensionante), sino también las provocadas en los mecanizados por arranque de viruta (Estabilizado).

Las vibraciones (frecuencia y amplitud) deben ser distintas en función de la masa y dimensiones, así como el tiempo a que se someterá el molde a dichas vibraciones.

En el caso que nos ocupa, es decir tensiones en Moldes para inyección de aluminio, el procedimiento que está dando buenos resultados es el de vibraciones de baja frecuencia y alta amplitud. Este proceso alivia las tensiones como decíamos propias del trabajo o de la mecanización del molde, así también es muy interesante su aplicación para aquéllos que han sufrido una reparación por soldadura.

Está demostrado que las vibraciones resonantes es el proceso más eficaz para reducir los esfuerzos residuales tanto térmicos como mecánicos, ya que producen una redistribución de esfuerzos más pronunciada que si la comparamos con otros procedimientos basados en frecuencias subresonantes (también llamadas subarmónicas).

Las vibraciones de baja frecuencia son precisamente las más interesantes porque son portadoras de energía de gran amplitud, ya que con su aplicación se eliminan los picos de esfuerzos residuales provocados por el cúmulo de tensiones de todo tipo, tanto térmicas de calentamiento-enfriamiento sobre todo cuando de forma brusca e intermitente (zonas de contra colada, masas críticas, etc.).

Coincidimos en este Fórum en la idea de que sería muy interesante que cada taller de moldes, fundiciones y en general talleres de reparaciones y de mantenimiento preventivo, dispusiera de un equipo de estas características, con ello alargáramos la vida útil de los moldes.

**Nueva WEB**  
[www.pedeca.es](http://www.pedeca.es)

Síguenos en  

We measure it. **testo**

## Nuevo analizador de emisiones portátil testo 350

- Analizador de los Pdc's para el correcto ajuste y control de quemadores, hornos, turbinas y motores industriales.
- Pantalla a color de alta resolución para la interpretación gráfica e intuitiva de las mediciones.
- Diseño robusto para su utilización en ambientes severos.
- Medida de los parámetros medioambientales: O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, T<sup>°</sup>, %HR, td, g/Kg, m/s, m/s, hPa, rpm, mA, mV...
- Comunicación sin cables, Bluetooth 2.0 integrado.
- Sensores precalibrados, reemplazables por el propio usuario.

Solicite información a:  
Instrumentos **testo** S.A.  
Zona Industrial c/B nº 2  
08348 Cabriels (Barcelona)  
Tel: 93 753 95 20 - Fax: 93 753 95 26  
[www.testo.es/genial](http://www.testo.es/genial) - [info@testo.es](mailto:info@testo.es)

# Nabertherm

MORE THAN HEAT 30-3000 °C

## HORNOS INDUSTRIALES PARA TRATAMIENTO TÉRMICO



Distribuidos por: **HOT**

TECNICAS EN HORNOS HOT, S.L.

Polígono Ibaiondo  
Pabellón nº 13  
20120 Hernani - Spain  
Tel: +34 943 33 72 33  
Fax: +34 943 33 72 34  
Mv.: +34 609 20 00 90  
mail: [hot@tecnicashot.com](mailto:hot@tecnicashot.com)

# Durómetro universal totalmente motorizado modelo, Duravision 250/350 de Emcotest

Por Izasa

**E**mcotest da un paso de gigante en el concepto de durómetros universales, ya que introduce de manera estandarizada mesas motorizadas para ensayos de dureza hasta 3.000 kgf.

Está disponible en dos versiones, DV250 con un rango de cargas de 1 kgf hasta 250 kgf y el DV350 con un rango de 3 a 3.000 kgf.

Como principales características podemos destacar:

- Cabezal motorizado en Z, permite ensayar muestras más grandes y una mayor estabilidad durante el ensayo.
- Mesa motorizada de amplio recorrido, 400 x 290 mm, que permite realizar ensayos en muestras muy grandes y de la forma que deseemos, además de los normalizados en serie o CHD, Nht, Rht, y todo de una forma automática.
- Torreta motorizada de alta velocidad de 2 posiciones estándar y 6 posiciones opcional.



Resultados precisos: Gracias al ajuste de brillo y contraste de forma automática, a su rápido autofocus y a su sistema de ciclo cerrado de control mediante célula de carga, dan como resultado el más alto grado de repetitividad y precisión durante los ensayos.



Control desde PC a través de conexión USB2 sin tarjetas adicionales, mediante software Workflow en Español, software muy intuitivo desarrollado íntegramente por Emcotest en un concepto de 5 pasos (Muestra, Método, Posición, Resultados e Historia).

Visión panorámica de 100 x 125 mm, que permite, mediante una lente de pocos aumentos, una visualización completa de la muestra de ensayo y la utilización de un módulo especial de software para ensayos partiendo de la visualización de esta cámara.

Ahorro en tiempo de ensayo: Gracias a su sistema de ajuste de brillo automático, autofocus optimizado, torreta y mesa motorizadas además de una intuitiva operación, dan como resultado un ahorro en tiempo de ensayo de más del 50% comparado con respecto a otros equipos de la competencia.

Y además dispone de una amplia variedad de accesorios opcionales para cumplir con los requerimientos más restrictivos planteados por los clientes.



# SU POKER DE ASEES

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL



**PEDECA** *press* Publicaciones

C/ Goya, 20. 4º • 28001 MADRID  
Telf.: 91 781 77 76 • Fax: 91 781 71 26  
pedeca@pedeca.es  
www.pedeca.es



**ACHELIN**  
Group

HORNOS DE TRATAMIENTO - MAGNAN DE INDUCCION - QUEMADORES



**Hauzer** TECHNO COATINGS  
INDUSTRIAL TECHNOLOGIES

EQUIPOS DE PVD - Y - PACVD



**Lohmann**  
Qualität in Edelstahl

UTILAJES - PARRILLAS - CESTAS



PINTURAS ANTICEMENTANTES - ANTINITRURANTES



DISEÑO Y CONSTRUCCION



HORNOS DE LABORATORIO E INVESTIGACION



SERVICIO TECNICO

REPUESTOS PARA HORNOS IPSEN

TECNICAS EN HORNOS HOT S.L.

Polígono Ibaiondo  
Pabellón nº 13  
20120 Hernani - Spain

TF : + 34 943 33 72 33  
Fax : + 34 943 33 72 34  
Mv. : + 34 609 20 00 90

e-mail: [hot@tecnicashot.com](mailto:hot@tecnicashot.com)

## MIDEST 2012, acelerador de encuentros

**T**ras una edición 2011 cuyo éxito fue proclamado por unanimidad, la 42ª edición de MIDEST, salón de subcontratación industrial se celebrará del 6 al 9 de noviembre en el Recinto Ferial de Paris Nord Villepinte en un contexto económico agitado e incierto. En efecto, la mejora real de 2010 y 2011 tras la fuerte crisis de 2009 no parece ser duradera y nuevas nubes económicas y financieras vienen a ensombrecer el mundo de la industria.

Sin embargo, no conviene desesperarse. Acostumbrados a estos cambios, los subcontratistas en general siempre supieron adaptarse apoyándose en el trío ganador: innovación / creación (de nuevos productos) y diversificación (de los mercados y los sectores).

MIDEST 2012 pone una vez más todo lo necesario a su alcance para acompañarles y favorecer su apertura a nuevos mercados y su desarrollo.

2012 será pues el escenario de diferentes novedades que destacarán un sector, la automoción y una región, el Piamonte. Este año, marcado claramente por las elecciones, el salón también estrena presidente en la persona de Jérôme Delabre.

No olvidemos tampoco la segunda edición de SISTEP-MIDEST, la cita industrial en Marruecos que se celebrará en Casablanca del 19 al 22 de septiembre en torno a seis grandes sectores: la subcontratación, la máquina-herramienta, la chapa, la electrónica, los plásticos y los servicios.

### MIDEST 2012, la plataforma mundial de la subcontratación

Los profesionales son unánimes al respecto y las cifras de la edición 2011 lo demuestran: 1.724 expositores, el 39% de ellos extranjeros procedentes de 36 países y 42.769 profesionales de todos los sectores de actividad que acudieron a visitarlos (+5,8% respecto a 2010), el 15% internacionales de 65 países.

Este año los subcontratistas también pueden elegir entre tres fórmulas de exposición:

- Como individual en todos los sectores: Transformación de metales, Transformación de plásticos, caucho, composites, Transformación de la madera, Transformación de otras materias y materiales, Electrónica y electricidad, Microtécnicas, Tratamientos de superficies, Tratamientos térmicos y acabados, Fijaciones industriales, Servicios para la industria y Mantenimiento industrial.
- O en uno de los 11 Villages por oficios existentes: Caucho, Electrónica, Fijación europea, Fundición, Forja, Conformación de metales, Plásticos, Servicios para el medioambiente, Tratamientos de materiales, Transformación de la madera, Mecanizado y máquinas especiales.
- Como colectivo en el marco de los pabellones: Al menos 18 regiones francesas y una treintena de países o regiones extranjeras estarán representados.

### La automoción y el Piamonte destacados

En 2012 por primera vez, MIDEST da protagonismo

a una región internacional, el Piemonte. Una elección merecida por este protagonista de primer orden de la subcontratación italiana, que bajo la égida de la Cámara de Comercio de Turín y del Centro Estero per l'Internazionalizzazione, ha incrementado notablemente su presencia en MIDEEST en 3 años. Una marca que debería superar aún más este año. Por su parte, el número de visitantes trasalpinos se sitúa en segunda posición entre los países por detrás de Bélgica, con más del 10% de los profesionales extranjeros presentes en el salón. Esto permitirá focalizar sobre el primer sector cliente de la subcontratación, la automoción, mediante diferentes conferencias y mesasredondas.

Como es habitual, los profesionales tanto visitantes como expositores, disfrutarán de numeras animaciones que les mantendrán al día de las últimas evoluciones y favorecerán los encuentros. Los Trofeos MIDEEST volverán a valorizar la excelencia de los subcontratistas. Cerca de sesenta conferencias gratuitas, de corta duración y exhaustivas pondrán al alcance de cada uno los últimos avances técnicos, estratégicos y económicos. Para concluir, los Polos

Tecnológicos volverán bajo la égida del CETIM (Centro técnico de las industrias mecánicas), del CTIF (Centro de desarrollo de las industrias de conformación de materiales – Fundación) y del LRCCP (Laboratorio de investigación y control del caucho y los plásticos).

### Un nuevo presidente

MIDEEST está presidido, alternativamente cada dos años, por un responsable de asociaciones profesionales y de cámaras de comercio. Para las ediciones de 2012 y 2013 estará encabezado por Jérôme Delabre, Vicepresidente de la Cámara de Comercio e Industria Territorial (CCIT) Littoral Normand-Picard encargado de la Industria y miembro de la oficina de la UIMM (Unión de Industrias y Oficinas de la Metalurgia) del Vimeu. El Sr. Delabre, de 45 años, conoce muy bien MIDEEST: en efecto, es el presidente director general de los Establecimientos Delabre, especializados en troquelado y embutición y de Delabre France Tôlerie, que actúa en el sector de la chapa y la calderería; ambas empresas exponen desde 1994 en el stand colectivo de la región de Picardie.



**FUNDI**  
TOSCO AL SERVICIO DE LA FUNDICIÓN

**MOLD**  
¿Puede hacer los cables?

**SURFAS**  
gts

**TRATER**  
Pujos

**Nueva WEB**  
[www.pedeca.es](http://www.pedeca.es)

Síguenos en  



## SE VENDE

### GRANALLADORA DE GANCHO DE OCASIÓN

- Marca: ALJU.
- Modelo: Regina 161-A.
- Interior todo de manganeso.
- Totalmente revisada y garantizada.

**GranallaTECNIC S.L.**

Teléf.: 93 715 00 00 - Fax: 93 715 11 52

Email: [juan@granallatecnic.com](mailto:juan@granallatecnic.com)

[www.granallatecnic.com](http://www.granallatecnic.com)

## Orbital Aerospace y Matrici, nuevos miembros de HEGAN

**L**a Asociación Cluster de Aeronáutica y Espacio del País Vasco, HEGAN, ha confirmado como nuevos socios a la empresa Orbital Aerospace –la primera compañía asociada con actividad plena en el segmento de aviónica y diseño y desarrollo de software (SW)–, y a la cooperativa Matrici, que diversifica de esta manera, sus actividades tradicionales en otros sectores industriales. HEGAN pasa así a contar con un total de 38 entidades asociadas, que operan en toda la cadena de suministro, desde las áreas de ingeniería, diseño, aviónica, fabricación de estructuras, de subsistemas completos para motores y espacio, de sistemas y de UAS, hasta ensayos, mantenimiento, automatización o logística.

Las dos nuevas compañías aspiran a colaborar con el resto de socios de HEGAN en diversos proyectos y

a crecer internacionalmente en un sector con favorables expectativas. La integración de estas dos nuevas empresas en HEGAN les permitirá tomar parte en los programas de cooperación, innovación y promoción internacional en los que participa la asociación cluster. La contribución de los nuevos socios, por su parte, es incrementar la capacidad tecnológica del cluster y ampliar la cadena de valor.

### Orbital Aerospace

La compañía de aviónica Orbital Aerospace es fruto de la iniciativa de los emprendedores Ascensión Cruchaga y Jorge Robles, con experiencia profesional en Alemania, donde trabajaban para Bosch y E-ADS, respectivamente. La experiencia en este país sirvió de detonante para descubrir un nicho de mer-



cado en la aviónica (SW y sistemas de control de la electrónica aplicada a la aeronáutica y el espacio), sistemas críticos y SW de bancos de ensayo, lo que les llevó en 2008 a crear la sociedad en el Parque de la Innovación de Pamplona. Actualmente tienen también plantas en Guadalajara y Ulm (Alemania), cuenta con 30 personas en plantilla, y el pasado año la compañía facturó 1,3 millones de euros.

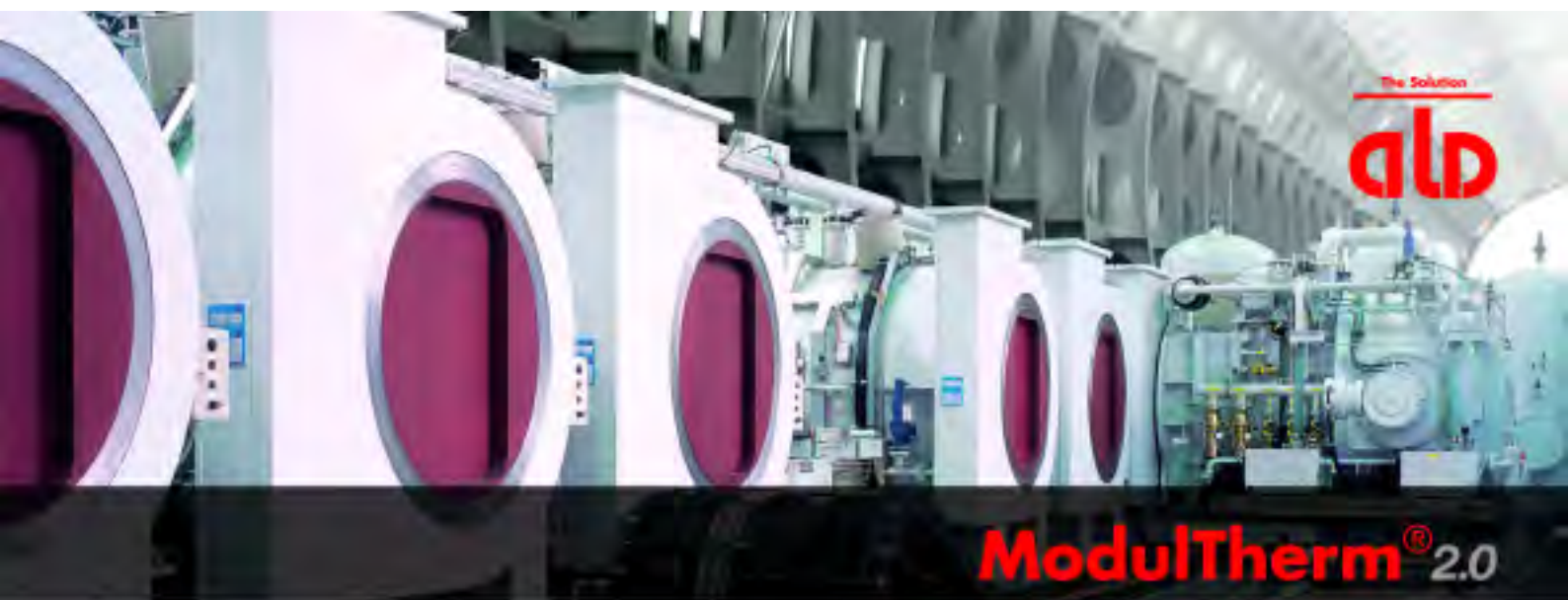
Esta empresa, con sede en Navarra, ha sido aceptada como socio colaborador de acuerdo con los estatutos de HEGAN aprobados en 1997, que acuerdan la libertad de elegir socios colaboradores de "cualquier parte del mundo que puedan contribuir a los fines de la asociación y se identifiquen con estos objetivos". La asociación considera que la actividad de aviónica de esta compañía resulta estratégica para el sector.

Por su parte, con su incorporación a HEGAN, el objetivo de Orbital Aerospace consiste en pasar a "formar parte de una asociación de empresas, que afronta en cooperación los retos del sector", espe-

cialmente en los ámbitos de SW, bancos de ensayo y aviónica. Así, Orbital aspira a complementar las capacidades de las empresas integrantes de HEGAN y facilitar a éstas la entrada en proyectos mayores que abarquen estas necesidades, ya que el sector aeronáutico demanda cada vez más proveedores multidisciplinares.

Entre los proyectos más significativos que acomete la compañía actualmente se encuentra, en aeronáutica, los diferentes sistemas de comunicación desarrollados para el avión de transporte A400M de Airbus, el sistema de control del BOOM –la pértiga de reportaje en vuelo del MRTT- y apoyo en los tests de sistemas, tanto en tierra como en vuelo del A440M. Pese a su corta edad, Orbital Aerospace ha obtenido un gran reconocimiento al ser elegido como proveedor directo de EADS Cassidian.

Por su parte, en el terreno de espacio, desarrolla y fabrica electrónica para alimentar y leer los espectrómetros del Seosat, el satélite español de observación de la Tierra que medirá la contaminación at-



**ModulTherm® 2.0**

## ModulTherm® 2.0 – una tecnología duradera

El sistema ModulTherm de ALD se utiliza con éxito, desde hace muchos años, para cementación en vacío y temple de piezas en serie. La nueva versión ALD ModulTherm® 2.0 permite una disponibilidad todavía más importante, una flexibilidad óptima de procesos y también reducir los costes de fabricación, con un gran respeto por el medio ambiente. Nuestro excelente equipo técnico le ayudarán a asegurar un funcionamiento fluido y continuo de sus instalaciones.

¡No dude en contactarnos para más información!

### ALD Vacuum Technologies GmbH

Wilhelm-Rohn-Strasse 35  
63450 Hanau, ALEMANIA  
Teléfono +49 (0) 6181 307-0  
Email [info@ald-vt.de](mailto:info@ald-vt.de)  
Internet [www.ald-vt.de](http://www.ald-vt.de)

### MTC Metal Treatment Consult

101 rue de Mundelsheim  
73290 La Motte Servolex, FRANCIA  
Teléfono +33 (0) 479 651852  
Email [mtc@mtc-fours.com](mailto:mtc@mtc-fours.com)



mosférica y la calidad del aire desde su lanzamiento en 2014. Entre las aplicaciones del satélite se encuentran el estudio de la composición y grado de polución en zonas urbanas, en carreteras con alto nivel de tráfico, incendios forestales o erupciones volcánicas. También permitirá interpretar con mayor precisión cual es el impacto de las tormentas de arena sobre la calidad del aire en España y Europa.

Para este proyecto Orbital Aerospace desarrolla tecnología de última generación conjuntamente con el CIAC (Laboratorio de Ciencias de la Atmósfera), "una instrumentación superior en resolución a la utilizada actualmente por la NASA o la ESA". El nuevo socio de HEGAN destina el 20% de su facturación a investigación en I+D para continuar al más alto nivel.

La compañía proyecta convertirse en el plazo de cinco años en un referente en el sector de aviónica e internacionalizar su actividad hacia los países emergentes, fundamentalmente Brasil y China. En el horizonte, se encuentra también su diversificación hacia otros sectores industriales, con la aplicación de electrónica en centrales nucleares e industria ferroviaria.

### Matrici

Por su parte, la cooperativa Matrici, integrada en el grupo Mondragón, ha realizado el camino inverso.

Creada en 1964, con actividad en el diseño y construcción de utillaje para el sector de automoción, ha emprendido una estrategia de diversificación para extender su amplia experiencia en la realización de procesos y utillajes de obtención de piezas a la industria aeroespacial, entre otros sectores. Su objetivo es dar un servicio integral y brindar una gran capacidad de ingeniería, gestión de proyectos y solidez financiera del grupo.

Con una plantilla total compuesta por 370 empleados y una producción de 67 millones de euros en 2011, la empresa está instalada en el polígono Ugaldeguren de

Zamudio. Entre los proyectos que desarrolla en aeronáutica se encuentran los útiles de forjado del programa B787 de Boeing, así como los útiles de preformado para el programa A350 de Airbus.

En el sector aeronáutico, Matrici ha emprendido las dos líneas de negocio de utillaje y fabricación de piezas. En utillaje centra la mayor parte de su actividad en útiles para la fabricación de piezas en materiales compuestos. En este campo destacan las piezas para el Airbus A350, así como para clientes franceses y proveedores españoles de primer nivel.

A ésta se une una segunda línea que desplegará a través de un proyecto inversor para convertirse en suministrador de piezas, mediante nuevas tecnologías como el RTM de conformado de componentes de fibra de carbono. Para apoyar este proyecto, Matrici utilizará sus implantaciones en Corea y China, con las que prevé reforzar su internacionalización.

Con prácticamente un 100% de sus ventas destinadas a exportaciones, entre sus objetivos se encuentra afianzar su posición con Airbus y los tier 1 en España, Francia y Alemania y apoyarse en la colaboración con el resto de miembros de HEGAN en diversos proyectos. En este sentido, estará presente en la Feria ADM Sevilla y otros eventos del sector con stand propio.

# COMERCIAL **SATEC**

SOCIEDAD LIMITADA



## EXCELENCIA EN TRATAMIENTO TÉRMICO

### PINTURAS PROTECTORAS PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS "CONDURSAL"

- ANTICEMENTANTE
- ANTINITRURANTE
- ESTANQUEIDAD

### ACEITES RÁPIDOS DE TEMPLE "DURIXOL":

- ACEITES DE TEMPLE RÁPIDO
- ACEITES DE TEMPLE CON ALTA RESISTENCIA A LA EVAPORACIÓN
- ACEITES PARA TEMPLE MARTENSÍTICO
- ACEITES DE TEMPLE PARA VACÍO

- POLÍMEROS DE TEMPLE, "SERVISCOL Y POLYQUENCH"
- AGENTES LIMPIADORES, "SERVIDUR"
- ACEITES ANTICORROSIVOS Y PAVONADO, "SERVITOL"

#### COMERCIAL SATEC, S.L.

P.A.E. ASUARAN Edificio Enekuri, nave 9  
48950 ERANDIO (Vizcaya)

Tel: 94 471 16 63 • Fax: 94 471 17 41

info@comercial-satec.com • www.comercial-satec.com

Fabricamos desde 1975



Temple  
Revenido  
Recocido  
Soldadura  
Sinterizado

**tecno  
piro**

HORNOS DEL VALLES, S.A.

C/. De la Mancomunidad, 1 y 3  
08290 CERCANYOLA DEL VALLÉS (Barcelona) ESPAÑA  
Tel. 936 926 612 - Fax 935 800 827  
hdv@tecnopiro.com - www.tecnopiro.com

tecnopiro.com

## SECO/WARWICK suministra un conjunto de hornos de vacío al centro Z.P.H. Jan Tarapata

**S**ECO/WARWICK SA ha suministrado dos hornos de vacío, que amplían la gama de posibilidades tecnológicas de Z.P.H. Jan Tarapata en Kolbuszowa. El alcance del suministro incluye un horno de vacío tipo de VPT con el sistema de enfriamiento de alta presión y el sistema de alto vacío, enfriamiento isotérmico, cementación en vacío Fine-

Carb® y la prenituración® PreNitLPC. El equipo del horno permite templar, revenir, recocer, soldar y cementar en vacío. Debido a la moderna tecnología, el tratamiento térmico de los detalles no provoca oxidación (zona brillante y limpia) y reduce las deformaciones (mediante el uso de temple en gas). El equipo suplementario es un horno de tipo VTR con





purga en vacío y nitruración Zero-Flow®. El horno hace posible realizar revenidos y nitruraciones manteniendo al mismo tiempo las cargas muy limpias. Ambos hornos están equipados con sistemas de control modernos, lo que permite obtener un proceso de repetitibilidad muy alta, a la vez que mantiene parámetros altos de tratamiento térmico. Ambos equipos permiten realizar procesos de tratamiento térmico a clientes de todo tipo de industrias.

Especificaciones del horno modelo 10.0VPT-4035/36IQHVN:

- Tamaño zona de trabajo: 600 x 600 x 900 mm,
- Peso máximo de carga: 600 kg,
- Temperatura máxima de trabajo: 1.300 °C,
- Presión máxima: 10 bar abs,
- Gas de enfriamiento: nitrógeno,
- Máximo vacío: 10-4 mbar.

Especificaciones del horno modelo VTR-5035/36F:

- Tamaño zona de trabajo: 600x600x900 mm,
- Peso máximo de carga: 600 kg,
- Temperatura máxima de trabajo: 650 °C,
- Gas de enfriamiento: nitrógeno.

Z.P.H. Jan Tarapata en Kolbuszowa está especializada en la producción de piezas de recambio para los autobuses, tales como: Autosan, Jelcz, Ikarus, Man, Mercedes, Neoplan, Scania, Solaris, Volvo y presta servicios a clientes externos.

Las instalaciones de producción de la empresa en Kolbuszowa son de:

- Mecanizado (centros de CNC horizontales y verticales - máquinas de fresado y torneado), máquinas-herramientas convencionales, moladoras, taladros, mortajadoras, rectificadoras.
- Temple (hornos de cámara para trabajar con atmósfera, temple, cementación, carbonitruración, recocido, temple por inducción, envejecimiento).
- Taller de pintura (polvo, ducha).
- Taller de soldadura y carpintería de aluminio.

Con el equipo actual de tratamiento térmico, la empresa puede realizar todo tipo de proceso de tratamiento térmico de toda la gama de aceros.



La compañía ofrece hornos de tratamiento térmico para el temple, revenido, recocido, tratamiento térmico de solución, soldadura, sinterizado, cementación, carbonitruración, alto vacío, CVD-grafitización y desgasificación. SECO/WARWICK ha construido algunos de los hornos de vacío más grandes y técnicamente avanzados operativos actualmente, el desarrollo de tecnologías avanzadas, como Universal HPQ™ (temple de alta presión), PreNit® y ® FineCarb LPC cementación en vacío, sistemas de control totalmente automatizados y software de modelado. Las configuraciones de hornos de vacío están disponibles en hornos de tipo vertical, horizontal y elevador. Están disponibles tanto las cámaras calientes cilíndricas como rectangulares, con resistencias metálicas o de grafito, para ambos para equipos nuevos y usados.

SECO/WARWICK Worldwide proporciona hornos de tratamiento térmico de metal industriales, utilizados en una variedad de procesos de acabado de materiales y aplicaciones de fabricación de componentes. Suministra hornos a clientes que participan en la producción de acero y aluminio, reciclaje de aluminio, forja, automoción, aeronáutica, tratamiento térmico comercial, HVAC/R, electrónica, energía eólica, equipamiento médico e industria nuclear.

# Nueva cámara de termografía fija FTI-E 1000

Por Land Instruments Int.

La nueva cámara FTI-E 1000 es ideal para aplicaciones de alta temperatura, ya que trabaja en una longitud de onda de  $1 \mu\text{m}$ , y combina la alta resolución de imágenes térmicas con una medida precisa de la temperatura desde 600 hasta  $3.000 \text{ }^\circ\text{C}$  con una gama de 4 modelos.

La cámara FTI-E 1000 es una solución instantánea para aplicaciones de alta temperatura donde se efectúa la medición de objetivos muy pequeños o en movimiento.

El detector de alta resolución junto con una óptica de precisión, permite visualizar objetivos tan pequeños como  $0,013 \text{ mm}$  cuadrados, y con el software de procesamiento de imágenes LIPS los problemas de alineación, simplemente desaparecen.

Con una longitud de onda de  $1 \mu\text{m}$  y la compatibilidad de la cámara FTI-E 1000 con los accesorios de montaje del Sistema 4, LAND ofrece una solución de imágenes térmicas para aplicaciones donde tradicionalmente se han utilizado pirómetros puntuales de longitud de onda corta.

Otras ventajas importantes de la cámara FTI-E 1000 son: una alta precisión de medida de temperatura para optimizar el control de procesos; instalación simple y de fácil uso, 2 años de garantía y no requiere certificados de exportación lo que permite un suministro rápido y sin complicaciones.

Además dispone de lentes de enfoque corto opcionales para garantizar que la cámara coincide exactamente con su aplicación.

El software LIPS NIR permite capturar imágenes térmicas y vídeo en tiempo real, además de ciertas funciones como: adquisición temporizada, gama de medidas de temperatura (puntual, rectángulo, polígono, isoterma, histogramas),

paletas de colores y funciones de alarma.

La nueva FTI-E 1000 está diseñada para aplicaciones tales como Colada Continua, Calderas, Hornos de Cemento, Soldadura de Tubos, Hornos de Vidrio, Metal Líquido, Procesos de Revestimiento, Trenes de Laminación, etc.



30 años de experiencia

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

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

SCHMOLZ + BICKENBACH GUSS GmbH & Co. KG

# SU MEJOR COMUNICACIÓN

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL

**FUNDI** Press

**MOLD** Press

**TRATER** Press

**SURFAS** Press

**Nadcap**

**ASHLAND**

**ABRASIVOS Y MAQUINARIA, S.A.**

**PEDECA** Press Publicaciones  
 SOMOS SU MEDIO

C/ Goya, 20. 4º • 28001 MADRID • Telf.: 91 781 77 76 • Fax: 91 781 71 26 • pedeca@pedeca.es • www.pedeca.es

# Equipos para la industria del tratamiento térmico

Por Ernesto Guerra, GRUPO EUCON

**P**hoenix™ es especialista en el diseño y fabricación de sistemas completos para la obtención de perfiles de temperatura en hornos de tratamiento térmico, de procesos de acabado de superficies y hornos cerámicos. La obtención de perfiles de temperatura es una práctica común en muchos procesos de tratamiento de metales y se consigue situando termopares en los puntos críticos del producto, conectándolos a un registrador. Si este registrador se protege con una barrera térmica, el sistema completo puede atravesar el horno junto con el producto. De esta forma se registran y almacenan las temperaturas reales del producto para su análisis.

Obtener el perfil térmico de procesos con varias etapas siempre ha sido complicado, ya que el equipo de medida debe garantizar su funcionamiento en condiciones cambiantes y difíciles de predecir. Por eso hasta ahora, si un equipo debía medir un ciclo de calentamiento más temple en agua, no se podía calentar de nuevo a niveles altos de temperatura tras el temple (limitado a calentamientos

inferiores a 200 °C). Esto era útil para procesos de T6 en aluminio, pero no en tratamientos de acero.

La alternativa de usar termopares externos en estos procesos es también compleja, ya que la probabilidad de rotura de los termopares debida a los movimientos de la carga y la inmersión en el agua es muy alta, por lo que rara vez se obtienen todos los datos que se buscan. Además, el manejo de los termopares es complicado y engorroso, interfiriendo bastante en la producción. Su único punto a favor es que la inversión necesaria es muy baja.

Gracias al desarrollo de nuevos aislantes y al nuevo diseño de los equipos Phoenix™ que garantizan la estabilidad del sistema durante todo el ensayo, se pueden monitorizar procesos completos que incluyan un temple intermedio en agua entre dos ciclos de calentamiento, por ejemplo en ciclos de austenizado, temple y revenido.

De esta forma se obtiene el perfil de temperaturas real del proceso completo, pudiendo analizar individualmente cada paso en condiciones reales de producción (mínima interferencia del sistema de medida) y así localizar posibles problemas o áreas de mejora en el proceso.

Además, opcionalmente se puede incluir la obtención de datos en tiempo real para conocer en todo momento la marcha del proceso y acelerar la toma de decisiones.

Grupo Eucon vende y pone en marcha estos equipos y también ofrece servicios de pruebas programadas sin necesidad de comprar el sistema completo.



Sistema Phoenix™ para procesos con temple en agua.

## Técnicas en Hornos HOT S.L.

**T**écnicas en Hornos HOT S.L. realizará la distribución de la firma Alemana líder mundial en la fabricación de hornos Nabertherm gmbh.

Nabertherm gmbh con sus 350 empleados, desarrolla y produce hornos y equipos de proceso desde hace más de 60 años, cubriendo un gran espectro de tipos de tratamiento térmico. 150.000 clientes en 100 países son la prueba que documenta el éxito de la empresa.

La experiencia de décadas construyendo hornos industriales les ha llevado a las conocidas altas cotas de "Calidad Nabertherm", que destaca por el uso de materiales de alta calidad, máxima exactitud posible de temperaturas y un innovador y preciso sistema de control.

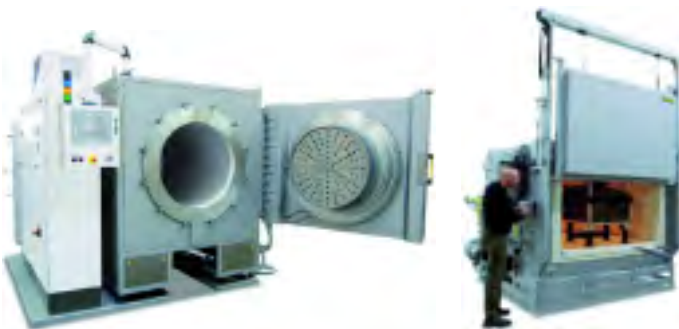
Nabertherm gmbh, dispone de filiales de Servicio y atención al cliente en España, Francia, Italia, Reino Unido, Suiza, Estados Unidos y R.P.China.

ámbitos de aplicación. Dispone de Hornos de Cámara, de Retorta, de Carro, de Pote, así como Hornos de Laboratorio y Hornos de Vacío para altas temperaturas.

En muchos campos, la construcción modular permite dar con una solución al problema sin necesidad de gran esfuerzo.

Pero si ninguno de los productos estándar encaja con la aplicación, dispone de un importante equipo técnico para diseñar, desarrollar y fabricar un modelo de horno propio, o equipo correspondiente, que se ajuste a las necesidades.

Por su parte Técnicas en Hornos HOT S.L. con más de 15 años en el mercado nacional, dispone del conocimiento y cercanía al cliente, así como los medios necesarios y próximos para hacer de esta colaboración una unión fructífera, que redunde en beneficio de los clientes Españoles.



Nabertherm gmbh ofrece un amplio surtido en equipos y hornos estándar para los más diversos



# Comportamiento termomecánico de un acero microaleado al Nb - V

Por E. A. Cartaya<sup>(1)</sup>, G. Varela<sup>(1)</sup>, J. M. Cabrera<sup>(1, 2)</sup>, J. M. Prado<sup>(1, 2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica, ETSEIB, Universidad Politécnica de Cataluña

<sup>(2)</sup> Centro Tecnológico de Manresa (CTM)

## RESUMEN

Empleando ensayos de compresión simple en caliente y relajación de tensiones después de la deformación en un dilatómetro modelo DIL805T, se obtuvieron las curvas de fluencia y relajación de dos aceros, el primero de ellos al C - Mn y otro HS-LA con idéntica composición química base, microaleado con Nb - V.

Los ensayos de compresión simple fueron efectuados a temperaturas en el rango austenítico, desde 900 - 1.200 °C y velocidades de deformación de 0.001, 0.01, 0.1, 1 y 10 s<sup>-1</sup>. Se obtuvieron las curvas de fluencia para las diferentes condiciones, permitiendo el estudio del efecto de los elementos microaleantes sobre la recristalización dinámica y la microestructura final; pudiendo comprobar mediante un análisis microestructural el efecto retardador en la cinética de recristalización que presenta el acero microaleado, el incremento en la deformación crítica y en la energía de activación. Se determina asimismo por medio del método de relajación de tensiones la cinética de precipitación, elaborando los diagramas precipitación - temperatura - tiempo.

## 1. INTRODUCCIÓN

Mediante los procesamientos termomecánicos se pretenden mejorar las propiedades mecánicas finales de los aceros mediante el refinamiento de grano, sin la necesidad de realizar un tratamiento térmico posterior al proceso. En la industria del acero, se consigue el afino a través del acondicio-

namiento de la austenita, y generalmente es afinado por medio de la recristalización durante la deformación, o empleando una austenita muy deformada con su siguiente transformación, logrando tamaños de ferrita finos [1].

Un mayor refinamiento se alcanza mediante la adición de microaleantes, combinado con un estricto control de las condiciones de conformado. El papel de los microaleantes es diverso, siendo uno de ellos el retrasar tanto la recristalización dinámica como la estática en el transcurso del proceso en caliente. La transformación de la austenita alargada y no recristalizada con una alta densidad de dislocaciones reduce significativamente el tamaño de grano de ferrita. Los elementos microaleantes Al, Ti, V, Nb inhiben el crecimiento del grano mediante la formación de carburos o nitruros antes o durante la laminación, mientras que el Nb también retarda la recristalización e inhibe el crecimiento de grano, mediante la estabilización de la subestructura de la austenita deformada por efecto solución o el de precipitación inducida por la deformación [1, 2].

Los elementos microaleantes como Nb, V o su efecto conjunto han sido efectivamente utilizados en aceros de baja aleación y alta resistencia HSLA para producir el refinamiento de la estructura transformada [2]. Uno de los efectos primarios de Nb es retardar la recristalización estática de la austenita entre pasos de laminaciones, por lo que es uno de los elementos más importantes para el control del tratamiento termomecánico.

Estos procesos son complicados de realizar, ya que aparecen e interactúan varios fenómenos metalúrgicos, tales como: restauración, recristalización dinámica y estática, precipitación inducida por la deformación, etc y estos a su vez influyen en la microestructura obtenida. Para poder comprender estos fenómenos y su interacción es necesario realizar ensayos a escala de laboratorio, con el fin de analizar las variables que intervienen en el procesamiento y así poder optimizar los parámetros del proceso.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la influencia de la adición de Nb-V a partir de un material base, sobre la cinética de recristalización, precipitación y tamaño de grano final. La cinética de recristalización dinámica se estudia a partir del comportamiento de las curvas de fluencia obtenidas en los ensayos de compresión en caliente, mientras que la cinética de precipitación del acero microaleado se obtiene a través del método de relajación de tensiones. Es necesario conocer la interacción de estos procesos de recristalización y precipitación, con el fin de poder realizar un mejor control de la microestructura final.

## 2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se analizaron dos aceros obtenidos por medio del proceso de refusión bajo electroescoria (ESR), un acero al C-Mn (A-4) y otro microaleado al Nb-V (M-4) con similar composición química base, detallados en la Tabla 1. Las composiciones se comprobaron mediante espectroscopia de emisión óptica. De cada colada fueron extraídos dos lingotes que a su vez fueron forjados. Para los ensayos de compresión y relajación se mecanizaron probetas con dimensiones de  $\varnothing 5$  y 10 mm de longitud.

Posteriormente se determinó para ambos aceros la temperatura a la cual presentan tamaño de grano similar, con el fin de que éste no tenga influencia en los resultados. Para ello se austenizaron muestras a diferentes temperaturas y posteriormente se templaron, revelando los diámetros austeníticos de partida por ataque químico mediante una solución saturada de ácido pícrico entre 60-70 °C.

Empleando un dilatómetro modelo DIL805T controlado mediante ordenador, se simularon las condiciones de conformado en caliente de los aceros. El medio de calentamiento fue mediante inducción, controlando la temperatura con un termopar soldado a la probeta y midiendo la variación de la longitud por LVDT. Todos los ensayos fueron efectuados en atmósfera controlada de Argón. Para las pruebas de compresión se emplearon discos de Molibdeno para disminuir la fricción, sin embargo para el de relajación de tensiones no fue necesario por la pequeña deformación aplicada. Un esquema general de la disposición de la probeta en el equipo es mostrado en la Fig. 1.

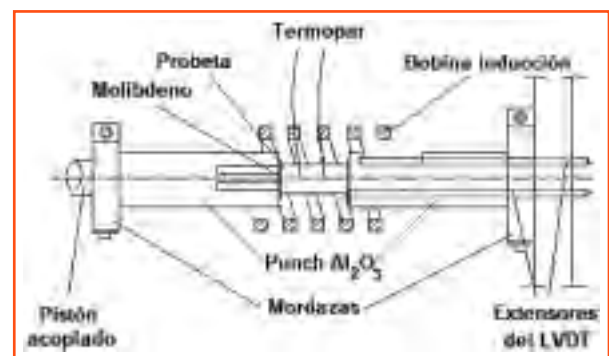


Figura 1: Esquema general, disposición de la probeta en el dilatómetro.

Con el objetivo de estudiar el comportamiento a fluencia de los aceros, principalmente la influencia que tiene la microaleación sobre la cinética de recristalización, se realizaron ensayos de compresión uniaxial a velocidades de deformación constantes y diferentes temperaturas. Estas condiciones de ensayo se muestran en la Fig. 2 a), destacando que en el acero A-4 solamente se ensayó hasta los 1.100 °C. Se determinó para cada condición las curvas de esfuerzo-deformación verdadera y la microestructura.

El método de relajación de tensiones fue empleado para estudiar la cinética de precipitación del acero microaleado. El comportamiento de relajación fue obtenido y con ello la curva de Precipitación-Temperatura-Tiempo. Las condiciones de los ensayos se destacan en la Fig. 2 b).

Tabla 1. Composición química de los aceros empleados en este estudio.

| Acero | C    | Si   | Mn   | Cr    | Nb    | V    | P     | S     | Al    | N (ppm) |
|-------|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|---------|
| A-4   | 0,18 | 0,47 | 1,66 | 0,075 | -     | -    | 0,023 | 0,012 | 0,007 | 85      |
| M-4   | 0,18 | 0,44 | 1,50 | 0,16  | 0,026 | 0,09 | 0,029 | 0,010 | 0,012 | 97      |

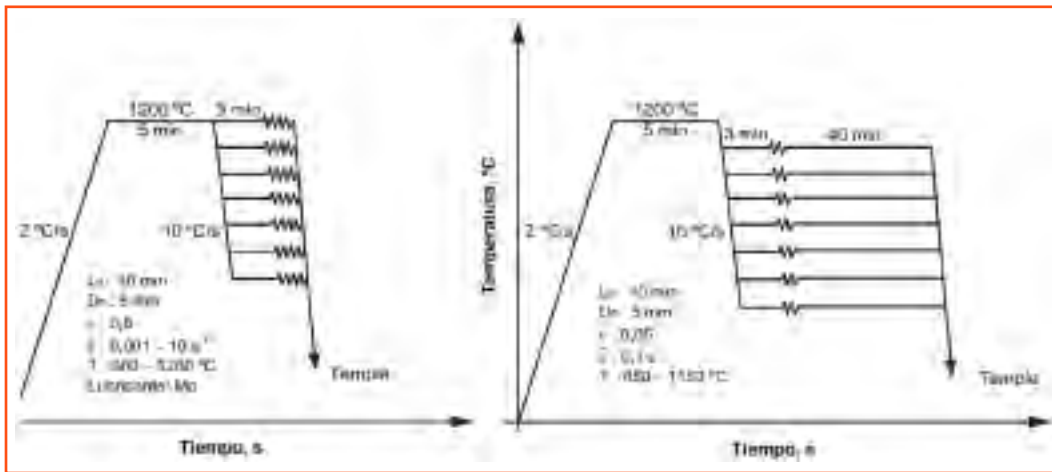


Figura 2: Ciclo de los tratamientos termomecánicos efectuados a) Compresión simple b) Relajación de tensiones.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Tamaño de grano austenítico inicial

La Fig. 3 muestra la variación del tamaño de grano austenítico a diferentes temperaturas, distinguiéndose que para el acero A-4 el crecimiento ocurre de manera exponencial con el aumento de la temperatura. Sin embargo, para el acero microaleado se aprecian dos etapas de crecimiento claramente diferenciadas [3-7]: la primera se produce de forma lenta y homogénea, crecimiento que se asocia a la existencia de precipitados que anclan eficazmente los límites de grano, y con ello se retarda su movimiento. A mayores temperaturas algunos de estos precipitados se disuelven con el engrosamiento de otros, reduciendo de esta manera su capacidad de anclaje y permitiendo una mayor libertad de movimiento de las fronteras de grano, lo que contribuye a un rápido crecimiento.

San Martín y col. [3] en su estudio analizaron un acero microaleado al Nb con similar composición química a diferentes velocidades de calentamiento.

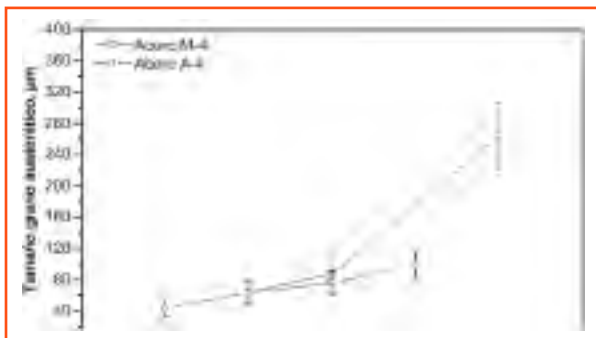


Figura 3: Tamaño de grano austenítico frente a la temperatura para los dos aceros.

to. Obtuvieron que el crecimiento del grano es sensible a la velocidad de calentamiento, llegando a concluir que mientras mayor sea la velocidad de calentamiento será más lento el crecimiento del grano. Haciendo un estado comparativo entre sus resultados y el contenido en este trabajo, se llega a apreciar que los valores obtenidos tienen comportamientos cercanos.

En este trabajo la temperatura de austenización con la cual se logra un tamaño de grano semejante fue a 1.200 °C, llegando a obtener en el acero A-4 un diámetro equivalente de 84  $\mu\text{m}$  y para el M-4 de 88  $\mu\text{m}$ . Con estas temperaturas se procedió a homogeneizar las muestras para los ensayos de compresión y relajación de tensiones. Al tener diámetros de partida cercanos, el tamaño de grano no tendrá ninguna influencia sobre los resultados.

#### 3.2. Curvas de fluencia

El efecto de la velocidad y la temperatura de deformación se muestran para algunas condiciones en las Fig. 4 a) y b). Las curvas exhiben los valores picos y de ablandamiento en el estado estacionario para cada acero. Como ya es conocido, este valor máximo en las curvas de fluencia se relaciona con el comienzo de la recrystalización dinámica (DRX). Dicha tensión pico  $\sigma_p$  depende de las condiciones de deformación y del material deformado. La tensión  $\sigma_p$  y la deformación de pico  $\epsilon_p$ , se incrementan cuando aumenta la velocidad de deformación y disminuye la temperatura.

Se observa que para el acero M-4 los valores de  $\sigma_p$  y  $\epsilon_p$  son superiores que para el A-4, y se presume que este comportamiento guarda una estrecha relación con la ocurrencia de la precipitación y el efecto de a-



rrastre por soluto. Para altas velocidades de deformación y baja temperatura, las curvas de tensión deformación del acero al M-4 llegan a pasar a un estado estable sin picos, en donde el mecanismo de ablandamiento predominante es la restauración, no apreciándose el ablandamiento adicional debido a la presencia de recristalización dinámica.

Para el acero microaleado la presencia de la tensión de pico está bien definida en las curvas de fluencia con la ocurrencia de DRX a bajas velocidades de deformación y altas temperaturas, mientras que el acero base se caracteriza porque la DRX ocurre en todas las condiciones de deformación. Estos resultados son similares a los obtenidos en una investigación llevada a cabo por Zhang y col. [8] en donde se analizan dos aceros con composiciones químicas parecidas a la de este trabajo.

Como es bien sabido la deformación plástica en caliente es un proceso activado térmicamente, que puede explicarse parcialmente mediante la fórmula de Zener - Hollomon y la función del seno hiperbólico siguiente:

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 \exp\left(-\frac{Q_{def}}{RT}\right) - A [\sinh(\alpha \sigma_p)]^n \quad (1)$$

Donde A,  $\alpha$  y n son constantes y  $Q_{def}$  es la energía de activación. Aplicando el logaritmo en los dos miembros de la ecuación, ésta se puede expresar de la siguiente manera:

$$\ln \dot{\epsilon} = \left(\frac{Q_{def}}{RT}\right) - \ln A + n \ln[\sinh(\alpha \sigma_p)] \quad (2)$$

De este modo en un gráfico  $\ln(\sinh(\alpha \sigma_p))$  versus  $\ln \dot{\epsilon}$ , n se puede determinar como la pendiente del mismo a cada temperatura. En el presente trabajo el valor de n para los dos aceros fue el mismo y tuvo un valor de 6,23. Asimismo y de acuerdo a la relación

entre  $\ln(\sinh(\alpha \sigma_p))$  y  $1/T$ , se puede determinar la energía de activación a cada velocidad de deformación. Los valores de  $Q_{def}$  en los aceros A-4 y M-4, resultaron ser de 360 y 420 kJ/mol respectivamente, apreciándose un incremento de la energía de activación para el acero microaleado. Resultados obtenidos por Zhang y col. [8] recogen valores semejantes.

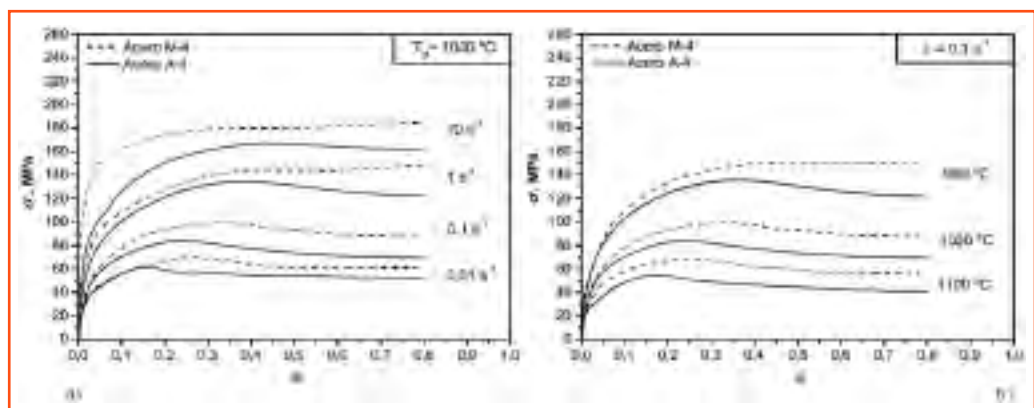
### 3.3. Efecto de la microaleación sobre el comienzo de la recristalización dinámica

Es bien conocido el efecto que tiene la microaleación sobre el retraso de la recristalización dinámica. Algunos autores [9,10] han observado dicho fenómeno adicionando microaleantes tales como: Nb, V y Nb-V. En aceros sin elementos de microaleación, el comportamiento de la curva deformación de pico vs velocidad de deformación tiene una tendencia exponencial como se muestra en la Fig. 5. Sin embargo, para los aceros microaleados esta curva llega a tener un comportamiento diferente en cada etapa dependiendo de las condiciones de deformación, temperatura y velocidad de deformación y de los mecanismos actuantes, bien retraso por arrastre de soluto, bien retraso por precipitación.

Para los dos aceros de este trabajo, a medida que disminuye la velocidad de deformación, decrece la deformación mínima requerida para el inicio de la recristalización, pero se incrementa el grado de deformación mínimo para que suceda este fenómeno en el acero M-4, y en especial a las velocidades de deformación más lentas como se ilustra en la Fig. 5 en los ensayos efectuados a 950 °C.

Puede apreciarse que solamente con la adición de elementos en solución sólida, las deformaciones se incrementan y retrasa la recristalización por el efecto arrastre de soluto, aumentando esta dife-

Figura 4: Curvas de fluencia de los aceros a) Temperatura de 1.000 °C variando la velocidad b) Velocidad de deformación de 0,1 s<sup>-1</sup> variando la temperatura.



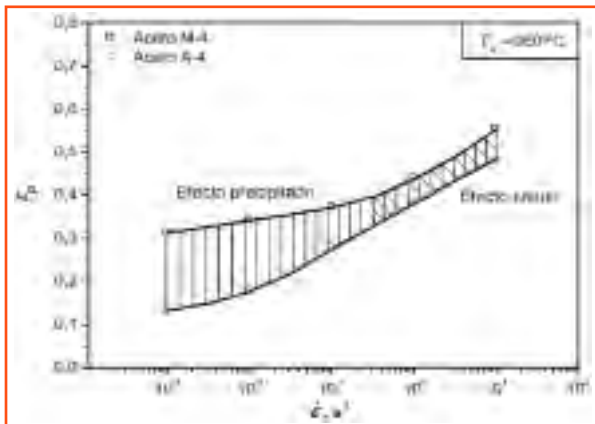


Figura 5: Efecto de los precipitados y del soluto en la deformación de pico.

rencia cuando los elementos llegan a precipitar. Más adelante se verá la coherencia de estos comentarios con la posición de las curvas de precipitación. El efecto de arrastre de soluto se hace marcado a velocidades de deformación altas, donde no es posible la formación de precipitados. En esta figura se distingue la etapa en la cual el retraso de la recrystalización es por el efecto soluto, además de la zona en donde intervienen las partículas precipitadas.

### 3.4. Efecto de la temperatura de deformación

La Fig. 6 muestra el comportamiento del inicio de recrystalización dinámica de los aceros analizados en función de la temperatura. Se observa un cambio del mecanismo para el acero M-4 a una temperatura de 1.050 °C. A temperaturas superiores de 1.050 °C se presume que el mecanismo que controla el proceso de recrystalización es el arrastre de soluto, mientras que a temperaturas inferiores además interviene la precipitación de compuestos tales como: nitruros, carburos y carbonitruros de Nb y V [11]. Esto se comprueba por el comportamiento presentado por el acero sin microalea, donde su tendencia lineal es similar a la mostrada por el acero microaleado a altas temperaturas.

La diferencia observada en la Zona I entre los valores de deformación de pico de los aceros, se debe a la influencia que tienen los elementos microaleantes en solución sólida sobre el retraso de la recrystalización dinámica para temperaturas superiores a la de formación de precipitados. Para la Zona II se distingue un incremento de la pendiente, a consecuencia de la influencia que tienen los precipitados en la matriz conforme se deforma, este efecto

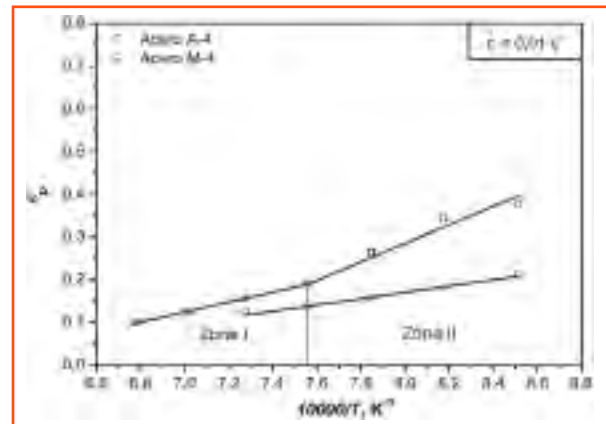


Figura 6: Deformación de pico en función del inverso de la temperatura absoluta.

llega a retrasar en mayor medida la cinética de recrystalización dinámica. Esta tendencia lineal del acero de partida con el aumento de la temperatura, se debe a que no presenta elementos que precipiten en compuestos de segunda fase durante la deformación. Esto contribuye a que solamente el valor pico esté dado por el efecto soluto. Resultados aproximados al descrito lo obtuvieron Elwazsi y col. [11], al analizar tres niveles de microaleación con V a partir de un acero al C-Mn, en donde se diferenciaba el cambio de pendiente en la temperatura de solubilización. En este trabajo el comportamiento del acero base es constante en todo el rango y no existe una temperatura de transición.

### 3.5. Tamaño de grano recrystalizado

El tamaño de grano dinámicamente recrystalizado en función de la temperatura y velocidad de deformación para el acero M-4 se muestra en la Fig. 7. Este tiende a disminuir cuando aumenta la velocidad de deformación, al igual que cuando decrece la temperatura a una misma velocidad de deformación, tal y como obtuvieron Omar y col. [12] en aceros microaleados con contenido de medio de carbono.

Montheillet y Jonas [13] observaron este mismo comportamiento y llegaron a relacionar la dependencia entre el tamaño de grano dinámicamente recrystalizado con el parámetro Z, mediante la Ec. 3. El crecimiento de grano ocurre a bajos valores  $\epsilon$  y altas T; pero el afino se consigue a altos valores  $\epsilon$  y bajas T.

$$D_{rec} = a + b \cdot \log \quad (3)$$

Esta característica es observada en la fig. 7, en la cual para una misma velocidad de deformación disminu-

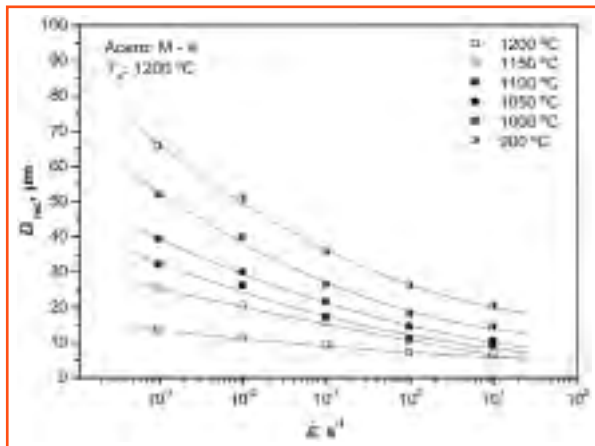


Figura 7: Evolución del tamaño de grano dinámicamente recrystalizado para el acero M-4.

yendo la temperatura, se consiguen granos pequeños; mientras que si se trabaja a una misma temperatura se deberán de alcanzar mayores velocidades de deformación para obtener semejante resultado.

### 3.6. Curva de relajación de tensiones

Los ensayos de relajación de tensiones se realizaron para determinar la cinética de precipitación en el acero microaleado durante tratamientos isotérmicos en un rango desde 850 a 1.150 °C con intervalos de 50 °C, obteniendo los tiempos de inicio ( $P_s$ ) y final de precipitación ( $P_f$ ). Se seleccionó una predeformación pequeña para evitar la recrystalización durante la relajación de tensiones. Estos resultados se comparan con los obtenidos para el acero base, y de esta manera se puede comprobar los valores reales de inicio y fin de precipitación, determinando la cinética de precipitación.

Esta técnica ha sido empleada por varios autores para determinar la cinética de precipitación en

aceros microaleados. Liu y Jonas [14,15] la utilizaron para detectar la precipitación del Ti(CN) en la austenita en varias microaleaciones con Ti. En investigaciones posteriores Park y col. [16], Dutta y col. [17] determinaron la precipitación de Nb(CN) y recientemente Pandit y col. [18] en aceros microaleados al Ti-V y Nb-V.

Las curvas de relajación de tensiones para los dos aceros a diferentes temperaturas y una deformación equivalente de 0,05 se muestran en la Fig. 8.

Estos plateaus aparecen a temperaturas inferiores a 1.100 °C, a una temperatura de 1.150 °C no llega a reflejarse en la curva una meseta a consecuencia de que a esta temperatura o la fracción de precipitados es muy pequeña o simplemente no hay precipitación.

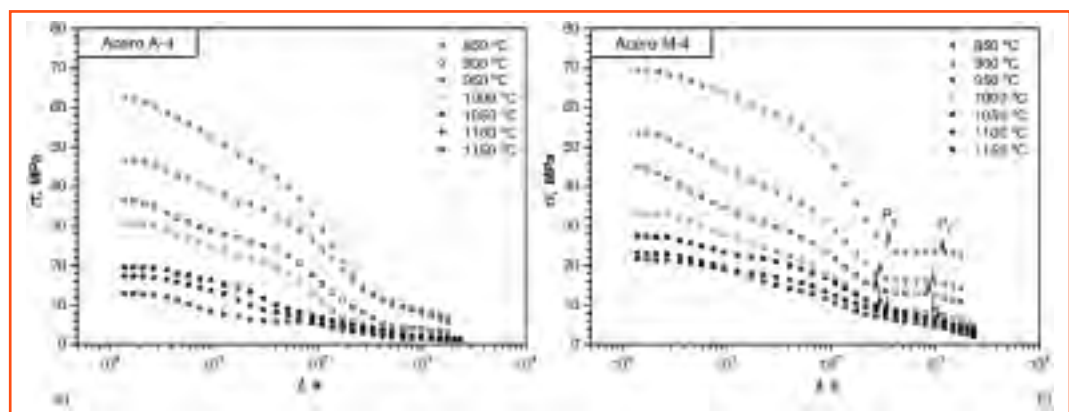
Resultados semejantes lo obtuvieron Park y col. [16] con su estudio en un acero microaleado al Nb.

### 3.7. Diagrama PTT

En la Fig. 9 se presenta el diagrama Precipitación-Temperatura-Tiempo (PTT) para el acero microaleado, los tiempos de comienzo y final de precipitación fueron determinados a través del método de relajación de tensiones explicados en el apartado anterior.

Este diagrama tiene una forma característica de doble C a consecuencia de la competencia entre la fuerza motriz y la velocidad de difusión. La fuerza motriz para la precipitación es controlada por el grado de supersaturación del elemento precipitante. Uno de los puntos a distinguir en este gráfico es la nariz, que para el caso se encuentra a los 950 °C, punto que se caracteriza por ser el tiempo mínimo de incubación de la precipitación. Por encima de la nariz de la curva, la supersaturación es baja con una reducida velocidad de nucleación y son necesarios tiempos más largos para que ocurra la precipi-

Figura 8: Curvas de relajación de tensiones con  $\epsilon = 0,05$  y  $\dot{\epsilon} = 0,1 \text{ s}^{-1}$  para a) Acero A-4 b) Acero M-4.



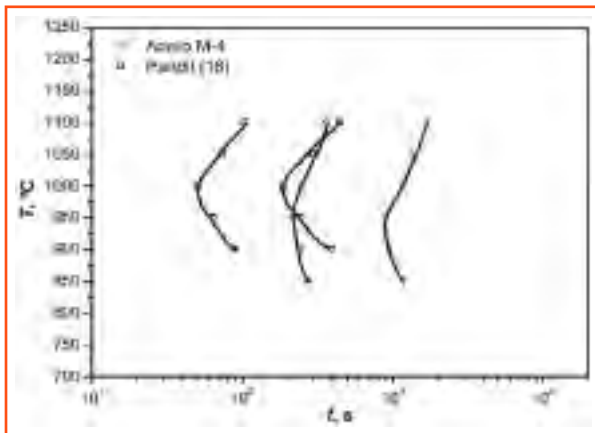


Figura 9: Curva de Tiempo-Temperatura-Precipitación (PTT).

tación. Pero por debajo de 950 °C, en donde aparece la nariz de la curva, la difusión de los elementos precipitadores es baja, provocando un incremento en los tiempos en que se inicia la precipitación.

En su estudio Park y col. [16] con composiciones semejantes a la actual y las mismas condiciones de ensayo, microaleando con Nb, llegaron a obtener una curva con cierta similitud pero con más rápida cinética de precipitación. Esto puede explicarse por el mayor contenido de microaleantes en la matriz, que representa un incremento de supersaturación del elemento aleante.

Otros investigadores, Pandit y col. [18] realizaron un estudio de la cinética de precipitación en un acero microaleado con Nb-V con similar composición química, y determinaron un comportamiento que se asemeja al de este trabajo, pero con condiciones de ensayo diferentes ( $\epsilon = 0,4$  y  $\epsilon = 0,1 \text{ s}^{-1}$ ). El comienzo de la precipitación ocurre en menor tiempo que para este estudio, lo que indica que la deformación y la velocidad de deformación tienen una influencia directa sobre la cinética de precipitación.

#### 4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se pudo comprobar que microadicionando Nb-V se llega a retrasar la cinética de recristalización dinámica, al tener que aplicar mayores deformaciones para que ocurra, observándose que el efecto en solución sólida logra retrasar la recristalización dinámica e incrementa la energía de deformación aparente drásticamente. Se demostró que existen dos mecanismos que logran retrasar la recristalización, uno por arrastre de soluto y el otro por la precipitación inducida por la deformación.

Por medio del método de relajación de tensiones se

determinó la cinética de precipitación del acero microaleado, permitiendo conocer la cinética de precipitación con la elaboración del diagrama PTT. El conocimiento de estos dos fenómenos y su interacción permitió establecer las mejores condiciones de conformado para lograr una fina microestructura.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los presentes autores agradecen la colaboración de S. Medina (CENIM-Madrid) al facilitar la fusión de los dos aceros. Asimismo G.V. y E.C. agradecen la concesión de sendas becas de investigación doctoral a la Generalitat de Catalunya y a la Universidad Politécnica de Catalunya, respectivamente. Los autores agradecen asimismo el apoyo del ministerio de Fomento a través del proyecto Ref 80032/A04 y al Ministerio de Ciencia e Innovación tecnología MAT2008-06793-C02-01.

#### 6. REFERENCIAS

- [1] K.P. Pao, Y.K.D.V. Prasad, E.B. Hawbolt. *Journal of Materials Processing Technology*, 1996; 56: pp 897-907.
- [2] J.G. Lenard, M. Tajima. *ISIJ International*, 1995; 35 (12): pp 1509-1517.
- [3] D. San Matín, F. G. Caballero, C. Capdevila, C. García. *Revista de Metalurgia*, 2006; 42 (2): pp 128-137.
- [4] R. Coladas, J. Masouna, G. Guerin, J.P. Bailon. *Metal Science*, 1977: pp 509-516.
- [5] L.J. Cuddy, J.C. Raley. *Metallurgical Transaction A*, 1983; 14A: pp 1989-1995.
- [6] F. Peñalba, C. Garcia-De.Andres, M. Carsi, F. Zapirain. *Journal of Material Science*, 1996; 31: 3847-3852.
- [7] C. Garcia-De.Andres, C. Capdevila, F. G. Caballero, D. San Matín. *Journal of Material Science*, 2001; 36: pp 3847-3852.
- [8] Z. Zhang, Y. Liu, X. Liang, Y. She. *Materials Science and Engineering A*, 2008; 474: pp 254-260.
- [9] B.M. Ueki, S. Horie, T. Nakamura. *Transactions ISIJ*, 1987; 27: pp 453-459.
- [10] W. Sun, Ch. Lu, A K. Tieu, Zh. Jiang. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002; 125-126: pp 72-76.
- [11] A.M. Elwazri, P. Wanjara, S. Yue. *Materials Science and Engineering A*, 2003; 339: pp 209-215.
- [12] A.Al. Omar, A. Chenaoui, R. Dkiouak, J.M. Cabrera, J.M. Prado. *Revista de Metalurgia*, 2006; 42 (2): pp 103-113.
- [13] F. Moontheillet, J.J. Jonas. *Encycl. Appl. Phys*, 1996; 19: pp 25-38.
- [14] W.J. Liu, J.J. Jonas. *Metallurgical Transaction A*, 1988; 19A: pp 1403-1413.
- [15] W.J. Liu, J.J. Jonas. *Metallurgical Transaction A*, 1988; 19A: pp 1415-1424.
- [16] S.H. Park, S. Yue, J.J. Jonas. *Metallurgical Transaction A*, 1992; 23A: pp 1641-1651.
- [17] B. Dutta, C.M. Sellars. *Materials Science Technologic*, 1987; 3: pp 381-389.
- [18] A. Pandit, A. Murugaiyan, A.S. Podder, A. Haldar, D. Bhattacharjee, S. Chandra, R.K. Ray. *Scripta Materialia*, 2005; 53: pp 1309-1314.

Ponencia presentada en el XII Congreso Tratermat (Octubre 2010). Publicada con la autorización expresa de la Dirección del Congreso y los autores.



**30 €**

206 páginas



**40 €**

316 páginas

Estos libros son el resultado de una serie de charlas impartidas al personal técnico y mandos de taller de un numeroso grupo de empresas metalúrgicas, particularmente, del sector auxiliar del automóvil. Otras han sido impartidas, también, a alumnos de escuelas de ingeniería y de formación profesional.

El propósito que nos ha guiado es el de contribuir a despertar un mayor interés por los temas que presentamos, permitiendo así la adquisición de unos conocimientos básicos y una visión de conjunto, clara y sencilla, necesarios para los que han de utilizar o han de tratar los aceros y aleaciones; no olvidándonos de aquéllos que sin participar en los procesos industriales están interesados, de una forma general, en el conocimiento de los materiales metálicos y de su tratamiento térmico.

No pretendemos haber sido originales al recoger y redactar los temas propuestos. Hemos aprovechado información procedente de las obras más importantes ya existentes; y, fundamentalmente, aportamos nuestra experiencia personal adquirida y acumulada durante largos años en la docencia y de una dilatada vida de trabajo en la industria metalúrgica en sus distintos sectores: aeronáutica –motores–, automoción, máquinas herramienta, tratamientos térmicos y, en especial, en el de aceros finos de construcción mecánica y de ingeniería. Por tanto, la única justifi-

cación de este libro radica en los temas particulares que trata, su ordenación y la manera en que se exponen.

El segundo volumen describe, de una manera práctica, clara, concisa y amena el estado del arte en todo lo que concierne a los aceros finos de construcción mecánica y a los aceros inoxidable, su utilización y sus tratamientos térmicos. Tanto los que han de utilizar como los que han de tratar estos grupos de aceros, encontrarán en este segundo volumen los conocimientos básicos y necesarios para acertar en la elección del acero y el tratamiento térmico más adecuados a sus fines. También es recomendable para aquéllos que, sin participar en los procesos industriales, están interesados de un modo general, en el conocimiento de los aceros finos y su tratamiento térmico.

El segundo volumen está dividido en dos partes. En la primera que consta de 9 capítulos se examinan los aceros de construcción al carbono y aleados, los aceros de cementación y nitruración, los aceros para muelles, los de fácil maquinabilidad y de maquinabilidad mejorada, los microaleados, los aceros para deformación y extrusión en frío y los aceros para rodamientos. Los tres capítulos de la segunda parte están dedicados a los aceros inoxidables, haciendo hincapié en su comportamiento frente a la corrosión, y a los aceros maraging.

Puede ver el contenido de los libros y el índice en [www.pedeca.es](http://www.pedeca.es)  
o solicite más información a:

Teléf.: 917 817 776 - E-mail: [pedeca@pedeca.es](mailto:pedeca@pedeca.es)

# Algunas consideraciones sobre la nitrocarburation ferrítica gaseosa

Por Manuel Antonio Martínez Baena y José María Palacios Reparaz (†)

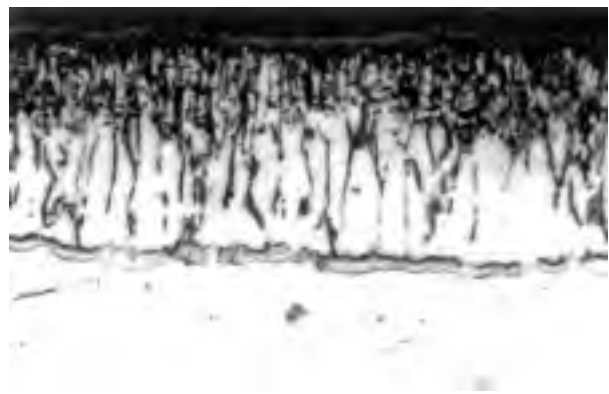
## 1. Introducción

La **nitrocarburation ferrítica gaseosa** es un tratamiento termoquímico que implica la difusión tanto del nitrógeno como del carbono en la superficie de los materiales férricos –aceros y fundiciones– a unas temperaturas dentro del campo ferrítico. Su objetivo principal es el de incrementar la dureza superficial, la resistencia a la corrosión, y la resistencia al desgaste de las piezas nitrocarbureadas; mejorando, al mismo tiempo, su características tribológicas y de resistencia a la fatiga.

Utilizando una adecuada atmósfera nitrocarbureante, calentada a una temperatura de tratamiento aproximada de 570 °C y un tiempo que oscila entre 1 y 3 horas, se origina en la superficie de las piezas correspondientes una capa periférica muy delgada, denominada **capa de combinación**, –**capa blanca**– que está formada por carbonitruros **épsilon**  $\epsilon$  ( $\text{Fe}_2\text{-}_3\text{CN}$ ), de estructura hexagonal compacto (**hc**), y de muy alta dureza [ $1.200 \div 1.500$  HV]. Su espesor varía normalmente entre 0,005 y 0,025 mm.

A continuación de la capa de combinación, denominada también **capa de compuestos**, subyace la llamada capa de difusión o **zona de difusión**, donde el nitrógeno se disuelve en solución sólida, en el caso de un enfriamiento rápido de las piezas nitrurantes en aceite, o bien se precipita formando agujas de carbonitruro **gamma prima**  $\gamma'$  ( $\text{Fe}_4\text{-CN}$ ), –*de estructura cúbica de caras centradas (ccc)*– cuando se trata de enfriamientos lentos; **figura 1**. La profundidad de esta zona suele ser, aproximadamente, de 1 mm.

El tratamiento termoquímico de nitrocarburation



**Figura 1.** Micrografía de una superficie nitrocarbureada en una atmósfera mixta: amoníaco/gas endotérmico. Acero con bajo carbono ( $\text{C} = 0,08\%$ ).

ferrítica fue introducido por primera vez a principio de los años 50 del siglo pasado. A partir de entonces una extensa variedad de piezas y componentes técnicos: brazo-robot espaciador, equipos de maquinaria textil, bombas hidráulicas, etc, han sufrido un proceso de nitrocarburation para resistir el desgaste en servicio. En tanto que otros componentes, como pueden ser cigüeñales y/o piezas similares, han sido nitrocarbureados para mejorar la fatiga.

Hasta finales de los años 60, los únicos procesos de nitrocarburation utilizados fueron los baños de sales líquidas\*; sales a base de cianuro que se funden

\* Los procesos TENIFER –patente de Degussa-Frankfurt/Main– son los más comúnmente utilizados dentro del contexto de marcas comerciales.

en crisol a una temperatura aproximada de 580 °C. Desde entonces se ha ido incrementando la preocupación sobre todos los aspectos, referidos a los procesos termoquímicos con sales de cianuro. Consecuentemente ha habido un marcado interés en el desarrollo del grupo cianuro (CN), como alternativa técnica y económicamente viable a los tratamientos que tienen por base las sales de cianuro.

A lo largo de estos últimos 40 años se ha alcanzado un progreso considerable, en la nitrocarburation en baños de sales. Sin embargo nuestro propósito, en este trabajo, es sólo hacer hincapié principalmente sobre los tratamientos termoquímicos de **nitrocarburation ferrítica gaseosa** que permite aplicaciones que en otros medios –gas amoníaco, sales, plasma, etc.– no son posibles, o bien dan resultados inferiores.

Los tratamientos termoquímicos de nitrocarburation ferrítica gaseosa han sido aplicados con éxito en la mayoría de los materiales férricos; incluyendo aceros sinterizados, aceros aleados y aceros inoxidables. Aunque las mejoras más significativas, en cuanto a desgaste y resistencia a la fatiga se refiere, las encontramos en los aceros al carbono –de medio y bajo carbono– y en los aceros de baja aleación.

## 2. Nitrocarburation ferrítica gaseosa

Como describimos en la introducción, la nitrocarburation ferrítica implica la introducción y difusión de carbono y nitrógeno en el acero para producir una película delgada de carbonitruros de hierro, formada por una **capa de combinación** o **capa blanca** + una capa o **zona de difusión** subyacente a la primera, que contiene nitruros aleados y nitruros de hierro. La capa blanca, capa de combinación, incrementa la resistencia al desgaste y resistencia a la erosión. La zona de difusión aumenta muy mucho el límite de fatiga, especialmente, en los aceros de medio y bajo carbono, y también en los aceros de baja aleación.

La capa de combinación puede contener cantidades variables de fase gamma prima ( $\gamma'$ ), de fase épsilon ( $\epsilon$ ) y de cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), así como de una serie de nitruros y carbonitruros aleados. La composición exacta de los nitruros y carbonitruros es función de los elementos de aleación del acero que se nitrocarbura junto, también, con la composición de la atmósfera utilizada.

La nitrocarburation ferrítica gaseosa se realiza, al igual que la nitrocarburation en sales, a una tem-

peratura próxima a 570 °C. Temperatura que está obviamente por debajo del punto  $A_1$ , en el campo de solución sólida del carbono (C) en hierro alfa ( $\text{Fe } \alpha$ ) del sistema hierro-carbono (**Fe-C**). Los tiempos de tratamiento oscilan entre 1 a 3 horas. El proceso se realiza sobre un control estricto del potencial de nitrógeno a través de un sistema muy preciso y complejo que regula, a tiempo real, todas las variables del ciclo de tratamiento: temperatura, presión, mediciones del gas de entrada y de salida, composición química de la atmósfera, etc.

El tratamiento térmico preliminar de las piezas a nitrocarburar en gas, es el de bonificado; es decir: temple + revenido a alta temperatura. La temperatura de revenido de estar por encima de la de nitrocarburation unos cuantos grados, [25 ÷ 30 °C] para evitar las alteraciones principales durante el proceso de nitrocarburation.

## 3. Propiedades físico-metalúrgicas de la nitrocarburation ferrítica gaseosa

Un estudio muy importante y detallado de la interpretación científica del proceso de nitrocarburation fue publicado por B. Prenosil en año 1965. Investigó la estructura y composición de la capa formada sobre hierro puro, obtenida por nitrocarburation gaseosa a 580 °C en una atmósfera mixta, con contenidos aproximados del 50 por 100 de amoníaco ( $\text{NH}_3 \approx 50\%$ ) y 50 por 100 de propano ( $\text{C}_3\text{H}_8 \approx 50\%$ ).

En la investigación, Prenosil comprobó que el contenido alto de carbono, –en lo que actualmente denominamos *capa de combinación con nitruros de hierro épsilon* ( $\epsilon$ )– mejora considerablemente la dureza y la resistencia al desgaste de las superficies nitrocarbura- das. Tales observaciones han sido contrastadas, a lo largo del tiempo, con estudios exhaustivos realizados sobre la estructura de capas nitrocarbura- das.

Otro estudio de la nitrocarburation gaseosa, T. Bell, llegó a la conclusión de que el oxígeno se debía incrementar en la escala de formación de nitrocarburos épsilon ( $\epsilon$ ). Las capas obtenidas se evaluaron, rigurosamente, nitrocarbura- do una serie de aceros comerciales de bajo carbono en atmósferas activadas de nitrógeno, oxígeno y carbono; nitrocarburation en la que se lograba la tan deseada capa monofásica, con oxígeno, formada especialmente de nitrocarburos épsilon ( $\epsilon$ ).

La consideración básica que hay detrás de todo proceso de nitrocarburation gaseosa es, en esencia, el tipo de atmósfera a utilizar, para conseguir

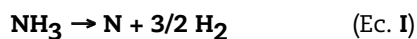
| Mezcla adicional de gas  | Composición quasiequilibrio, vol % |                |      |                  |                 |                 |       | ACTIVIDAD (a)  |                |                |
|--|------------------------------------|----------------|------|------------------|-----------------|-----------------|-------|----------------|----------------|----------------|
|  | N <sub>2</sub>                     | H <sub>2</sub> | CO   | H <sub>2</sub> O | CO <sub>2</sub> | NH <sub>3</sub> | HCN   | a <sub>N</sub> | a <sub>C</sub> | a <sub>O</sub> |
| 50% endogas<br>50% NH <sub>3</sub>                             | 24,10                              | 25,90          | 9,00 | 0,76             | 0,68            | 38,40           | 1,16  | 1620           | 22,40          | 0,072          |
| 40% endogas<br>10% N <sub>2</sub><br>50% NH <sub>3</sub>       | 29,20                              | 24,30          | 6,70 | 2,48             | 1,77            | 35,40           | 0,244 | 1650           | 4,81           | 0,20           |
| 5% CO <sub>2</sub><br>6% N <sub>2</sub><br>35% NH <sub>3</sub> | 58,80                              | 15,50          | 2,90 | 2,98             | 1,45            | 18,40           | 0,045 | 1680           | 1,09           | 0,49           |
| 5% CO <sub>2</sub><br>5% N <sub>2</sub><br>55% NH <sub>3</sub> | 54,40                              | 15,90          | 6,40 | 2,22             | 2,31            | 18,60           | 0,035 | 1640           | 3,32           | 0,34           |

Tabla I. Composición de quasi equilibrio de una serie de atmósferas industriales que se utilizan en nitrocarburoción (SLICKE).

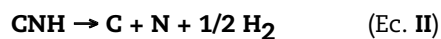
que el carbono y el nitrógeno de la misma se difundan simultáneamente en la superficie de las piezas; y, así, lograr fases monofásicas de nitrocarburos épsilon (ε). La fase monofásica de nitrocarburos épsilon (ε) tienen una importancia fundamental, ya que su presencia en la capa de difusión evita toda fragilidad; a la vez que impide la difusión progresiva de gamma prima (γ') en la superficie de las piezas nitrocarburoadas, con lo cual se asegura también una perfecta cohesión **capa-sustrato**.

Las composiciones y la actividad de una larga serie de atmósferas industriales, todas ellas típicas atmósferas en quasi equilibrio, utilizadas en nitrocarburoción ferrítica gaseosa se encuentran en la **Tabla 1**. Están basadas en datos derivados de material no publicado de un modelo matemático realizado por J. Slycke.

El amoníaco (NH<sub>3</sub>), que es la fuente más accesible de nitrógeno activo, a una temperatura aproximada de 570 °C, se difunde en las superficies de las piezas a nitrocarburoar de acuerdo a la siguiente reacción:



Están presentes, también, combinaciones de **cianuro-nitrógeno- hidrógeno**, como resultado de la interacción del amoníaco (NH<sub>3</sub>) con el monóxido de carbono (CO); y, con el único fin, de suministrar nitrógeno en paralelo a la reacción de la (Ec. I):



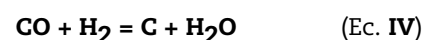
La reacción de la (Ec. II), es considerada, normalmente, como la principal fuente básica para la

transmisión del nitrógeno durante el rápido desarrollo de la capa de combinación. Reacción en la cual se puede observar que... "por cada átomo de nitrógeno transferido, se transfiere otro de carbono". Consecuencia ésta que conduce a una acumulación progresiva de carbono en la capa de combinación y que, eventualmente, conduce también a la formación de cementita; *-muy perjudicial-* no ocurriendo lo mismo cuando el carbono se reduce, tal es el caso de la reacción de descarburoción.



Los contenidos de carbono y otros constituyentes oxigenados de la atmósfera nitrocarburoante dependen de la reacción reversible **agua-gas**. La presencia de monóxido de carbono (CO) en la reacción (Ec. III), es de especial importancia para el logro de una atmósfera suficientemente alta en carbono activo; y cuando es preciso utilizar, también, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como catalizador en la reacción **gas-sólido**.

Si la atmósfera está compuesta de amoníaco (NH<sub>3</sub>) y una mezcla endógena con alto contenido de monóxido de carbono (CO), la actividad del carbono es relativamente alta; y, la reacción dominante será la de carburoción a una temperatura isotérmica de 570 °C.



La presencia del carbono durante la nitrocarburoación estabiliza la fase épsilon (ε); circunstancia que origina una actividad mucho más baja del nitrógeno; más, que con la ausencia total del carbono.



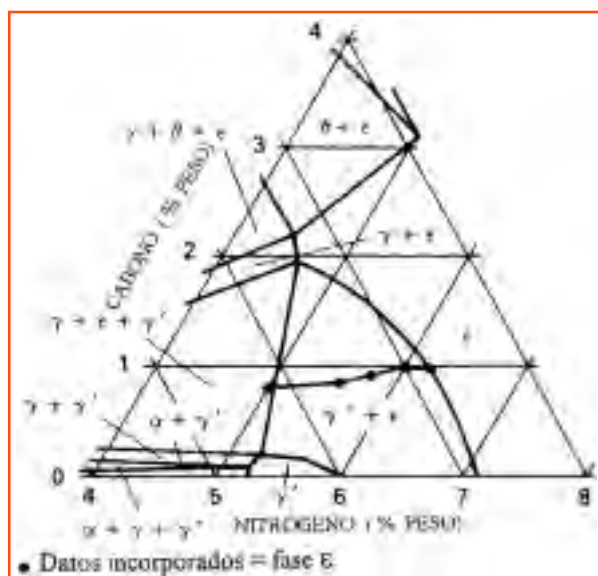
En la **tabla I** se puede observar que la actividad del carbono en una mezcla endogas-amoniaco es, marcadamente mayor frente a las atmósferas base-nitrógeno. Sin embargo, las atmósferas base-endogas se pueden reducir, si es preciso, con la adición de aire.

La presencia del oxígeno está reconocido como un componente constitutivo de la atmósfera, cuando se desea, como resultado final, una nitrocarburation de buena calidad; es decir, la obtención de capas monofásicas épsilon ( $\epsilon$ ). Particularidad ésta que ha sido enfatizada por J. Slycke y L. Sproge en sus trabajos sobre las reacciones cianuro-hidrógeno (Ec. II).

### 3.1. Formación de la capa de combinación

Tradicionalmente se ha aceptado que el rango de la disolución del carbono y del nitrógeno, para la obtención de la fase épsilon ( $\epsilon$ ) –estable en la capa nitrocarburation– puede ser deducido del del diagrama hierro-carbono-nitrógeno [**Fe-C-N**] publicado por F. K. Nauman y G. Langenscheid en año 1965; **figura 2**. Sin embargo en año 1983 A. Wells y T. Bell, demostraron que la fase épsilon ( $\epsilon$ ) puede tener contenidos intersticiales más bajos que los caracterizados en el diagrama **Fe-C-N**, antes mencionado.

No se sabe con certeza cuánto y cómo la presencia del oxígeno, dentro de la fase épsilon ( $\epsilon$ ), influye en resultado final; pero los investigadores Z. Xu y L. Li,



**Figura 2.** Diagrama **Fe-C-N** [Naumann y Langenscheid] que caracteriza el nivel de disolución del carbono y la formación de la fase  $\epsilon$ .

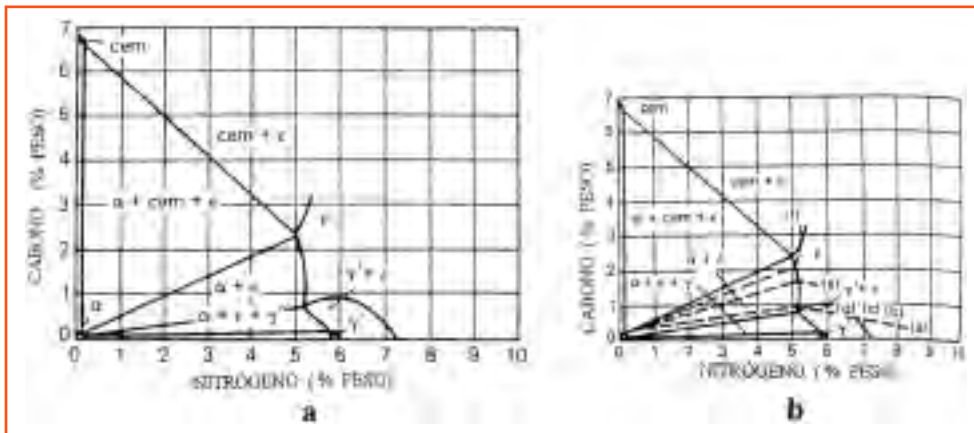
han expresado la opinión de que una reducción parcial en la presión del oxígeno cambiaría, considerablemente, los límites de la región épsilon ( $\epsilon$ ) del diagrama **Fe-C-N**. Sin embargo está claro que la estructura de la capa de combinación, resultante de una correcta nitrocarburation, no ha de ser un tema necesariamente enfatizado; cuando se hace referencia a la versión del diagrama de fases publicado por Naumann y Langenscheid.

En los últimos 20 años del siglo XX, ya hubo un considerable interés en la reconsideración del referido sistema ternario **Fe-C-N**. En el año 1987, Z. Xu y L. Li demostraron, por medio de cálculos termodinámicos, que la región gamma prima ( $\gamma'$ ) del diagrama de fases **Fe-C-N** de Naumann y Langenscheid, era correcta; pero que la región épsilon ( $\epsilon$ ) del mismo, requería una revisión profunda. Sus cálculos evidenciaron, no obstante, que la mayoría de los experiencias realizadas por Wells y Bell eran razonables y acertadas.

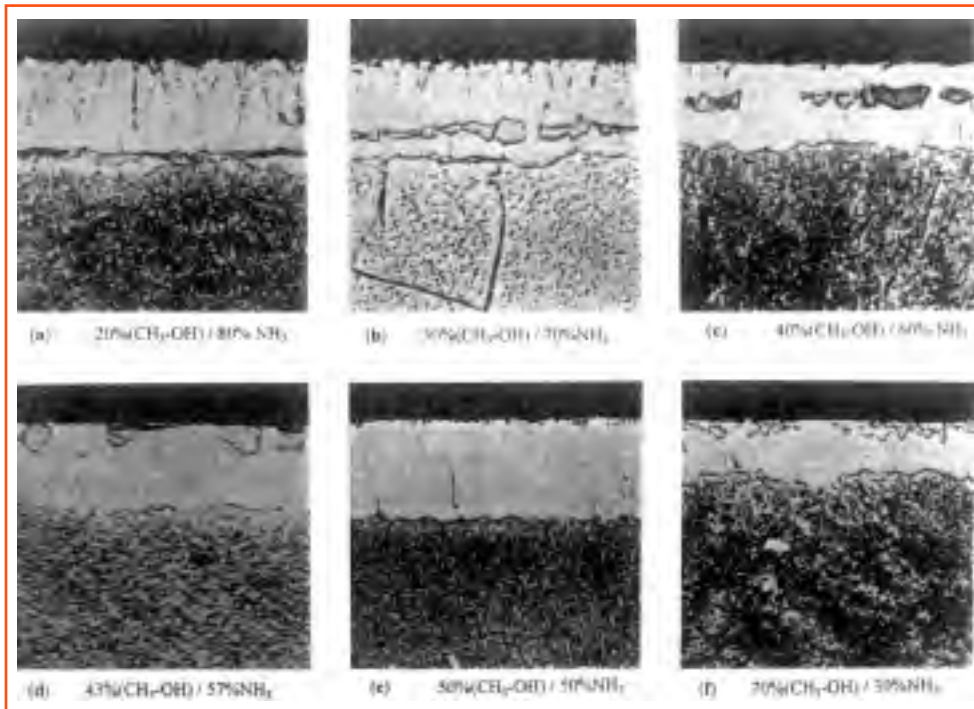
Trabajos posteriores, con abundantes datos experimentales, están en desacuerdo con el diagrama de Naumann y Langenscheid; trabajos que coinciden con la existencia, asimismo, de fases alfa + épsilon + cementita [ $\alpha + \epsilon + \text{Fe}_3\text{C}$ ] a una temperatura isotérmica aproximada de 570 °C; circunstancia que se ha podido demostrar mediante nuevos y numerosos estudios. Durante la nitruración se observó que la cementita de la perlita, en aceros de baja aleación, se transforma en carbonitruros épsilon ( $\epsilon$ ). De esta manera, en el campo de transformación fase alfa-épsilon-cementita, podían estar interrelacionadas unas fases con otras; poniendo en evidencia la existencia de un campo de tres fases [ $\alpha + \epsilon + \text{Fe}_3\text{C}$ ].

Basándose en los datos arriba indicados, Slycke propuso un nuevo diagrama **Fe-C-N**. Este diagrama, representado en la **figura 3**, permite la relación directa entre la fase ferrita ( $\alpha$ ) y la fase épsilon ( $\epsilon$ ). Su utilización elimina toda ambigüedad de interpretación sobre la estructura de la fase épsilon ( $\epsilon$ ); y, de su evolución bajo una larga variedad de condicionantes durante el proceso de nitrocarburation.

Como ejemplo del uso de las distintas fases del nuevo diagrama **Fe-C-N**, muy bien caracterizadas en la **figura 3 b**; consideramos la serie de micrografías de la **figura 4**, que muestran la capa de combinación de un hierro puro al 99,99% nitrocarburation. En el proceso de nitrocarburation se han utilizado 6 atmósferas, cada una de ellas con distinta rela-



**Figura 3.** Diagrama Fe-C-N [J. Slycke] relación directa entre la fase  $\alpha$  y la fase  $\epsilon$  en el plano isotérmico a 570/580 °C.



**Figura 4.** Micrografías de la capa de combinación de un material (Fe = 99,99%) nitrurado en una serie de atmósferas mixtas con distinta relación metanol/amoniaco (x 80).

ción amoníaco-metanol  $[(\text{NH}_3) / (\text{CH}_3\text{-OH})]$ . Del análisis realizado por difracción de Rayos X, queda demostrado que dichas capas están compuestas, predominantemente, de fase épsilon ( $\epsilon$ ) + hierro + carbonitruros.

La franja más oscura, que se observa en la capa de combinación, está formada por la fase gama prima ( $\gamma'$ ), compuesta de hierro + nitrógeno + carbono muy poco soluble **figura 4 (b)-(d)**. Cuando la relación metanol-amoniaco aumenta la posición microestructural de **gama prima** ( $\gamma'$ ), en la fase de carburación, se desplaza cada vez más hacia el sustrato acero.

En una atmósfera con proporciones de  $[(\text{CH}_3\text{-OH})$

$= (45 \div 60\%)]$  y de  $[\text{NH}_3 = (40 \div 55\%)]$  se obtiene una capa monofásica de carbonitruros épsilon ( $\epsilon$ ) libre del todo de fase gama prima ( $\gamma'$ ) y/o de cualquier constituyente secundario; **figura 4 (e)**. Las capas formadas en atmósferas con una proporción de metanol superior al 66 por 100  $[(\text{CH}_3\text{-OH}) > 66\%]$ , están representadas por la estructura de la capa de la **figura 4 (f)**. Son, por tanto, capas bifásicas  $[\epsilon + \gamma']$ .

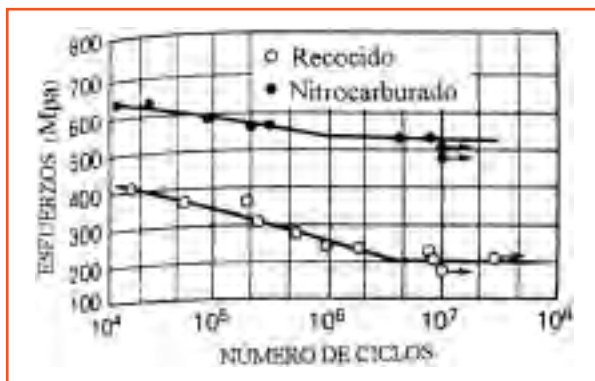
### 3.2. Características de la zona de difusión y propiedades de fatiga

Las características de la **zona de difusión** son, esencialmente, independientes del medio nitrocarbu-

rante utilizado. Durante el proceso de nitruración de aceros con bajo carbono y alta proporción de ferrita es, solamente, el nitrógeno el elemento que se difunde en esa zona determinada; –zona de difusión– ya que la ferrita se encuentra en concentración equilibrada con respecto al carbono.

A pesar de ello, puede existir una pequeña difusión, muy sutil, de carbono en las regiones de concentración de alto carbono presente en la capa de combinación. La ausencia de carbono de las capas nitrocarbурadas no tiene repercusión alguna sobre las características de fatiga, inherente a la zona de difusión.

En una solución sólida supersaturada se consigue retener la mayor parte del nitrógeno; y, con esta condición aumenta por igual, en el material nitrocarbурado: la dureza, la resistencia y, también, su límite de fatiga. En los aceros de bajo carbono nitrocarbурados que han sido sometidos, al final del ciclo nitrurante, a un enfriamiento rápido en aceite, el límite de fatiga se han incrementado, –tanto en el de flexión como en el de torsión– sin duda alguna, en un 120%. Sin embargo, con un enfriamiento lento del material dentro de la atmósfera del horno, “recocido”, disminuyen sustancialmente tales límites de fatiga; **figura 5**.



**Figura 5.** Curvas de fatiga de un acero bajo en carbono nitrocarbурado: (1) en estado de “recocido”; y (2) en estado “templado”.

#### 4. Desarrollo de la nitrocarbурación ferrítica gaseosa industrial. Algunas de las primeras marcas comerciales

En el año 1961, antes de que hubiese disponibilidad de análisis químicos detallados de los componentes estructurales de las capas obtenidas en los aceros nitrocarbурados en baños de sales, una patente fue solicitada por Joseph **Lucas** [Industries]

Ltd. (Reino Unido) para un tipo de nitrocarbурación gaseosa. El proceso muy utilizado en pequeñas piezas y otros componentes, especialmente, de la industria del automóvil. El proceso se realiza sobre aceros de bajo carbono y en aceros poco aleados; y, se obtiene una capa porosa a la cual se le adjudica propiedades antifricción.

La patente completa, cuando fue publicada, revelaba que la atmósfera gaseosa estaba constituida de amoníaco, de hidrocarburos y otro gas portador de carbono, en proporciones no especificadas. La temperatura de nitrocarbурación debía estar comprendida entre 450 y 590 °C.

Hasta esa época no se había publicado, todavía, ningún trabajo detallado sobre las mejoras logradas en las propiedades de las capas; y, cuáles eran los componentes estructurales responsables de esas mejoras de la superficie endurecida. Durante los años 60 se hicieron investigaciones en todo el mundo industrializado, sobre una larga serie de procesos y de atmósferas para la nitrocarbурación gaseosa; que más tarde fueron propuestas, y muchas de ellas se aplicaron con más o menos éxito: trianolamina, amoníaco-queroseno, isopropanol-agua-urea-amoníaco, etc.

Sin embargo, sólo fue a principios de los años 70 en los que la nitrocarbурación gaseosa recibió la atención seria de la industria en general, con la introducción de una variedad de técnicas fundamentadas, esencialmente, en base a los gases.

El proceso **Nitemper\***, unas de las técnicas de nitrocarbурación gaseosa más característica de los años 70, se realiza en hornos sellados de temple y en un atmósfera que contiene un 50% de amoníaco y un 50% de endogas. La temperatura del tratamiento es de 570 °C y el tiempo de permanencia a esta temperatura es normalmente de 1 a 3 horas. Acabado este ciclo, las piezas se enfrían energicamente bajo un gas protector.

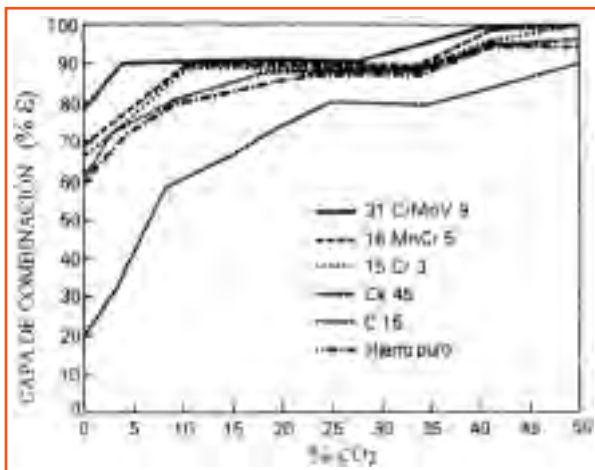
En el año 1975, el proceso Nitemper ya tenía varios años de aplicación; y, los hornos construidos operaban en Alemania, Suecia, Estados Unidos, Japón y el Reino Unido. El fin principal del proceso Nitemper es la obtención de capas nitrocarbурadas que mejoraran la resistencia al desgaste, así como el límite de fatiga de las piezas correspondientes.

El proceso Nitemper es ahora utilizado extensiva-

\* Patente IPSEN.

mente en todo el mundo; y, se está en continua investigación de la mejora del proceso; que implica el uso de nuevas atmósferas con niveles de altos contenidos de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), como paso inicial para originar una formación rápida de la **capa de combinación**.

La influencia de agregados de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a la atmósfera de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), principio básico para la nitrocarburation en condiciones industriales, ha sido investigado por W. Vogel, en una amplia serie de aceros aleados. Vogel demostró que la proporción de la fase épsilon ( $\epsilon$ ), en la capa de combinación, se aumenta con el incremento del contenido de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). En atmósfera de amoníaco, con contenidos altos de dióxido de carbono, la formación de la fase épsilon ( $\epsilon$ ) en los aceros aleados es muy rápida; lo contrario que ocurre cuando, en dicha atmósfera, se nitrocarbura el hierro puro y/o aceros de bajo carbono; **figura 6**.



**Figura 6.** Influencia del  $\text{CO}_2$  en el contenido de nitrocarburos  $\epsilon$  de la capa de combinación, de varios aceros de distinta composición, nitrocarburos en una atmósfera de amoníaco.

En el proceso Nitemper modificado; se aprovecha un atmósfera con alto contenido de monóxido ( $\text{CO}_2$ ), que es utilizado, como se sabe, para aumentar la resistencia al desgaste de la capa de combinación. El nuevo desarrollo implica, en esencia, la combinación de la técnica Nitemper con el proceso **Nitroc**, que utiliza gas exotérmico –no purificado– como medio de carburación.

El proceso **Alnat-N** es otro tratamiento termoquímico de nitrocarburation, por medio del cual el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) es incorporado a la atmósfera

del horno para incrementar, con la presencia indirecta del oxígeno, la cantidad de nitrocarburos ( $\epsilon$ ) de la capa de combinación. Otra característica fundamental del proceso **Alnat-N**; es que no es necesaria la incorporación del gas carburante en la mezcla base [compuesta de amoníaco-óxido nitroso-nitrógeno].

#### 4.1. Dificultades en el control de las atmósferas nitrocarburentes

Una posible limitación en el desarrollo de los procesos de nitrocarburation gaseosa, a mediados de los años 70 del siglo pasado; fue el no poder asegurar y determinar del todo, las condiciones más óptimas del este tratamiento termoquímico en ciertas calidades de aceros y de fundiciones, incluyendo a los aceros de herramientas y a los aceros inoxidables.

Otra imposibilidad quizás, y de más seria limitación, fue la incertidumbre de conseguir una perfecta repetibilidad del proceso, que podría ser desvirtuada con cargas variables de hornada a hornada. Esta dificultad ya estaba, en parte, superada con la utilización –para un correcto análisis de gases de las atmósferas nitrocarburentes– de monitores de infrarrojos, modelos físico-matemáticos, etc..

Sin embargo los análisis, en aquel tiempo, de los gases de atmósferas con contenidos de amoníaco y dióxido de carbono eran problemáticos, en cuanto se les relacionaba con zonas puntuales de humedad que, normal y potencialmente, estaban presentes en los hornos de nitrocarburation de aquella época.

Debido a las limitaciones de los sistemas de infrarrojos para el control del gas de las atmósferas de nitrocarburation; la atención fue enfocada hacia el desarrollo de sensores de gas, mediante electrolitos sólidos, para medir y controlar los potenciales de nitrógeno y de oxígeno en las atmósferas nitrogenadas y nitrocarbureadas. Instrumentos que son, en principio, similares a aquéllos que son ampliamente utilizados para el control potencial de carbono en atmósferas carburantes: cementación.

#### 5. Nitrocarburation Negra

Los tratamientos oxidantes por nitrocarburation han sido básicamente utilizados industrialmente desde el año 1976 para aumentar las propiedades

estéticas, en particular, de los componentes de automóviles y de la industria hidráulica.

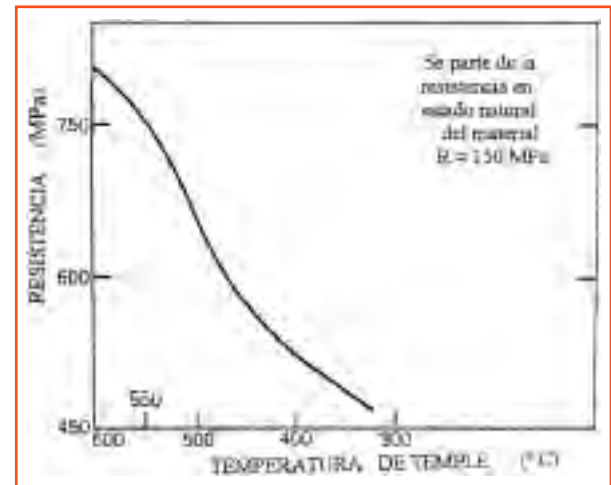
En el año 1982, C. Dawes y D. F. Tranter demostraron que los tratamientos de **nitrocarburation negra**, incluyendo nitrocarburation gaseosa propiamente dicha, podía ser utilizado en forma combinada para aumentar la resistencia a la fatiga, al desgaste, y a la corrosión en los aceros bajos en carbono: aceros suaves. Demostraron que estas características se podían lograr, diseñando de forma específica, con un margen de costo efectivo en el uso industrial. Así se trataron los componentes electrónicos "oxidados en negro" que resultaron estéticamente agradables y aplicados en abundancia en la industria del automóvil.

Se ha logrado un gran éxito, particularmente, en aceros de carbono ultra bajo, desgasificados al vacío: aceros microaleados. Materiales que han sido estabilizados con adiciones de niobio y/o con titanio; y, con los que, normalmente, se fabrican la mayoría de componentes que, para su puesta en forma, tengan que ser conformados mediante operaciones de estampado por deformación plástica en frío y en un solo golpe.

Tales aceros son de baja muy resistencia [ $R \leq 155 \text{ N/mm}^2$ ] en estado natural, y con valores de alargamiento superiores al 45% [ $A \geq 45\%$ ]; que se nitrocarburan fundamentalmente para optimizar sus características mecánicas. Un enfriamiento de "temple" efectuado a una baja temperatura de nitrocarburation, -finalizado el ciclo nitrocarburation- facilita la precipitación de nitruros en la capa y, al mismo tiempo, la pérdida de resistencia. Para aumentar la resistencia es necesario que la temperatura de nitrocarburation no sea inferior a los 550 °C; y, finalizado el ciclo nitrocarburation, es preciso realizar un "temple" rápido en agua o en aceite; **figura 7**.

Otra característica esencial del "temple", es la mínima distorsión que sufre el material durante el enfriamiento, al final del ciclo de nitrocarburation; máxime cuando hay un perfecto control de la temperatura del baño refrigerante: (1) temperatura del baño de agua  $\leq 25 \text{ °C}$ ; y (2) temperatura del baño de aceite  $\leq 80 \text{ °C}$ . El tiempo total del ciclo requerido de nitrocarburation + "temple", será el suficiente para producir una aceptable y estética película negra  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , -mezcla de óxido férrico/ferroso- con espesores próximos a una micra ( $\mu\text{m} \approx 1$ ).

Una alternativa a la nitrocarburation en negro es



**Figura 7.** Influencia de la temperatura de "temple" de un acero de bajo carbono ( $C = 0,08\%$ ), finalizado su ciclo de nitrocarburation a 570 °C, y de la intensidad de enfriamiento en agua o en aceite.

el proceso **Ashland Nitro Black**. Patente que utiliza una tecnología a base de gases fluidizados [ $\text{N}_2$ ;  $\text{CH}_4$ ;  $\text{NH}_3$ ;  $\text{CO}_2$ ]. La atmósfera de nitrocarburation está constituida por una mezcla de amoníaco, gas natural y nitrógeno. Una vez finalizado el tratamiento, la mezcla fluidizada es purgada con nitrógeno durante dos minutos antes del paso a la oxidación.

En esa fase oxidante, el vapor y el aire son inyectados mediante un sistema integral de serpentín para impartir una finísima lámina de óxido ferroso ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) sobre la superficie de las piezas correspondientes; siguiendo, después, un recubrimiento por emulsión en una solución de polímeros.

## BIBLIOGRAFÍA

- F. K. Naumann y G. Langenscheid: A Contribution to the Iron-Nitrogen-Carbon System, *Archiv. Eisenhüttenwes.*, Vol 36 Sept 1965.
- Tom Bell y S. Y. Lee: Gaseous Atmospheric Nitrocarburing, *Heat Treatment* 73, Book No. 163, The Metals Society, London 1975.
- A. Well y Tom Bell: Structural Control of the Compound Layers Formed during Ferritic Nitrocarburing Methanol/Amonia Atmospheres, *Heat Treat.*, Vol 10 (No. 2), 1983.
- J. Slycke, L. Sproge y J. Agren: Nitrocarburing and the Ternary Fe-C-N Phase Diagram, *Scand. J. Met.*, Vol 17, 1988.
- W. Vogel: Influence of Atmosphere Composition in Nitrocarburing on the Structure of the Compound Layers, *Heat Treatment and Surface Engineering—New Technology and Practical Applications*, G. Krauss, Ed., ASM International, 1988.
- Tom Bell: Gaseous and Plasma Nitrocarburing, *ASM Handbook, Heat Treating Vol 4*, 1990.

# Nitruración por plasma de aceros inoxidables. Limitaciones en procesos industriales y optimización microestructural

Por P. Corengia<sup>(1)</sup>, E. De Las Heras<sup>(2)</sup>, D. Egidi<sup>(2)</sup>, A. García-Luis<sup>(1)</sup>, M. Brizuela<sup>(1)</sup>

(1) INASMET-Tecnalia.

(2) Grupo de Biomateriales, Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

## RESUMEN

Los aceros inoxidables son empleados en diversas aplicaciones industriales, principalmente debido a su excelente resistencia frente a la corrosión; sin embargo, su baja resistencia mecánica y pobre comportamiento tribológico, limitan su utilización en muchas aplicaciones. En este trabajo, muestras de acero inoxidable AISI 316L y AISI 410 fueron nitruradas en una descarga DC-pulsada en un reactor industrial empleando una mezcla de gases de 25% N<sub>2</sub> + 75% H<sub>2</sub>. Las muestras de acero inoxidable AISI 410 fueron nitruradas a tres temperaturas diferentes: 623, 673 y 773 °K, mientras que las muestras de acero AISI 316L fueron tratadas a 673 °K.

Se estudió la influencia de las condiciones de proceso en las características microestructurales y microdureza en ambos aceros nitrurados. Asimismo, se realizó un breve análisis de algunas limitaciones existentes al tratar estos materiales en reactores industriales.

Las muestras nitruradas fueron estudiadas mediante microscopía óptica, electrónica de barrido, difracción de rayos X y microdureza.

Todas las muestras nitruradas presentaron una dureza superficial superior a 1.000 HV.

Las muestras de acero inoxidable AISI 410 nitrurada a 623 °K exhibieron una fase denominada "ferrita expandida" ( $\alpha_N$ ), y una incipiente precipitación de nitruros de Fe<sub>4</sub>N. Las muestras tratadas a temperaturas superiores a 673 °K fueron caracteriza-

das por la presencia de dos frentes, denominados frente de difusión y frente de transformación; este último produjo un emblandecimiento de la capa nitrurada.

Por otro lado, la nitruración por plasma del acero AISI 316L produjo una capa sobresaturada en nitrógeno ( $\gamma_N$ ), que puede ser descrita como una estructura triclinica con una distorsión de 11%, caracterizada por alta dureza y buena resistencia a la corrosión.

## 1. INTRODUCCIÓN

La tecnología de materiales ha experimentado sensibles avances en los últimos años, especialmente en lo que se refiere a materiales tratados en su superficie con propiedades específicas y adecuadas a usos muy concretos y a sollicitaciones variadas [1].

Debido a las crecientes exigencias productivas, los materiales deben trabajar en condiciones cada vez más severas, lo que conduce a la degradación de los mismos por desgaste, corrosión, fatiga, etc. con mayor rapidez, si no son seleccionados y modificados adecuadamente mediante tratamientos de superficie [2]. Es por esto que la importancia del estado de la superficie respecto a las condiciones de trabajo, ha impulsado notablemente el desarrollo de nuevas tecnologías de tratamiento de superficie, que en buena medida están desplazando a los tratamientos convencionales [3].

Entre ellos, los tratamientos de nitruración iónica [4,5] (plasma nitriding) y los recubrimientos por

PVD [3] (Physical Vapour Deposition) son los que han tenido el mayor desarrollo. Las razones de esta preferencia se basan en las ventajas que presentan con respecto a las tecnologías convencionales [3], ya que no sólo producen una combinación eficaz de propiedades metalúrgicas, sino que también son una tecnología limpia que no degrada el medio ambiente [6], reduce los costos de producción y mejora la productividad.

La nitruración iónica es un conocido tratamiento termoquímico que mejora la resistencia al desgaste, fatiga, y en algunos casos resistencia a la corrosión de aceros, fundiciones, titanio, etc. Estas características junto a su relativo bajo costo, hace que sea un tratamiento de gran empleo industrial [7].

Las características de superficie de los aceros nitrurados varían, según el tipo y contenido de elementos aleantes que posean y las condiciones de proceso empleadas.

Entre los elementos de aleación que contienen los aceros, el cromo es frecuentemente usado en aceros para nitruración, debido a su afinidad con el nitrógeno. Dentro de las aleaciones de alto contenido de cromo, los aceros inoxidable tienen un especial interés. Estos aceros, conocidos por su resistencia a la corrosión, debido a la capa superficial de óxido que los mismos poseen, limitan su utilización en varias e importantes aplicaciones industriales debido a su baja dureza y resistencia al desgaste.

Existe una extensa bibliografía científico-tecnológica acerca de la aplicación del tratamiento termoquímico de nitruración en aceros inoxidable, particularmente aceros del tipo austenítico, con el objeto de incrementar la resistencia al desgaste y la dureza superficial, así como disminuir el coeficiente de fricción, entre otros [8,9].

Diversas investigaciones muestran que la nitruración de estos aceros, si bien mejora sustancialmente la resistencia al desgaste, es usualmente caracterizada por la precipitación de nitruros de cromo en la capa nitrurada, esto lleva a una disminución en el contenido de cromo en la matriz, lo cual provoca una reducción en la resistencia a la corrosión de la capa nitrurada [10].

Se realizaron diversos intentos en los últimos años para superar este inconveniente en aceros inoxidable austeníticos. L. Zhang [11] y R. Wei [12] desarrollaron tratamientos de nitruración asistidos por plasma a bajas temperaturas (menores a 723

°K), mientras que los tratamientos convencionales de nitruración gaseosa o en sales son realizados a aproximadamente a 843 °K.

Por otro lado, los investigadores K. Ichii [13], P. A. Dearnley [14] y Y. Sun [15], han observado que la nitruración por plasma a bajas temperaturas puede producir una pequeña capa de extremadamente alta dureza con excelente resistencia a la corrosión. Dichos investigadores observaron estructuras de austenita expandida ( $\gamma_N$ ), como resultado de la sobresaturación de nitrógeno en la austenita. De esta forma, los aceros inoxidable de tipo austenítico poseen una excelente performance después del nitrurado por plasma.

La dificultad de obtener una capa continua, uniforme, de alta dureza y con adecuado comportamiento frente a la corrosión, es aún mayor cuando se pretenden nitrurar aceros inoxidable del tipo martensítico. En este material en particular se han realizado relativamente pocos estudios, a pesar de su gran importancia en la industria del petróleo, gas y alimentación [17,18]. Al nitrurar los aceros inoxidable martensíticos se debe tener especial atención en las condiciones de nitruración a emplear, ya que los mismos tienen un contenido de cromo que los ubica en el límite de inoxidable y cualquier precipitación de nitruros de cromo los volvería "oxidables". Además, estos aceros tienen una estructura martensítica, la cual posee menor solubilidad de nitrógeno, en comparación con los aceros de tipo austenítico para formar una solución sólida sobresaturada de N, análoga a la obtenida en los aceros inoxidable austeníticos.

Además de la limitación debida a la precipitación de nitruros de cromo y la consecuente pérdida de inoxidable de los aceros inoxidable nitrurados, existen otras dificultades al tratar estos materiales. Entre ellas, se pueden citar las siguientes:

- la sensibilización producida al someter algunos aceros inoxidable a un determinado ciclo térmico (asociado al proceso de nitruración por plasma).
- la presencia de la película pasiva de  $Cr_2O_3$  existente en estos materiales que impide una adecuada difusión de N.
- el gradiente de temperatura producido en las piezas durante el tratamiento. Actualmente, en algunos reactores industriales se realizan tratamientos de nitruración por plasma que solamente emplean para calentar las piezas la energía provista por el bombardeo iónico. En estos

equipos, al no emplear calefactores auxiliares, se generan comúnmente diferentes gradientes de temperatura según la relación área/volumen de las piezas.

- el efecto de borde, asociado a la variación del campo eléctrico debido a la geometría de las piezas. Investigaciones previas realizadas por los autores [18] han detectado que este efecto es más notable en los aceros inoxidable que en otros aceros.

Dentro de las limitaciones citadas anteriormente, nos centraremos principalmente en el efecto de la limpieza iónica (sputtering cleaning) y en la inhibición de la precipitación de  $Cr_xN$  durante el proceso de nitruración, mediante una adecuada selección de parámetros de proceso. Los efectos de sensitización y borde no serán abordados en el presente trabajo.

Es importante tener en cuenta, que las dificultades que tienen lugar en la nitruración de aceros inoxidables se incrementa notablemente, cuando estos materiales son tratados en reactores industriales, donde factores como la temperatura en diferentes zonas de las piezas en tratamiento, flujo de gases, falta de estanqueidad del reactor, condiciones de limpieza previa, entre otros, no siempre son fácilmente controlables, como en los experimentos en laboratorio.

Por este motivo, hoy por hoy, se requieren nuevos estudios que sean representativos de las condiciones reales de tratamiento, y que permitan optimizar procesos industriales, evitando generar componentes con defectos, como capas nitruradas discontinuas o de espesor variable, o modificaciones de superficie que deterioren la resistencia frente a la corrosión, ..., que pueden provocar el fallo del componente en servicio.

En el presente trabajo se presenta un estudio de la respuesta frente a la nitruración iónica DC-pulsada en un equipo industrial de dos aceros inoxidables de gran empleo industrial, como son el AISI 316L (austenítico) y el AIS 410 (martensítico). En el mismo se realiza un análisis de la influencia de las condiciones de proceso en las características microestructurales de los materiales nitrurados.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1. Materiales

En el presente trabajo se estudiaron dos aceros inoxidables, uno del tipo austenítico (AISI 316L), y

otro martensítico (AISI 410), con las siguientes composiciones químicas (peso. %):

- AISI 316L: C, 0.02; Mn, 1.53; P, 0.023; S, 0.024; Si, 0.69; Cr, 16.4; Ni, 10.4; Mo, 2.00; Fe, balance;
- AISI 410: C, 0.13; P, 0.022; S, 0.005; Mn, 0.74; Cr, 12.93; Mo, 0.170; Al, 0.015; V, 0.030; Si, 0.43; Ni, 0.28; Fe, balance.

La dureza del acero AISI 410 fue de 212 HV con una estructura de carburos precipitados en una matriz ferrítica; algunos granos de ferrita delta también fueron observados. Mientras que el acero AISI 316L presentó una estructura austenítica con tamaño de grano correspondiente al N° 8 (Norma ASTM E 112-01) con inclusiones de sulfuro de manganeso y de dureza ~ 83 HRB.

### 2.2. Preparación de las superficies a nitrurar (limpieza iónica (sputtering cleaning))

En muchas ocasiones, después de nitrurar, bajo ciertas condiciones de proceso, componentes de acero inoxidable, se obtiene una gran variación en los valores de microdureza y espesor de capa tratada. Este fenómeno, muchas veces es ocasionado por la falta de limpieza adecuada antes de nitrurar las componentes.

Como es conocido, los aceros inoxidables en general tienen en su superficie una película pasiva ( $Cr_2O_3$ ) resistente a la corrosión. Para poder nitrurar estos materiales es necesario remover esa película que impide la transferencia de nitrógeno al sustrato [19].

A tal fin, en la etapa anterior a la nitruración iónica de aceros inoxidables, comúnmente se realiza una limpieza iónica (sputtering cleaning) para eliminar la película pasiva.

P. Corengia y colaboradores [20], han realizado un estudio con el objeto de determinar la influencia de las condiciones de proceso de sputtering cleaning en las características de superficie de aceros inoxidables. Del mismo se desprende que una selección inadecuada de las condiciones de limpieza, puede en muchos casos, no sólo producir una incorrecta limpieza de la superficie, sino incrementar el espesor de la película de óxido de la película pasiva y/o generar en la pieza zonas con diferente ataque superficial.

El crecimiento de la película de óxido (Fig. 1), es una dificultad que aparece principalmente en los



reactores industriales, donde en muchos casos es inevitable que exista en el mismo una determinada concentración de oxígeno, generalmente asociada a una falta de estanqueidad en el reactor.

Según el estudio realizado, se observó que las muestras tratadas con una mezcla compuesta de 50% Ar + 50% H<sub>2</sub> presentaban las mejores características de superficie [15]. Esta mezcla combina las propiedades de remoción mecánica del Ar y el efecto de reducción química en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> del hidrógeno.

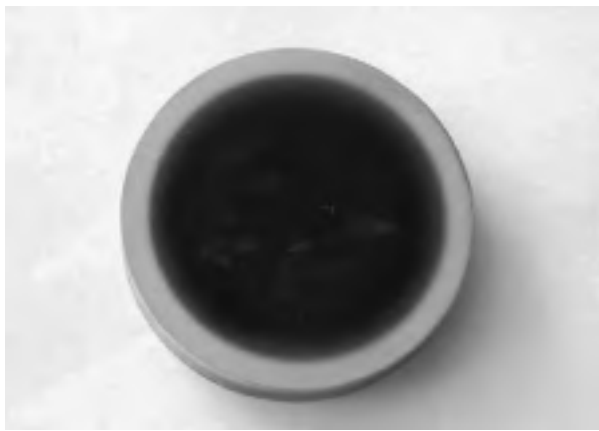


Fig. 1. Muestra de acero inoxidable martensítico AISI 410 después de aplicarle un tratamiento de limpieza iónica de Ar en un reactor con falta de estanqueidad.

### 2.3. Nitruración por plasma DC-Pulsada

Se prepararon muestras cilíndricas de 25.4 mm de diámetro y 10 mm de alto con una preparación superficial correspondiente a papel de granulometría 600.

El tratamiento de ambos materiales fue llevado a cabo en un reactor industrial (IIONAR S.A., Argentina) descrito previamente [8] y los parámetros de proceso se detallan en la Tabla 1.

### 2.4. Caracterización microestructural y determinación de microdureza

Las muestras nitruradas fueron recubiertas con una película de níquel, de forma de proteger la capa nitrurada durante las operaciones de preparación metalográfica. La observación de las mismas se realizó mediante microscopía óptica (OM) y electrónica de barrido (SEM), con los equipos Zeiss Axio-tech y Philips SEM 505, respectivamente. Los perfiles de microdureza Vickers (microdureza vs. distancia desde la superficie) se obtuvieron con un microdurómetro Akashi MVK-H2 usando una carga de 25 g. Las fases presentes en la capa nitrurada de la muestra de acero inoxidable martensítico AISI 410 fueron determinadas mediante difracción de rayos X de haz rasante (GIXRD) con un difractor Philips modelo PW3710 empleando radiación de  $\lambda\text{CoK}\alpha = 1.7890 \text{ \AA}$ . En el caso de las muestras de acero inoxidable austenítico AISI 316L nitruradas, se empleó un difractor Philips PW 1810 usando radiación de  $\lambda\text{CoK}\alpha = 1.5406 \text{ \AA}$  y  $\lambda\text{CoK}\alpha = 1.7890 \text{ \AA}$  en un rango de  $2\theta$  desde  $20^\circ$  a  $120^\circ$ .

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Determinación de Microdureza

En la Fig. 2 se presentan los perfiles de microdureza obtenidos en los aceros inoxidables AISI 316L y AISI 410 nitrurados por plasma. La dureza medida sobre la superficie de ambos aceros (valor en distancia = 0) fue superior a 1.000 HV<sub>25</sub>g para ambos materiales

| Parámetro                | Valor                                  |  |
|--------------------------|--|--|
|                          | AISI 316L                              | AISI 410                               |
| Tiempo de nitruración    | 20 h                                   | 20 h (28 h*)                           |
| Voltaje entre electrodos | 700 V                                  | 700 V                                  |
| Densidad de corriente    | 1,03 mA cm <sup>-2</sup>               | 1,03 mA cm <sup>-2</sup>               |
| Presión                  | 6,5 hPa                                | 6,5 hPa                                |
| Temperatura              | 673 °K                                 | 623, 673, 773 °K                       |
| Atmósfera                | 75% H <sub>2</sub> + 25%N <sub>2</sub> | 75% H <sub>2</sub> + 25%N <sub>2</sub> |
| ton-toff                 | 70-200 $\mu$ s                         | 70-200 $\mu$ s                         |

\* Se realizó un tratamiento adicional a 773 °K con una duración de 28 h

Tabla 1. Principales parámetros de nitruración.

nitruados y para todas las condiciones de proceso estudiadas. Además, se observó una transición abrupta entre la capa nitruada y el material base.

La Fig. 2(a) corresponde a los perfiles de microdureza de los aceros AISI 316L y AISI 410 nitruados a 673 °K, mientras que el perfil de la Fig. 2(b) corresponde al acero AISI 410 nitruado a 623 °K.

En los aceros nitruados, los átomos de nitrógeno se encuentran en solución sólida en la estructura del Fe- $\alpha$  o se combinan con los elementos de aleación y el Fe, para precipitar como nitruros en la capa nitruada (por ejemplo: AlN, CrN, FeN, ...). Estos dos procesos afectan el perfil de dureza de la capa endurecida. En el caso de la nitruación de aceros aleados, después del tratamiento de nitruación se consigue incrementar la dureza en la superficie (> 1.000 HV) y se obtienen interfaces abruptas (capa nitruada/sustrato). Este es el caso de los aceros estudiados AISI 316L y AISI 410, los

cuales contienen aprox. 17 y 13% de Cr, respectivamente. Al ser este elemento un fuerte formador de nitruros, se produce una capa de alta dureza con una interfase abrupta debido a la precipitación de nitruros Cr [10].

### 3.2. Microscopía

En la Fig. 3 se presentan micrografías de las secciones de las muestras de acero inoxidable AISI 410 y AISI 316L nitruadas bajo diferentes condiciones de proceso.

La Fig. 3(a) corresponde a una micrografía óptica de la muestra de AISI 410 nitruada durante 20 h a 673 °K. En la misma se evidencia una capa endurecida de aspecto claro (frente al ataque metalográfico con el reactivo Vilella), donde los nitruros formados han crecido preferencialmente a lo largo de los bordes de grano. En esta micrografía se observan algunas zonas “oscuras”, aparentemente a lo largo de bordes de grano. Asimismo, en el material base, se aprecian algunos granos de ferrita delta que están orientados en la dirección de laminación.

La Fig. 3 (b) corresponde a una micrografía óptica de una muestra de acero inoxidable AISI 410 nitruada durante 20 h a 773 °K. En la misma se pueden distinguir tres regiones: una cercana a la superficie de aspecto oscuro, seguida por una blanca y debajo el núcleo sin nitruar. Algunas muestras fueron

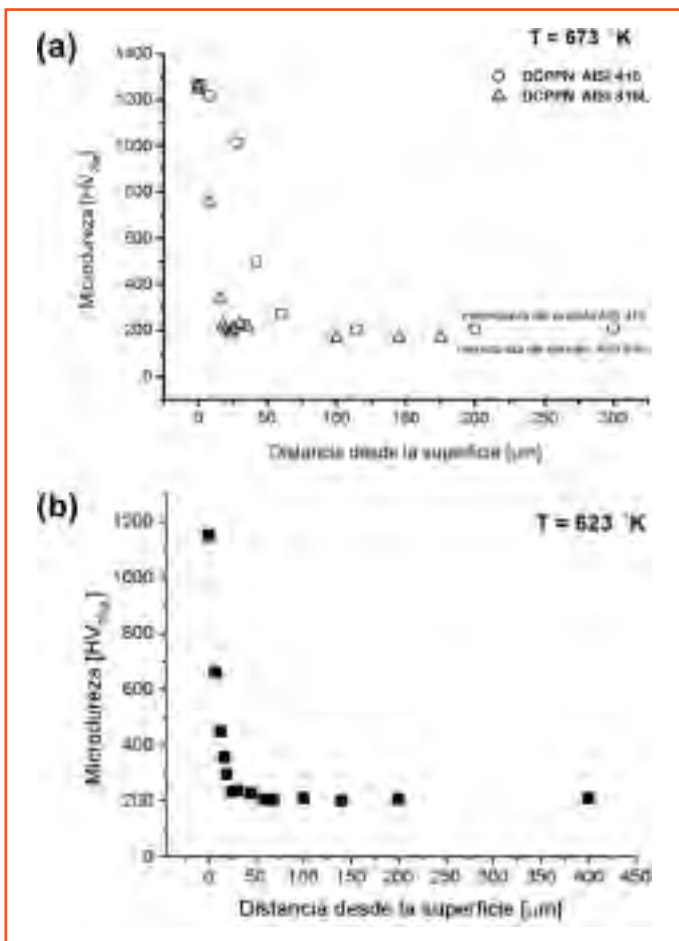


Fig. 2. Perfiles de microdureza de los aceros AISI 316L y 410, (a) nitruados 673 °K, (b) AISI 316L nitruado a 623 °K.

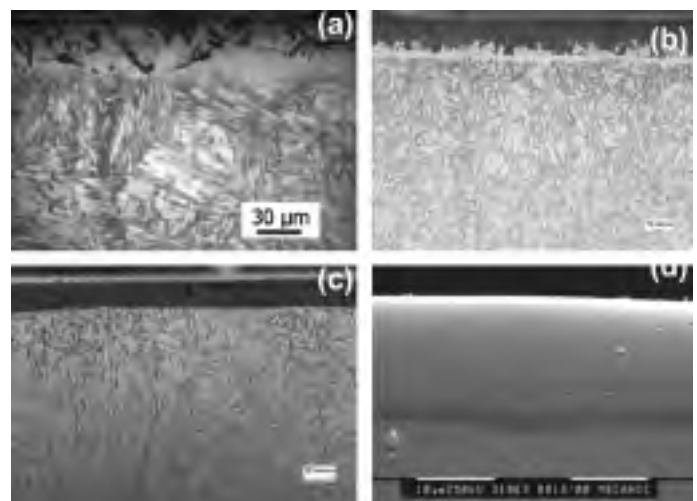
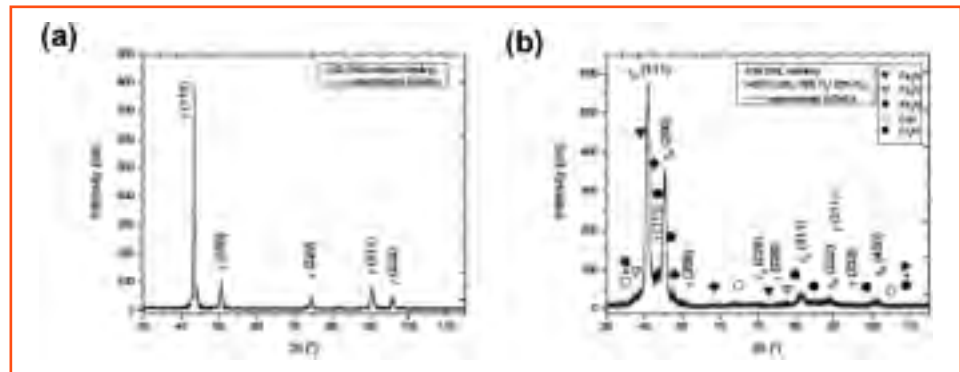


Fig. 3. Imágenes de sección de muestras, (a) micrografía óptica de una muestra de AISI 410 nitruada durante 20 h a 673 °K, (c) muestra de AISI 410 nitruada durante 20 h a 773 °K, (b) muestra de AISI 410 nitruada durante 28 h a 773 °K. (d) micrografía electrónica de barrido de una muestra de AISI 316L nitruada durante 20 h a 673 °K.

Fig. 4. Diagrama de difracción RX para radiación  $\lambda\text{CoK}\alpha$ , (a) muestra sin nitrurar, (b) muestra nitrurada.



ensayadas durante más tiempo (28 h) para estudiar la evolución del frente “oscuro” (Fig. 4 (c)).

La micrografía correspondiente al acero AISI 316L nitrurado (Fig. 4 (d)), revela una capa continua y uniforme, la cual no ha sido afectada por el reactivo químico. El espesor de capa medido fue de aprox. 17  $\mu\text{m}$ .

### 3.3. Difracción de Rayos X

Por medio de Difracción de Rayos X fue posible estudiar las fases presentes en las capas nitruradas producidas en ambos aceros. La Fig. 4 presenta los difractogramas correspondientes a la superficie de muestras de acero AISI 316L sin nitrurar y nitrurada.

De la información aportada por los difractogramas obtenidos, se observó que la fase presente en forma mayoritaria en la muestra nitrurada fue austenita expandida ( $\lambda_N$ ) acompañada de picos de menor intensidad, correspondientes a nitruros del tipo  $\text{Cr}_2\text{N}$  y  $\text{Fe}_4\text{N}$ .

La asimetría presentada por los picos  $\lambda_N$  resulta por efecto de la presencia de nitruros y el ensanchamiento de los mismos tiene en cuenta el efecto de la incorporación del nitrógeno en la red austenítica. Asimismo los picos de la muestra nitrurada se encuentran desplazados hacia ángulos menores respecto de los hallados para la muestra sin nitrurar.

Del análisis de los difractogramas también se desprende, que la estructura cristalina de la austenita expandida puede ser bien representada por una estructura triclinica especial. Diferentes trabajos estudiaron la estructura de la austenita expandida proponiendo que es tetragonal [6] u ortorrómbica. Sin embargo M. P. Fewell y col. [21] han evaluado que la distorsión que presenta la estructura cúbica es diferente de la que debería presentarse para que

dicha estructura sea tetragonal e insuficiente para que la ortorrómbica sea factible. De dicho análisis, los autores han inferido que la estructura cristalina que representa a la fase austenita expandida corresponde a una estructura triclinica especial, [21] la cual introduce una distorsión  $\epsilon$  de los ángulos de la celda fcc presentando un parámetro de red igual en las tres direcciones cristalinas.

El desplazamiento observado en los picos puede atribuirse a la presencia de tensiones residuales y/o fallas de apilamiento. Del cálculo de los desplazamientos  $\Delta 2\theta$  o la variación del parámetro de red  $\Delta a$  [22] de la fase analizada, se obtuvo que el valor calculado para la densidad de fallas de apilamiento en la austenita ( $\lambda_N$ ) de la muestra nitrurada es elevado comparado con el sustrato de austenita  $\lambda$  sin nitrurar.

Por otro lado, si contemplamos la presencia de tensiones residuales, el cambio en el parámetro de red de la austenita expandida considerando una estructura triclinica representa una expansión de la red del orden del 11%, pudiendo inferirse que existen tensiones residuales de compresión elevadas. Este resultado es similar tanto para los valores hallados utilizando radiación  $\lambda\text{Cu}$  como  $\lambda\text{Co}$ , lo cual indicaría que en la capa nitrurada no existen importantes variaciones en la concentración de nitrógeno. Asimismo comparando el ensanchamiento de los picos, (FWHM) para distintas profundidades de la capa nitrurada, se observa que estos presentan un importante incremento respecto de los hallados para la austenita sin nitrurar. Este comportamiento se encuentra directamente relacionado con el incremento de microdeformaciones y microtensiones.

Los difractogramas de rayos X de las muestras de AISI 410 tratadas a 673 y 773 °K no presentan diferencias en las fases encontradas:  $\lambda'$ - $\text{Fe}_4\text{N}$ ,  $\epsilon$ - $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ ,

CrN y  $\alpha$ -Fe (asociado al material base) (Fig. 6(b) y (c)). Estos resultados son consistentes con los obtenidos por otros investigadores [23] para aleaciones Fe-Cr nitruradas. Las muestras nitruradas a la menor temperatura (623 °K) sólo mostraron en la superficie  $\alpha$ -Fe y pequeñas cantidades de  $\lambda'$ -Fe<sub>4</sub>N en la superficie (Fig. 5(a)) pero, como era esperado, no fue detectada la presencia de nitruros de CrN debido a que la precipitación del mismo toma lugar a mayores temperaturas. El desplazamiento y ensanchamiento del pico de  $\alpha$ -Fe observado en la Fig. 6a está asociado con la sobresaturación de N y las tensiones causadas por el N remanente en solución sólida. Kim y colaboradores [24], quienes investigaron muestras de acero inoxidable martensítico AISI 420 bajo descargas RF de baja presión, llamaron a esta fase “martensita expandida” por analogía con la designación de “austenita expandida” en resultados previos [21]. Siguiendo este criterio, hemos llamado a esta fase “ferrita expandida” [25],  $\alpha_N$ . Según los resultados obtenidos, esta fase expandida, además de pequeñas cantidades de

precipitados de nitruros de Fe<sub>4</sub>N, producen una alta dureza de superficie (Fig. 2(b)).

A mayores temperaturas de proceso, la solución sólida de  $\alpha_N$  se descompone en  $\alpha$  y CrN (Fig. 5(b) y 5(c)). Una precipitación similar fue observada en muestras de acero inoxidable austenítico [26]. La precipitación de CrN elimina la disponibilidad del Cr en la fase expandida, favoreciendo la formación de ferrita y CrN en una estructura laminar, observada en las áreas oscuras a mayor aumento, como en el caso de la perlita en los aceros al carbono. Esta precipitación ( $\alpha_N \rightarrow \text{CrN} + \alpha$ ) produce una relación microestructural, y consecuentemente los picos de  $\alpha$  regresan a su posición inicial como en la muestra sin nitrurar (Fig. 5(b) y (c)). La precipitación laminar, detectada en la muestra nitrurada a temperaturas superiores a 673 °K, es observada como zonas oscuras a bajas magnificaciones.

#### 4. CONCLUSIONES

La nitruración por plasma de aceros inoxidables posee comúnmente ciertas limitaciones, principalmente cuando este tratamiento se efectúa en reactores industriales. Problemas de estanqueidad, falta de uniformidad en la temperatura en diferentes partes de las piezas en tratamiento, entre otros, sumado a que en muchas ocasiones se realiza una inadecuada preparación de la superficie y/o selección de las condiciones de nitruración, suelen generar defectos superficiales y subsuperficiales: microestructuras inadecuadas, capas nitruradas discontinuas y/o de espesor variable, ..., y en consecuencia no se alcanzan las propiedades de superficie buscadas, y por ende el comportamiento en servicio del componente no es el deseado.

Un diseño adecuado de los procesos de limpieza de superficie y nitruración por plasma pulsado, permite mejorar significativamente las características de superficie de los aceros inoxidables austeníticos y martensíticos (AISI 316L y AISI 410) sin comprometer el comportamiento frente a la corrosión.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a IONAR S.A., (B1650LOP) Buenos Aires, Argentina, por el tratamiento de las muestras y las aportaciones en el análisis y discusión de los resultados.

Los autores del citado trabajo desean agradecer la

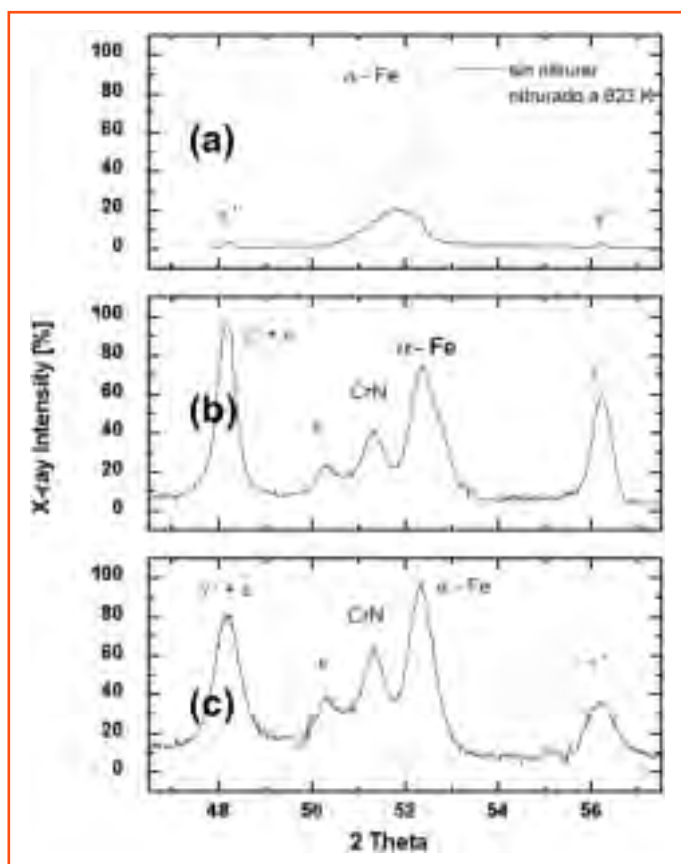


Fig. 5. Difractogramas de rayos X de las muestras: (a) sin nitrurar y nitruradas por plasma a 623 K, (b) 673 K (c) 773 K.

colaboración recibida por Fernando Rodríguez y Norma Mingolo (CAC-CNEA).

## 6. REFERENCIAS

- [1] T. Bell, K. Mao, Y. Sun; Surf. Coat. Technol. 108-109 (1998) 360-368.
- [2] M. Van Stappen, L.M. Stals, M. kerkhofs, C. Quaeys; Surf. Coat. Technol. 74-75 (1995) 629-633.
- [3] K. O. Legg, M. Graham, P. Chang, F. Rastagar, A. Gonzales, B. Sartwell; Surf. Coat. Technol. 81 (1996) 99-105.
- [4] A. J. Hick; Heat Treatment of Metals, 2 (2000) 27.
- [5] Y. Sun, T. Bell; Mater. Sci. Eng. A 140 (1991) 419-434.
- [6] T. Bell, P.A. Dearnley, Surf. Eng. 10 (1994) 123-128.
- [7] Y. Sun, T. Bell, Mater. Sci. Eng. A224 (1997)33-47.
- [8] T. Bell, Y. Sun, in Proc. Int. Conf. Surf. Sci. & Eng. Edited by Zhu Rhizang, Beijing, May 15-19, 1995 (Int. Academic Publishers, Beijing, (1995) p.9.
- [9] B. Billon, A. Hendry; Surf. Eng. 1 (2) (2985) 114.
- [10] E. Rolinski; Surf. Eng. 3 (1) (1987) 35.
- [11] Z. L. Zhang, T. Bell; Surf. Eng. 1 (2) (1985) 131.
- [12] R. Wei; Surf. Coat. Technol. 83 (1996) 218.
- [13] K. Ichii, K. Fujimura, edited by E. Broszeit, W. D. Munz, H. Oechsner, K. T. Rie and G. K. Wolf in "Plasma Surfaces Engineering", Vol 2 (DGM Informationgesellschaft mbH, Oberursel, 1998) 1187.
- [14] P. A. Dearnley, A. Mamver, G.G. A. Hibberd, T. Bell, Plasma-Surface Engineering, Vol. 1, p.129.
- [15] Y. Sun, X.Y.Li, T. Bell; Journal of Materials Science 34 (1999) 4793-4802.
- [16] K. Marchev, C.V. Cooper, B.C. Huyesen; Surf. Coat. Technol. 99 (1998) 229
- [17] I. Alphonsa, A. Chainani, P.M. Raole, B. Ganguli, P.I. John; Surf. Coat Technol. 150 (2002) 263-268.
- [18] C. Calahonra, E. De Las heras, A. García-Luis, M. Brizuela, D. González-Santamaría, P. Corengia, H. Svoboda; Tenth International Conference on Plasma Surface Engineering, September 10-15, 2006 Garmisch-Partenkirchen. (Organized by European Joint Committee on Plasma and ion Surface Engineering). Proc. Cong. Pg. 481.
- [19] M. Samandi, B.A. Shedden, D.I. Smith, G.A. Collins, R. Hutchins, S. Tendys; Surf. Coat. Technol. 59 (1993) 261.
- [20] P. Corengia, D. Egidi, M. Quinteiro, C. Alves Jr.; 4tas. Jornadas de Innovación y Desarrollo, INTI, octubre 2002.
- [21] M. P. Fewell, D. R. G. Mitchell, J. M. Priest, K. T. Short, G. A. Collins; Surf. Coat. Technol., 131, 2000, 300-306.
- [22] Xiaolei Xu, Zhiwei Yu, Liang Wang, Jianbing Qiang, Zunkun Hei; Surf. Coat. Technol. 162, 2003, 242-247.
- [23] A. Burdese; Proc. 13th National Conf. On thermal Treatments, Salsomaggiore, Italy, 1991, AIM, Milan, 1991, p. 231.
- [24] S.K. Kim, J.S. Yoo, J.M. Priest, M.P. Fewell; Surf. Coat. Technol. 163-164 (2003) 380-385.
- [25] P. Corengia, G. Ybarra, C. Moina, A. Cabo, and E. Broitman, Surf. Coat. Technol. 187/1 2004, 63-69.
- [26] X.L. Xu, L. Wang, Z.W. Yu, Z.K. Hei; Surf. Coat. Technol. 132 (2000) 270-274.

Ponencia presentada en el XII Congreso Tratermat (Octubre 2010). Publicada con la autorización expresa de la Dirección del Congreso y los autores.

# SU MEJOR COMUNICACIÓN

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL

**PEDECA** *press* Publicaciones

DOMOS SU MEDIO

C/ Goya, 20, 4º • 28001 MADRID • Telf.: 91 781 77 76 • Fax: 91 781 71 26 • pedeca@pedeca.es • www.pedeca.es

**Fabricamos:**

**MAQUINARIA DE LAVADO Y DESGRASA INDUSTRIAL PARA TODO TIPO DE PIEZAS**

**HORNOS INDUSTRIALES HASTA 1300°C**

**ESTUFAS ESTÁTICAS Y CONTINUAS HASTA 600°C PARA CALENTAR Y SECAR**

**HORNOS PARA COCINAR EN CONTINUO CARNES Y VERDURAS**

**INSTALACIONES PARA EL PINTADO DE PIEZAS DIVERSAS**

**-MAQUINAS PARA TRATAR SUPERFICIES :-** Lavar, - Desengrasar, - Fosfatar...

**-HORNOS Y ESTUFAS PARA :-** Templar, - Secar, - Fundir, - Cocinar ...

**-INSTALACIONES DE PINTURA :-** Lavado, - Fosfatado, - Pintado, - Secado...

Tel: 933 711 558 - Fax: 933 711 408  
www.bautermic.com  
e-mail: comercial@bautermic.com

**Bautermic**

**HOT** Técnicas en Hornos HOT S.L.

- HORNOS PARA TRATAMIENTO TÉRMICO
- UTILAJES, PARRILLAS, CESTAS
- PINTURAS PROTECTORAS
- HORNOS DE LABORATORIO
- DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ASESORAMIENTO
- SERVICIO TÉCNICO, REPUESTOS

**TECNICAS EN HORNO HOT S.L.**

Polygono Itebando  
Pabellón nº 53  
29120 Hermal - Spain  
+ email: hot@tecnicalm.com

TP : +34 943 33 72 33  
Fax : +34 943 33 72 34  
Mó : +34 609 28 00 90

**Michelin Group**  
**Lohmann**  
Swiss by Michelin  
Stop off paints LUISO

**Pometon**  
Líder en fabricación y desarrollo de granallas y polvos metálicos

**Pometon España, SAU**  
Dr. Bergós s/n  
08291 Ripollet (Barcelona) - SPAIN  
Tel.: (+34) 935 863 629  
Fax: (+34) 936 917 234  
info@pometon.net  
www.pometon.net

With our own French full analytical equipment analysis

Some today fit a single piece, but we can analyze the whole

Only Bruker can offer you the most complete and accurate analysis

**BRUKER**

**ESPECTRÓMETROS OES PARA ANÁLISIS DE METALES**  
**ANALIZADORES ELEMENTALES C/S/N/O/H**  
**ANALIZADORES PORTÁTILES DE Rx**

**Bruker España S.A.**  
Vergara 21 - 01001 Villavieja (Badajoz)  
C/ María Conde S. Edificio Alfa - Planta Baja  
28021 River Viquejuna (Madrid)  
Tel: +34 914 64082 - fax: 914 641136  
bruker@bruker.es  
www.bruker.com/Spain

**trey**

Tratamientos Térmicos de Aceros Aleados y Consulting Técnico - Metalúrgico

Polygono Industrial ARTIA  
48291 - ATXONDO - Bizkaia  
TEL: 94 621 55 90  
Fax: 94 630 33 70

administracion@industriatrey.com

**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@terra.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 térmicos, termoquímicos, galvanizados, uniones soldadas etc.
- ✚ Puesta a punto de equipos automáticos de soldadura y robótica, y temple superficial por inducción de aceros.
- ✚ Cursos de fundición y inyección de aluminio y zamak con práctica real de trabajo en la empresa.

Hardware | Optical | Camera | Transmitters | Systems of Vision | Software

**INFAIMON**  
SU ASESOR EN VISIÓN ARTIFICIAL

B | f | t | y | www.infaimon.com | infaimon@infaimon.com

Metall Technology recasting

# B.M.I.

El especialista en hornos para tratamientos térmicos al vacío









Tratado gas y aceite  
 Revenido y recocido  
 Nituración baja presión  
 Aluminización óxido  
 Cementación baja presión  
 Soldadura Inerting  
 Sinterizado  
 MIM

**APLICACIONES TERMOTECNICAS, S.L.** - Apdo. 4082 - 48380 BILBAO - ESPAÑA  
 TEL : 94-426.25.22 FAX: 94-426.22.62  
[info@aplicaciones-thermo.es](mailto:info@aplicaciones-thermo.es) / [www.aplicaciones-thermo.es](http://www.aplicaciones-thermo.es) / [www.ami-furnaces.com](http://www.ami-furnaces.com)



**DEGUIZA, S.A.**  
 Polígono Industrial Saratxo s/n  
 01470 AMURRIO - ALAVA  
[deguisa@deguisa.com](mailto:deguisa@deguisa.com)  
[www.deguisa.com](http://www.deguisa.com)



## Innovación Constante, Voluntad de Servicio

**REFRACTARIOS:**

- Refractarios para cucharas de tratamiento, trasvase y colado.
- Tapones de soplado y agitación.
- Productos conformados para aplicaciones especiales.
- Equipos de válvula corredora para colado de arena.

**COMBUSTIÓN:**

- Ingeniería de equipos de combustión y sistemas de control.
- Asistencia técnica, supervisión y mantenimiento de instalaciones.
- Componentes de procesos térmicos industriales.



**GRUPO EMISON**  
 C/ Vallma, 67 - 08006 Barcelona - Telef: 938 792 871 - Fax: 932 111 838  
 Internet: [www.emison.com](http://www.emison.com) - e-mail: [mario@emison.com](mailto:mario@emison.com)

- Fabricantes de hornos desde 1957.
- Hornos para fundición.
- Hornos de mufla.
- Depuradoras de humos.
- Equipos especiales.
- Tratamiento térmico de metales.
- Estufas de secado y calefacción.
- Equipos de incineración.
- Hornos de temple.
- Hornos de soldadura.
- Hornos de revenido.
- Hornos de recocido.
- Hornos de sinterizado.



[www.flexinox.com](http://www.flexinox.com)

**ESPECIALISTAS EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS PARA TRATAMIENTO TÉRMICO Y RECAMBIOS EN ACEROS REFRACTARIOS**

TUBOS RADIANTES  
 MUFLAS  
 RETORTAS

UTILAJES  
 CESTAS Y ORSOLES  
 CADENAS

**REPARACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE HORNOS (OBRAS REFRACTARIAS)**

Representante para España de **AUBE-LINDBERG**

**RAMON FLEIXAS S.L.**  
 C/ Sarriena, 10 - 08001 Barcelona - España  
 Tel: +34 93 400 10 00 Fax: +34 93 400 10 01  
[info@flexinox.com](mailto:info@flexinox.com) [www.flexinox.com](http://www.flexinox.com)








Sondas de oxígeno  
 Analizadores de gases  
 Pruebas de uniformidad de temperaturas - AMS2750D  
 Sondas de temperatura  
 Videoregistradores  
 Reguladores de temperatura  
 Thyristores  
 Resistencias CSI y MoSi2  
 Automatización de hornos

**ENTESIS**  
 Gallieu 313 basins  
 08028 Barcelona  
 Telf: 934105454  
 Fax: 934195733  
<http://www.entesis.net>  
[info@entesis.net](mailto:info@entesis.net)








**APLICACIONES TERMOTECNICAS, S.L.** - Apdo. 4082 - 48380 BILBAO - ESPAÑA  
 Tel: +34 94 426 25 22 Fax: +34 94 426 22 62  
[info@aplicaciones-thermo.es](mailto:info@aplicaciones-thermo.es) [www.aplicaciones-thermo.es](http://www.aplicaciones-thermo.es)




**-temple -soldadura -recocido -sinterizado -revenido**

**HORNOS DEL VALLES, S.A.**  
 Mancomunitat, 3 08290 CERDANYOLA DEL VALLES (Barcelona)  
 T/ 93 692 66 12 Fax 93 580 08 27  
[hdv@tecnopiro.com](mailto:hdv@tecnopiro.com) [www.technopiro.com](http://www.technopiro.com)

# PROYCOTECME

HORNOS INDUSTRIALES PROYECTOS Y CONSTRUCCION

## Especialistas en Tratamiento Térmico



Pol. Ind. Can Castell  
 c/ Industria, 113 - Nave 1-K  
 08420 Canovelles (Barcelona) Spain  
 Telef.: +34 938 467 984  
 Fax: +34 938 401 492  
[www.proycotecme.com](http://www.proycotecme.com)

# Interbil

Ingeniería Térmica Bilbao s.l.  
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.

PL. Barrio de Ibañeta, s/n. Avda. Y. Ato.  
E-48100 SOTILLOA (Vizcaya)  
Tel.: 94 450 50 75  
Fax: 94 450 51 45  
bilbao@interbil.es

[www.interbil.es](http://www.interbil.es)

# ARROLA®

SERVICIO INTEGRAL  
PARA INSTALACIONES  
DE TRATAMIENTO TÉRMICO

## HORNOS INDUSTRIALES

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE INSTALACIONES - ASISTENCIA TÉCNICA  
METROLOGÍA Y CALIBRACIÓN - CONTROL DE ATMÓSFERA  
SISTEMAS INFORMÁTICOS PARA CONTROL Y REGISTRO DE DATOS



POLIGONO INDUSTRIAL ARCIXAO, 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

## Shaping industry

Su Proveedor de soluciones en Tratamiento de Superficies

Maquinaria y consumibles para granallado,  
d'oreado, shotpeening y acabado por vibración

Juan Vazquez Carrizosa, Avda. Aribau, BARCELONA  
Tel.: 93 559 90 00 Fax: 93 559 90 00

wheelabrator  
Shaping process

[www.wheelabratorgroup.com](http://www.wheelabratorgroup.com) [comercial@wheelabrator.com](mailto:comercial@wheelabrator.com)  
Sede en España: Barcelona y Valencia



## S. A. METALOGRAFICA TRATAMIENTOS TÉRMICOS

### NUESTROS SERVICIOS

- TT VACÍO DE:  
- MUELES, SAHONES Y HERRAMIENTAS
- OBTENCIÓN Y CALIBRADO MUELES
- NITRURACIÓN
- NITROVAPORESITRUCIONANTRONANTE
- TRUVER: NITRURACIÓN ANTI DESGASTE
- TT ACERO BARRIO
- INOXIDABLES
- IDENTIFICACIÓN RECOCIDO Y NORMALIZADO
- QUENQUE, NIQUELADO DURO
- QUENQUE TT AMORFIZANTE
- QUENQUE TRUVERADO DURO
- ANÁLISIS DE MATERIALES
- ACCESORIOS PARA TRATAMIENTO
- TRUVERADO TT TRUVERADO PLANOS

### CAPACIDADES MÁXIMAS

- TRUVERADO DURO: 200 x 200 mm (Máximo 100 kg)
- NITRURACIÓN / NITROVAPORESITRUCION: 200 x 150 mm
- QUENQUE / CARBONITRURACIÓN / BOMBARDEN: 300 x 100 x 20 mm (Máximo 1000 kg)
- TRUVERADO TRUVERADO: Desde hasta 1000 mm

**CENTRAL**  
Políg. Ind. POLIZUR - Naves 4, 5 y 6  
08290 CERDANYOLA (Barcelona)  
93 580 53 53 FAX 93 580 29 61

**DURPLAN®**  
C/ Turó de l'Arce, 2  
08400 GRANDOLLERS  
93 861 60 77 FAX 93 861 60 76

## Medición de espesor de recubrimientos

Nanoindentación

Análisis de materiales

Inducción magnética

Corrientes de Foucault

Fluorescencia de rayos X

Coulombimetría



### FISCHER INSTRUMENTS, S.A.

Allegros, 137 3º - 08018 BARCELONA  
Tfno: 93 309 79 15 Fax: 93 480 00 94  
[www.helm.fischer.com](http://www.helm.fischer.com)



## AFE CRONITE

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



AFE Cronite - Ilarraza, 14 - 01192 ILARRAZA (ALAVA)

Tfno.: 945 293 400 - Fax: 945 293 145

E-mail: M.GARCIA@afechronite.com - [www.afechronite.com](http://www.afechronite.com)

## METALOGRAFICA DE LEVANTE S.A. TRATAMIENTOS TÉRMICOS

### SERVICIO Y CALIDAD

- Temple en Vacío
- Cementación
- Nitruración, Mpro
- Carbonitruración
- Temple en Atmósfera Controlada
- Temple de muelles, series, etc.
- Estabilizados, normalizados, recocidos
- Deshidrogenados, Recristalización, etc.
- Laboratorio Metalúrgico
- Espectrometría
- Consulting
- Recogidas y entregas de material



Polígono Industrial Ilarraza de A Sola  
P.O. Box 904, Barrio de Leizaola, 01192  
ILARRAZA (ALAVA) - España  
Tel.: 945 293 400 Fax: 945 293 145  
E-mail: [info@afechronite.com](mailto:info@afechronite.com)



- Gran disponibilidad de modelos.
- Alta variedad de calidades.
- Piezas a medida según plano.
- Tubos radiantes.
- Rodillos.
- Parrillas.
- Cesteros/cubetas.
- Mueles/Poles de recocido.
- Recuperadores.

**TECNOVAL ACCES, S.L.**

Polígono Industrial Ilarraza de A Sola, 904 - Barrio de Leizaola, 01192 ILARRAZA (ALAVA) - España  
Tel.: 945 293 400 Fax: 945 293 145  
E-mail: [info@afechronite.com](mailto:info@afechronite.com)





**SOLO**  
Swiss Group

**Hornos industriales**  
Hornos de campana, continuos y de potencia

SOLO Swiss Group  
mail@soloswiss.com  
Tel: +41 32 465 96 00  
Fax: +41 32 465 96 05  
www.soloswiss.es

**COMERCIAL SATEC**

**PINTURAS PROTECTORAS PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS "CONDURSAL"**  
**ACEITES RÁPIDOS DE TEMPLE "DURIXOL"**

- POLÍMEROS DE TEMPLE, "SERVISCOL Y POLYQUENCH"
- AGENTES LIMPIADORES, "SERVIDUR"
- ACEITES ANTICORROSIVOS Y PAVONADO, "SERVITOL"

**COMERCIAL SATEC, S.L.**  
P.A.E. ASUARAN Edificio Enakuri, nave 9 • 48950 ERANDIO (Vizcaya)  
Tel: 94 471 16 63 • Fax: 94 471 17 41  
info@comercial-satec.com • www.comercial-satec.com

**Ipsen** **Solución total con un único proveedor**

PROGRAMA DE FABRICACIÓN:

- Hornos de atmósfera de una o varias cámaras.
- Hornos de vacío horizontales y verticales.
- Instalaciones continuas de atmósfera.
- Instalaciones continuas de vacío.
- Generación de atmósferas para procesos.
- Control y automatización de procesos.
- Investigación, fabricación, servicio postventa, formación.

**Ipsen International GmbH**  
Flutstrasse 78 – 47533 Kleve, Alemania – Teléfono 0049-2821-804-518  
www.ipsen.de

**testo 350**

**Instrumentos y sondas de medición portátiles y electrónicos, fabricados conforme el estándar ISO 9001, para los siguientes parámetros:**

- Temperatura
- Humedad
- Velocidad
- Presión
- Análisis de los productos de la combustión
- Medidor calidad aceite de cocinar
- Emisiones
- Calidad del interior (CO<sub>2</sub>)
- Análisis de agua
- Luz/sonido
- rpm

Instrumentos testo S.A. - Zona Industrial o/B nº2 - 08343 Collnà (Barcelona)  
Tel. 93 753 86 50 - Fax: 93 753 95 26 - www.testo.es - info@testo.es

**calibraciones ENAC**  
autorización de procesos  
pruebas estándar

Reguladores Video-Registadores  
calibración hornos de vacío experiencia desde 200 a 2400°C

**Termopares** servicio técnico  
calibración Insitu  
calibración SAT

**SCI** Suministro y Calibración Industrial S.L.  
www.sciempresas.com

calibración TUS  
calibración SAT  
experto en normativa aeronáutica

Ribera de Arce 11.d2 48950 Erandio 94 471 17 41 sci@sciempresas.com

**insertec**  
**Hornos y Refractarios**  
Ingeniería y Servicios Técnicos, S.A.

Ávda. Cervantes, 6 - 48970 Basauri, Vizcaya  
Tel: 944 409 420 • Fax: 944 496 624  
E-mail: insertec@insertec.biz • www.insertec.biz

**HORNOS ALFERIEFF**  
contabiliza la construcción de más de 1100 hornos, por ello, contamos hoy con una renombrada experiencia en el campo de los hornos industriales.

**HEA**  
**HORNOS ALFERIEFF**

VISITE NUESTRA NUEVA [www.alferieff.com](http://www.alferieff.com)  
C/Doctor Marañón, 11 - 28220 Majadahonda (Madrid)  
Tel: +34 91 639 69 11 - Fax: +34 91 639 48 18 - Email: hornos@alferieff.com

**SPECTRO**  
Discover

**Espectrómetros para analizar metales**

Espectrometría de arco/chispa para analizar la composición química porcentual (%) de materiales metálicos

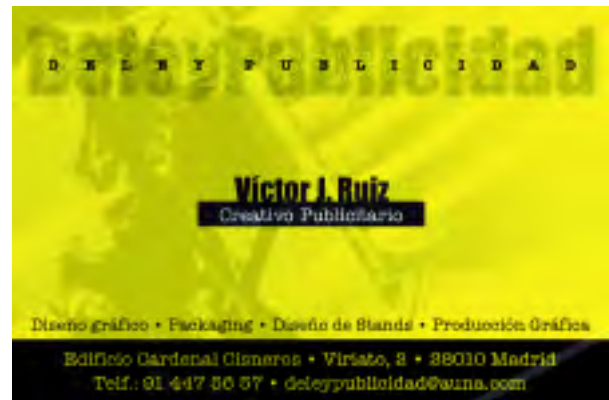
Tel. 94 471 54 01 • Fax 94 471 37 41 • comercial@spectro.es

**SPECTRO (España), S.L.**  
P.A.E. ASUARAN Edificio Enakuri - Nave 9  
48950 ERANDIO (Álava) - Vizcaya

[www.spectro.com](http://www.spectro.com)

## INDICE de ANUNCIANTES

|                           |                 |                                 |                 |
|---------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|
| ACEMSA .....              | 52              | INSTRUMENTOS TESTO .....        | 13              |
| AFE CRONITE .....         | 11              | INTERBIL .....                  | Contraportada 4 |
| ALD .....                 | 19              | IPSEN .....                     | 55              |
| APLITEC .....             | 53              | LAND INSTRUMENTS .....          | 11              |
| ARROLA .....              | 5               | LIBROS TRATAMIENTOS TÉRMICOS .. | 35              |
| BAUTERMIC .....           | 52              | METALOGRAFÍA DE LEVANTE ..      | 54              |
| BIEMH .....               | Contraportada 2 | MTC .....                       | 19              |
| BMI .....                 | 53              | NABERTHERM .....                | 13              |
| BRUKER .....              | 52              | POMETON .....                   | 52              |
| COMERCIAL SATEC .....     | 21              | PROYCOTECME .....               | 53              |
| DEGUISA .....             | 52              | REVISTAS TÉCNICAS .....         | Contraportada 3 |
| EMISON .....              | 53              | S.A. METALOGRAFÍA .....         | 54              |
| ENTESIS .....             | 53              | SECO-WARWICK .....              | 3               |
| FISCHER INSTRUMENTS ..... | 54              | SOLO .....                      | 55              |
| FLEXINOX .....            | 53              | SPECTRO .....                   | 55              |
| HORNOS ALFERIEFF .....    | 7               | SUMINISTRO Y CALIBRACIÓN        |                 |
| HORNOS DEL VALLÉS .....   | 21              | INDUSTRIAL .....                | 55              |
| HOT .....                 | 13 y 15         | TECNYMAT .....                  | 25              |
| INDUSTRIAS TEY .....      | 53              | WHEELABRATOR .....              | 54              |
| INSERTEC .....            | PORTADA         |                                 |                 |



## Próximo número

### SEPTIEMBRE

Nº Especial PROVEEDORES, listado completo de empresas y productos.  
Espectrómetros. Equipos de control.