TRATER Press

FEBRERO 2016 • Nº 51

REVISTA DEL TRATAMIENTO TERMICO

www.pedeca.es

Innovative. Reliable. Precise.

SOLO Switzerland

www.soloswiss.es

Líneas automáticas de hornos de campana
Changfeng, Chongqing, China, dic. 2015

Borel
Standard Furnaces & Ovens
Switzerland

www.borel-hornos.com

Hornos de retorta bajo H2

Hornos de cámara

Hornos de laboratorio 1500 °C

29 BIEMH

YOU MAKE IT BIG

SMART SOLUTIONS

BILBAO 30 MAYO 4 JUNIO 2016

Soluciones avanzadas y negocios inteligentes en una feria donde los expositores son los verdaderos protagonistas.

Colaboran / Colaboran

EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO
EKONOMIAREN GARAPEN ETA LEHIAKORTASUN SAILA
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO ECONÓMICO Y COMPETITIVIDAD

AiMHE
ASOCIACIÓN DE IMPORTADORES DE MÁQUINA - HERRAMIENTA

Organizan / Organizan

AFM Advanced Manufacturing Technologies
www.afm.es

BEC! BILBAO EXHIBITION CENTRE
EXPOSSIBLE!
www.biemh.com

Nuestra Portada

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

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

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

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

Sumario • Febrero 2016 - Nº 51

Editorial 2

Noticias 4

20 aniversario PROYCOTECME Hornos Industriales • Snapperworks de Axelent, tan simple como brillante • AFTA cambia de dirección y teléfono • KIND&CO invierte en el mayor horno de vacío jamás construido • OLSTRÄD y NOXMAT.

Artículos

- SCI-Suministro y Calibración Industrial obtiene acreditación ENAC 8
- wire 2016 y Tube 2016: ambos ramos miran con optimismo el año entrante 10
- CETEMET lleva a Linares la organización del XV Congreso Nacional de Tratamientos Térmicos y de Superficie en 2017 (TRATERMAT) 12
- Algunas consideraciones sobre los aceros de construcción de maquinabilidad mejorada - *Por Manuel Antonio Martínez Baena* 16
- Comportamiento del acero dúplex 2205 con tratamiento de nitruración por plasma en ambiente ácido y sometido a erosión - *Por M. Victoria Biezma Moraleda, Alberto Rey Ruiz e Ignacio Cobo Ocejo* 28
- "En aras de una disminución en los costes de producción a través de la reducción del consumo energético en el calentamiento por inducción" - *Por Collin A. Russell y Eugenio Pardo* 36

EMPLEO 43

Guía de compras 44

Indice de Anunciantes 48

Síguenos en

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

PEDECA PRESS PUBLICACIONES S.L.U.
Goya, 20, 1º - 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: **DELEY**
Impresión: **Villena Artes Gráficas**

Redactor honorífico: José María Palacios

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

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

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

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

Queda prohibida la reproducción total o parcial de cualquier texto o artículo publicado en TRA-

Asociación colaboradora
ASAMMET Asociación de Amigos de la Metalurgia

Editorial

El mercado de turismos en Europa comienza al alza, que según **ANFAC** en enero ha sido del 6,2% con 1.060.000 unidades.

En cambio en España, el incremento ha sido del 12,1 % con 76.400 unidades, es decir hemos duplicado el europeo en solamente un mes.

Pero no sólo el automóvil está "subiendo", la industria aeronáutica en España también crece y para mayo del 10 al 13, está prevista la celebración de **Aerospace & Meeting** en Sevilla, donde más de 450 empresas exponen con unos 28 países representados, más de 8.000 reuniones están previstas y se prevé una gran asistencia.

Allí estaremos, cita obligada. Difundiremos a través de **TRATER Press**, nuestras compañías en este apasionado mercado de la subcontratación aeronáutica.

Antonio Pérez de Camino

HORNOS DE INDUCCIÓN
PARA FORJA INDUCTOFORGE DE INDUCTOTHERM

I-HAZ:
MAXIMIZA EL CONTROL DEL PROCESO

MODO STAND-BY:
MINIMIZA LOS RECHAZOS EN PARADAS Y ARRANCADAS

INDUCTOTHERM GROUP | IBERIA

- Fabricación local con tecnología de última generación
- Servicio de reparación local
- Servicio técnico local altamente cualificado
- Repuestos originales en stock
- Instalación y puesta en marcha
- Asesoramiento técnico

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

INDUCTOTHERM® GROUP

Leading Manufacturers of Melting. Thermal Processing & Production Systems for the Metals & Materials Industry Worldwide.

Worldwide Melting Group Companies
Seaford, Australia; Herstal, Belgium; Sau Paulo, Brazil; Shanghai, China; Droitwich, England; Paris, France; Simmerath, Germany; Ahmedabad, India; Irun, Spain; Kobe, Japan; Busan, Korea; Saltillo, Mexico; Taipei, Taiwan; Istanbul, Turkey; Rancocas, USA

20 aniversario PROYCOTECME Hornos Industriales

PROYCOTECME Hornos Industriales celebra orgulloso su 20 aniversario al servicio de los clientes de Tratamientos Térmicos, con un reestiling de su imagen estrenando logotipo y en breve con su nueva web y catálogo.

"Aprovechamos para dar las gracias a todos nuestros clientes y colaboradores por la confianza depositada en nuestro equipo, y animamos a todos aquéllos que requieran de asistencia técnica en tratamientos térmicos, que contacten con nuestro equipo de técnicos."

Son especialistas fabricando Hornos con atmósfera controlada para Temple, Cementación, Carbonitruración, Revenido, Recocido, Nitruración gaseosa y a sales, Nitrocarburación, Distensionado… Así como manufacturan recambios para todo tipo de hornos y diseñan utillajes (mecanosoldados y de fundición) para la mejora de procesos, adaptándose a las necesidades específicas de cada cliente. Cuentan con un experimentado departamento de Automatización y Control de procesos para la mejora de los tratamientos térmicos mediante programas y sistemas de última generación.

Info 1

Snapperworks de Axelent, tan simple como brillante

El sistema de dibujo propio de Axelent, Snapperworks, muy fácil de usar, permite a los clientes obtener una rápida idea de cuáles son las secciones que necesitan y cómo será el aspecto de paneles de malla. Todo está listo para que el usuario pueda hacer click, arrastrar y de esta manera, obtener un plano con todas las piezas que necesita.

Info 2

AFTA cambia de dirección y teléfono

Nos informan que AFTA se ha trasladado a la siguiente dirección y que ha cambiado de número de teléfono:

Asociación de Fabricantes de Tubo de acero soldado longitudinalmente y Accesorio de fundición maleable roscado para tubería –AFTA–

Pol. Ind. ATUSA-Agurain s/n
01200 Salvatierra (Álava)
Tel. 688 87 51 01

Siguen manteniendo la dirección de correo electrónico y la dirección de nuestra página web

afta@afta-asociacion.com

www.afta-asociación.com

Info 3

KIND&CO invierte en el mayor horno de vacío jamás construido

Los más de 35 años de experiencia en los tratamientos de aceros en hornos al vacío, ha hecho de Kind & Co un referente en este tipo de procesos.

El nuevo horno de revenido y nitruración AN2 –con una capacidad de carga hasta 7 Tn– fue puesto en funcionamiento en octubre de 2015 y opera como el complemento perfecto del gran horno de temple al vacio VA5 –con una capacidad de carga de 5,5 Tn–.

Además de un aumento significativo de la capacidad, esta nueva inversión ofrece la posibilidad

PORQUE
LA DIFERENCIA
SE MARCA
DESDE EL PRINCIPIO

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

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

ARROLA®

SERVICIO INTEGRAL
PARA INSTALACIONES
DE TRATAMIENTO TERMICO

SERVICIO INTEGRAL

PARA INSTALACIONES DE TRATAMIENTO TERMICO Y GALVANIZADO EN CALIENTE

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

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

de tratar, de manera óptima, con piezas acabadas de gran dimensión o varias piezas a la vez, en una atmósfera inerte. Debido al aumento de temperatura de funcionamiento de 850 °C, es posible el tratamiento con cualquier gas inerte o al vacío.

Este sistema con carga horizontal es capaz de realizar los procesos de nitruración y oxidación, incluso para piezas de gran tamaño, especialmente tratadas de acuerdo con los requisitos del cliente, ya que tiene un sistema de control de nitruración ultramoderno.

Info 4

OLSTRÄD y NOXMAT

Olsträd Engineering Corporation de Kent en Ohio (USA) y NOXMAT GmbH en Oederan (Alemania) tienen el orgullo de anunciar una estrategia conjunta entre las dos empresas.

Olsträd Engineering Corporation, es una empresa de ingeniería especializada en Sistemas de combustión con una excelente reputación en servicio al cliente, que ahora se encargan del márketing, ventas y servicio de los productos de NOXMAT en el Mercado de USA, Canadá y México.

NOXMAT es una empresa líder en construcción de quemadores a gas industriales, enfocados a la alta eficiencia en el tratamiento térmico y Sistema de recuperadores.

Info 5

AEROSPACE & DEFENSE MEETINGS SEVILLA 2016

Próximo número Especial

La revista **TRATER Press** estará presente con stand en el evento

Reserve su publicidad

91 781 77 76 o pedeca@pedeca.es

ENCUENTROS DE NEGOCIOS INTERNACIONALES DE LA INDUSTRIA AEROSPACIAL Y DE DEFENSA

AEROSPACE & DEFENSE MEETINGS SEVILLA 2016

Andalusia moving forward with Europe

450 Empresas

8 000 Reuniones 1 a 1 pre organizadas

28 Países representados

SEVILLA - ESPAÑA
10 -13 MAYO, 2016

invest in Andalucía SPAIN

- **A&DM Sevilla es el único evento** en España dedicado a la subcontratación de la industria aeroespacial
- La pasada edición de A&DM Sevilla contó **con la presencia de las más notorias empresas aeroespaciales**:

  AERNNOVA – AIRBUS - AVIC - AVIO AERO - BOEING COMMERCIAL AIRPLANES - COMAC - CESA DAHER-SOCATA - DASSAULT AVIATION - EATON AEROSPACE - EMBRAER - ROCKWELL COLLINS - SAFRAN WESCO AIRCRAFT...
- Algunos líderes industriales y otras OEMs ya se han comprometido a participar en la edición de 2016

Lista de participantes y registro:

www.bciaerospace.com/sevilla o sevilla@advbe.com

Organizado por :

abe advanced business events · European Union · Junta de Andalucía Consejería de Economía y Conocimiento · extenda Trade Promotion Agency of Andalucía

Apoyos Industriales en 2014 :

AIRBUS GROUP · AERnnova ANDALUCÍA · ACITURRI · ALESTIS AEROSPACE · sofitec

SCI-Suministro y Calibración Industrial obtiene acreditación ENAC

La acreditación ENAC para normativas especiales de tratamientos térmicos, acaba de obtenerse por parte de SCI, empresa especializada en el control de la temperatura, fabricante de sensores de temperatura y laboratorio de calibración acreditado ENAC, proveedor especializado de empresas de tratamiento térmico.

Este laboratorio de calibración de temperatura, con acreditación ENAC desde hace más de 10 años, recientemente y con fecha de Julio 2015, ha ampliado su alcance acreditado ENAC para la realización de calibraciones de normativas especializadas de tratamientos térmicos:

- Aeronáutica: NADCAP-AMS-2750-E, CASA1036.
- Internacional: ASTM A991/991M-10.
- Automóvil: CQI9 rev.3.
- Petroquímica: API 6A.

Estas nuevas acreditaciones incluyen la realización de pruebas TUS, SAT, calibración de termopares e instrumentación y les proporciona uno de los alcances más extensos y especializados de España.

Han creado un departamento especializado en dichas normativas para solucionar dudas y consultas de sus clientes.

Puede consultar el alcance completo en:
www.sciempresa.com o en www.enac.es

Estas nuevas acreditaciones son un reconocimiento a la competencia técnica y al conocimiento de las normativas, que aseguran a los clientes un trabajo fiable y con garantía.

Pioneros en España en este tipo de calibraciones, cuentan entre sus clientes con más de 20 empresas acreditadas NADCAP, CQI9, CASA o API6 y realizando más de 150 calibraciones TUS en el último año.

ENAC
Entidad Nacional de Acreditación

Otorga la presente / Grants this

ACREDITACIÓN
149/LC10.107

a la entidad técnica / to the technical entity

SUMINISTRO Y CALIBRACIÓN INDUSTRIAL, S.L.

Según criterios recogidos en la Norma UNE-EN ISO/IEC 17025, para la realización de CALIBRACIONES definidas en el ANEXO TÉCNICO adjunto.

According to the criteria in UNE-EN ISO/IEC 17025 for the performance of Calibrations as defined in the attached Technical Annex.

Fecha de entrada en vigor / Coming into effect: 30/07/2004

D. Antonio Muñoz Muñoz
Presidente
17 de septiembre de 2012

La acreditación mantiene su vigencia hasta notificación en contra. Este documento no tiene validez sin su correspondiente anexo técnico, cuyo número coincide con el de la acreditación.
La presente acreditación y su anexo técnico están sujetos a modificaciones, suspensiones temporales y retirada. Su vigencia puede confirmarse en www.enac.es.

The accreditation maintains its validity unless otherwise stated. The present accreditation is not valid without its corresponding technical annex, which number coincides with the accreditation. This accreditation and its technical annex could be revoked, temporarily suspended and withdrawn. The state of validity of it can be confirmed at www.enac.es.

ENAC es firmante del Acuerdo Europeo de Reconocimiento Mutuo firmado entre Organismos Nacionales de Acreditación (www.european-accreditation.org).
ENAC is signatory of the European Recognition Agreement signed among National Accreditation Bodies (www.european-accreditation.org)

metalmadrid `16

IX FERIA INDUSTRIAL de la COMUNIDAD DE MADRID

JUNTO A

2016 16 Y 17 NOV. PABELLON 4

ROBOMATICA

COMPOSITE SPAIN

ABIERTO EL PERIODO DE RESERVAS

Para cualquier consulta escribenos a comercial@metalmadrid.com

Patrocinan

Hoffmann Group — Tools to make you better

TRUMPF

FUCHS — LUBRICANTS. TECHNOLOGY. PEOPLE.

SCHUNK

Colaboran

AIRBUS

Talgo

Gestamp

Comunidad de Madrid

¡MADRID!

Organiza

grupo metalia

WWW.METALMADRID.COM

WWW.COMPOSITESPAIN.COM · WWW.ROBOMATICA.ES

wire 2016 y Tube 2016: ambos ramos miran con optimismo el año entrante

Del 4 al 8 de abril de 2016, estas dos ferias líderes mundiales (wire, feria monográfica internacional del alambre y el cable, y Tube, feria monográfica internacional del tubo) presentarán conjuntamente por décimo quinta vez en el recinto ferial de Düsseldorf, los hitos tecnológicos de sus respectivos ramos.

En conjunto la coyuntura internacional presenta un cariz favorable, a pesar de ciertos imponderables en la zona euro y de la crisis de Ucrania. Los pronósticos coinciden en estimar que en 2015 la economía mundial crecerá en torno al 2% ó 3%.

wire presenta en una superficie de más de 56.000 metros cuadrados maquinaria para fabricación y transformación de alambre, herramientas y materiales auxiliares de tecnología de procesos, así como materiales, alambres especiales y cables. Además se presentan innovaciones en las áreas de tecnología de medición, control y regulación, así como tecnología de ensayo y áreas especiales.

La feria monográfica internacional del alambre y el cable se centra en las áreas de maquinaria para alambre, cable y fibra óptica y en productos y distribución de alambres y cables en los pabellones 9 a 13 y los pabellones 16 y 17. Las innovaciones en tecnología de transformación se muestran en el pabellón 15. El pabellón 16 abre sus puertas a las áreas de maquinaria de soldadura de malla y de tecnología de fabricación de muelles. Hasta ahora han anunciado su presencia más de 1.200 empresas de 50 países.

Tradicionalmente cuentan con una intensa presencia expositores de Italia, Bélgica, Francia, España, Austria, Países Bajos, Suiza, Turquía, Gran Bretaña, Suecia y Alemania. De otros continentes hay numerosas solicitudes de Estados Unidos, Corea del Sur, Taiwán, India, Japón y China.

Tube, la feria monográfica internacional del tubo, muestra en más de 46.000 metros cuadrados toda la gama completa de fabricación de tubos, desde el procesamiento hasta el mecanizado, así como el área de la distribución.

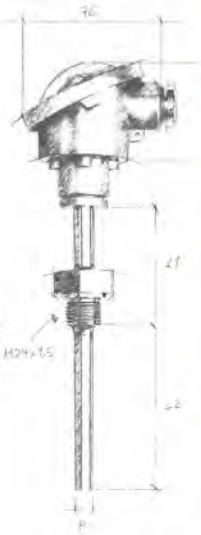
La oferta abarca desde materiales en bruto y tubos y accesorios hasta maquinaria para fabricación de tubos y maquinaria de ocasión, pasando por herramientas de tecnología de procesos, medios auxiliares y tecnología de medición, control, regulación y prueba. Los oleoductos y el ámbito de la tecnología OCTG, los perfiles y la maquinaria, así como el foro PTF (Plastic Tube Forum) completan la oferta. Hasta ahora hay solicitudes de alrededor de 1.170 expositores de 49 países.

En 2014 se alcanzó el mayor récord de todos los tiempos en la producción de acero: 165 millones de toneladas, un 8% más que el año anterior. En cualquier caso, en el mercado mayorista de tubos también hubo excedentes de capacidad.

En Tube los países con mayor representación también son Italia, Gran Bretaña, Países Bajos, Austria, Suiza, Polonia, España, Turquía y Alemania. De otros continentes el mayor número de expositores proviene de Estados Unidos, India, Corea del Sur y China.

FABRICACIÓN SENSORES DE TEMPERATURA

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



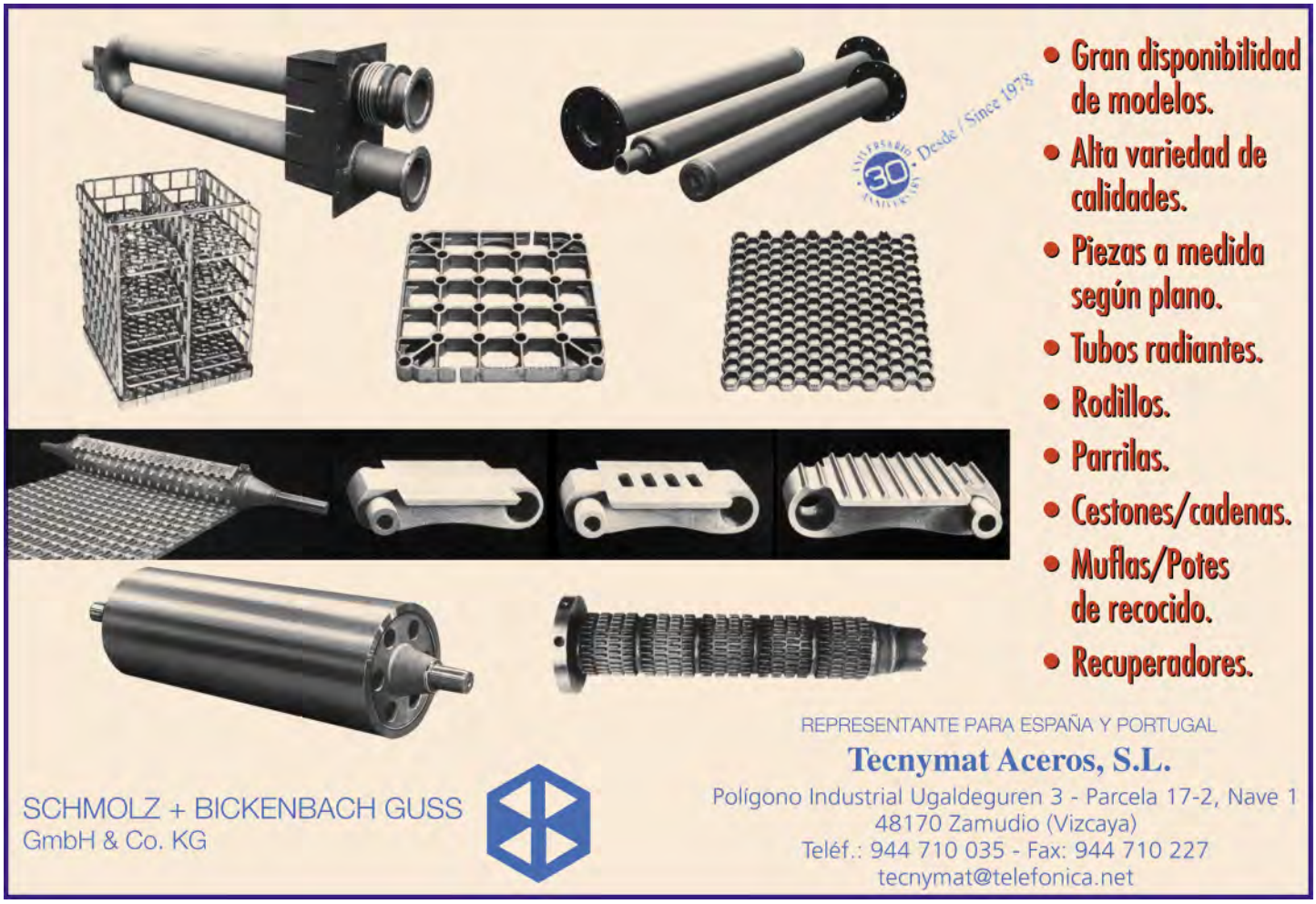
LABORATORIO CALIBRACIÓN in situ

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

Suministro y Calibracion Industrial s.l.

www.sciempresa.com

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



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

SCHMOLZ + BICKENBACH GUSS GmbH & Co. KG

REPRESENTANTE PARA ESPAÑA Y PORTUGAL

Tecnymat Aceros, S.L.

Polígono Industrial Ugaldeguren 3 - Parcela 17-2, Nave 1
48170 Zamudio (Vizcaya)
Teléf.: 944 710 035 - Fax: 944 710 227
tecnymat@telefonica.net

CETEMET lleva a Linares la organización del XV Congreso Nacional de Tratamientos Térmicos y de Superficie en 2017 (TRATERMAT)

El Centro Tecnológico Metalmecánico y del Transporte, CETEMET, en colaboración con la Universidad de Jaén, organizará el próximo Congreso Nacional de Tratamientos Térmicos y de Superficie (TRATERMAT), que se celebrará en septiembre de 2017 en el Campus Científico y Tecnológico de la localidad jiennense de Linares.

La primera reunión de coordinación se ha producido en las instalaciones linarenses del Campus Científico y Tecnológico durante el encuentro que han mantenido Manuel Carsí, investigador científico del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM); Alberto Pelayo, director de Tecnología División Industria y Transporte de TECNALIA; Patricia Blanco, responsable de Comunicación y Marketing del Centro Tecnológico AIMEN; y Francisco Javier Iglesias y Francisco Antonio Corpas, investigador y catedrático de la Universidad de Jaén, respectivamente, con Ángel David Fraile, gerente de CETEMET.

Campus Científico y Tecnológico de Linares, lugar donde se celebrará TRATERMAT 2017.

Se trata de un acontecimiento bienal, que cuenta con una gran relevancia y prestigio a nivel nacional en el ámbito científico y tecnológico, donde acuden los más reconocidos investigadores y académicos, así como jóvenes universitarios, emprendedores y representantes de empresas e instituciones involucradas en la aplicación, implantación, desarrollo e investigación de los tratamientos térmicos y de las tecnologías de superficies.

Además, se pretende que para la siguiente edición de 2017, que será la vigesimoquinta desde que en 1984 tuviera lugar la primera, este evento eleve su categoría a nivel internacional y se celebre en paralelo el I Congreso Internacional de Fabricación Avanzada. El objetivo de esta nueva cita es considerar todos los procesos de fabricación relacionados con TRATERMAT, al mismo tiempo que ampliar el campo de trabajo hacia aquellos otros procesos que tienen que ver con la Fabricación Avanzada, fundamentales para conseguir los objetivos de reindustrialización industrial planteados en Europa.

Según explica Patricio Lupiáñez, presidente de CETEMET, “el hecho de traer a Linares este relevante congreso nacional fue tratado por un grupo heterogéneo de investigadores, centros tecnológicos y empresas, entre otras entidades, durante la celebración de la última edición de TRATERMAT 2015, organizada por el Centro Tecnológico AIMEN el pasado mes de septiembre en la localidad pontevedresa de Porriño”.

El Campus Científico y Tecnológico de Linares, lugar donde se celebrará TRATERMAT 2017, es un espacio innovador que integra las actividades rela-

Primera reunión de coordinacion para TRATERMAT 2017.

cionadas con formación especializada para directivos, formación universitaria, formación profesional y ocupacional, I+D+i e incubación de nuevos proyectos emprendedores.

Su objetivo es conectar todos estos procesos estratégicos para la generación de conocimiento, el fomento de la competitividad empresarial y el estímulo de la actividad económica, de modo que mediante I+D se responda a las demandas tecnológicas, industriales y empresariales. Y todo ello orientado hacia las necesidades de la comarca de Linares, donde el sector metalmecánico y del transporte tiene un peso fundamental, y trabajando en estrecha alianza con las principales empresas e instituciones del entorno.

Ubicado en terrenos cedidos a la Universidad de Jaén por el Ayuntamiento de Linares, en la actualidad están finalizadas las obras de la primera fase, que incluye la urbanización y construcción del complejo de Laboratorios de I+D, el edificio de los servicios centrales del Campus y Biblioteca, el Aulario y el Pabellón polideportivo cubierto. La inversión realizada para esta primera fase ha superado los 51 millones de euros, incluyendo la urbanización y la construcción de sus edificios. De hecho, el Campus funciona como centro universitario desde el mes de septiembre de 2015.

Las titulaciones que se imparten están relacionadas con la ingeniería, como son los Grados en Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Telecomunicaciones, Telemática, Química, Recursos Energéticos, Ingeniería Civil y Tecnologías Mineras. En cuanto a su oferta de Másteres, se imparten el Máster Universitario en Ingeniería del Transporte Terrestre y Logística, Máster Universitario en Ingeniería de los Materiales y Construcción Sostenible y Máster Universitario en Ingeniería de la Telecomunicación.

GRANDES RESULTADOS GRANDES ACCIONES

FERIA INDUSTRIAL

EXPOSICIÓN DE PROVEEDORES INDUSTRIALES

14-17 / ABR / 2016
LA PAZ - BOLIVIA

www.tecnoeventos.org

/Tecno-Eventos-Industria-Ferial

Telf.:(591-3) 334 8742
Cel.: (591) 750 04282
info@tecnoeventos.org

Campo Ferial Chuquiago MARKA

TECNOEVENTOS INDUSTRIA FERIAL

Las Pampitas COMPLEJO CAMPESTRE

RITZ APART HOTEL ALL SUITES EXCELENCIA EN SERVICIOS

Importaciones

Energy Press ENERGÍA & NEGOCIOS 15 años

www.marcosempertegui.com

Safe Cronite
L'esprit industriel

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

Cintas de eslabones

Montajes estándar y personalizados | Platos, Parrillas, Cestas | Montajes hornos de pote | Rodillos | Turbinas, Guías | Grafito, CFC

SAFE Cronite - Ilárraza, 14 - 01192 ILARRAZA (ALAVA)
Tfno.: 609 429 325 - Fax: +33 243 212 463 - E-mail: maricarmen.garcia@safe-cronite.com - www.safe-cronite.com

AEROSPACE & DEFENSE MEETINGS SEVILLA 2016

Próximo número Especial

La revista **TRATER Press** estará presente con stand en el evento

Reserve su publicidad
91 781 77 76 o pedeca@pedeca.es

Algunas consideraciones sobre los aceros de construcción de maquinabilidad mejorada

Por Manuel Antonio Martínez Baena, Ingeniero Metalúrgico

1. Introducción

Los **aceros de maquinabilidad mejorada** están enmarcados dentro de un grupo de aceros finos de construcción mecánica, aleados y al carbono, que además de presentar una composición adecuada, para obtener las características mecánicas y/o físicas más convenientes; y que, de acuerdo con unos determinados usos y empleos, se les añade a su composición uno o varios elementos –*azufre* (**S**), *plomo* (**Pb**), *selenio* (**Se**), *teluro* (**Te**), *bismuto* (**Bi**), *calcio* (**Ca**), etc.–, con el fin de aumentar la maquinabilidad.

Definida la maquinabilidad, como la aptitud a su puesta en forma o hechurado de un material en piezas de dimensiones determinadas y con el acabado superficial preciso, obtenido mediante el mecanizado por arranque de viruta. El resultado final de las operaciones de mecanizado depende, por tanto, de las interacciones que se producen en el conjunto máquina-herramienta y el material a mecanizar.

La maquinabilidad de los aceros de construcción mecánica puede ser mejorada controlando su composición, al mismo tiempo que la morfología y naturaleza de las inclusiones correspondientes. La composición está particularmente caracterizada por los elementos apropiadamente añadidos a la composición química del acero en cuestión: azufre (**S**), plomo (**Pb**), bismuto (**Bi**), selenio (**Se**), teluro (**Te**), calcio (**Ca**), ..., etc. Tales elementos forman inclusiones, más o menos complejas, que ocasionan una mejora espectacular del índice de maquinabilidad del material, en aquellos trabajos de mecanizado donde, preferentemente, se utilizan velocidades de corte bajas y medias: **Vc** = [(75 ¸125) m/min.].

2. ACEROS DE MAQUINABILIDAD MEJORADA

El diseño y desarrollo de los **aceros de maquinabilidad mejorada**, está basado en la necesidad de presentar en el mercado un conjunto de aceros, que garanticen ciertas características mecánicas y tecnológicas del material en servicio, junto a una mejora de su maquinabilidad. El grupo de aceros de maquinabilidad mejorada ha sido recientemente elevado al nivel de normas **UNE-EN** y pertenecen a este grupo: (1) aceros de construcción al carbono; (2) aceros aleados de construcción bonificables; (3) aceros de cementación; y (4) aceros inoxidables; **tabla I**.

Los aceros se suministra de una forma regular, en barras con superficie de calibrado por estirado; ba-

ACEROS DE MAQUINABILIDAD MEJORADA
ACEROS CON ADICION DE PLOMO (*)
1. composición base + (0,10 ÷ 0,30%)Pb.
2. composición base + (0,04 ÷ 0,09%)Pb.
ACEROS CON ADICION DE AZUFRE + TELURO O SELENIO (*)
1. composición base + (0,02 ÷ 0,04%)S + Te (Se). (**)
2. composición base + (0,04 ÷ 0,07%)S + Te (Se). (**)
3. composición base + (0,08 ÷ 0,13%)S + Te (Se). (**)
ACEROS CON ADICION DE CALCIO (*)
1. composición base + Ca
2. composición base + (0,04 ÷ 0,07%)S + Ca.
3. composición base + (0,04 ÷0,09%)Pb (Bi) + Ca. (***)
4. composición base + (0,10 ÷ 0,30%)Pb (Bi) + (0,04 ÷ 0,07%)S + Ca (***)
(*) Composición base = [aceros al carbono, aleados, e inoxidables]. (**) El teluro (Te) se puede sustituir por el selenio (Se) casi en la misma proporción (***) El plomo (Pb) se puede sustituir por el bismuto (Bi) casi en la misma proporción

Tabla I. *Principales composiciones químicas de aceros de maquinabilidad mejorada.*

rras que, eventualmente pueden sufrir además, un tratamiento térmico –*bonificado*, *normalizado*, etc.– y, posteriormente, mecanizarse en forma de piezas; que, en la mayoría de los casos, pueden acabarse a cotas y/o a geometrías finales para su montaje y uso directo en el mecanismo correspondiente

El efecto beneficioso del **azufre** (S) sobre la maquinabilidad, reiteradamente indicado en los aceros de fácil maquinabilidad, se empieza a demostrar con pequeñas cantidades añadidas a los aceros de maquinabilidad mejorada. Así el sector del automóvil comenzó a solicitar en los aceros de construcción clásicos, porcentajes de azufre reducidos [**S** = (0,025 ÷ 0,035%)], con la pretensión de mejorar la maquinabilidad. Esto ha llevado a un mayor empleo de aceros de maquinabilidad mejorada con contenidos de azufres bajos, de 0,07% y hasta 0,10% máximo [**S** = (0,07 ÷ 0,10%)]. La presencia de inclusiones y de sulfuros globulares en su estructura, permite mantener las características mecánicas típicas de los aceros base, al mismo tiempo que experimentan sustanciales mejoras de maquinabilidad, hasta un 30 por 100 (30%) mayores.

Ensayos de fatiga efectuados sobre piezas del automóvil, tales como manguetas y ejes de transmisión, fabricados de aceros aleados de construcción con bajo azufre [**S** = (0,067 ÷ 0,10%)], han confirmado unos resultados que están dentro de los parámetros normales del uso y empleo de los aceros base sin azufre. Todo ello gracias al mayor conocimiento adquirido sobre el papel del tamaño y morfología de los sulfuros y demás inclusiones.

El **plomo** (Pb) es otro de los elementos utilizados para mejorar la maquinabilidad de los aceros de construcción convencionales. Su contenido, cuando está presente en tales aceros, es aproximadamente de 0,20 por 100 [**Pb** = (0,15 ÷ 0,35%)]. Realmente los aceros al plomo (**Pb**) de maquinabilidad mejorada, tienen una superior tenacidad y una ductilidad comparable con los aceros al azufre (**S**), pero su resistencia a la fatiga por rodadura bajo altas presiones superficiales es muy baja; motivo éste por el cual haya una circunstancial limitación en la industria del automóvil. Debido a esa baja fatiga y, asimismo, a los conocidos problemas de contaminación que ocasiona el plomo, se está condicionando la fabricación de tales aceros. No obstante, se fabrican en la actualidad aceros con un reducido contenido de plomo [**Pb** = (0,04 ÷ 0,08%)], que mejoran la resistencia a la fatiga por rodadura bajo presión, sin sacrificio aparente de la maquinabilidad.

Los aceros de maquinabilidad mejorada al **bismuto** (Bi) ha sido la última tecnología incorporada a la de fabricación de este grupo de aceros que satisface las necesidades actuales de los mecanizadores en general y del sector de la industria del automóvil en particular. La técnica de elaboración de tales aceros, se basa en la utilización de elementos de aleación de bajo punto de fusión: el **bismuto** (Bi). Elemento éste muy similar química y físicamente al elemento plomo (**Pb**), pero con la ventaja de su completa no toxicidad y de un superior efecto beneficioso sobre la aptitud al corte por arranque de viruta –**figura 1**–, al mismo tiempo que se mantienen constantes las potenciales características mecánicas del acero base. La acción del bismuto (**Bi**) sobre las operaciones de mecanizado tiende a reducir los efectos de adhesión o agarre entre el material a mecanizar y la herramienta de corte. El bismuto se encuentra en la masa matricial del acero formando pequeñas inclusiones metálicas aisladas, o asociadas a los sulfuros de manganeso (**MnS**); **figura 2**.

ACERO 20NiCrMo2	E	Pb	Bi
Velocidad corte	100	110	115
Duración de herramienta	100	135	200
Tipo de viruta			

***Figura 1**. Índice de maquinabilidad y viruta de mecanizado característica del acero **20NiCrMo2**: **E** = acero de composición estándar; **Pb** = acero de maquinabilidad mejorada al plomo; **Bi** = acero de maquinabilidad mejorada al bismuto.*

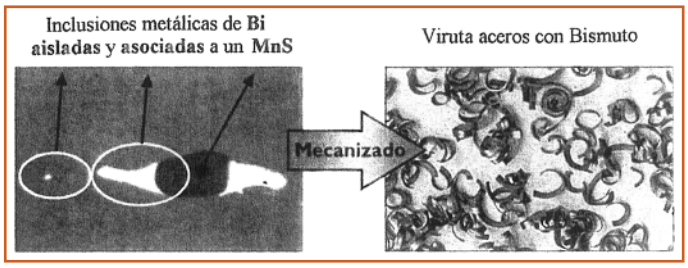


***Figura 2**. Imagen **SEM**: (1) inclusión aislada de bismuto (**Bi**); (2) inclusión asociada al sulfuro de manganeso (**SMn**). Viruta característica de mecanizado de los aceros al bismuto.*

En virtud de la temperatura que genera el mecanizado en la intercara herramienta-material a mecanizar, las pequeñas partículas de bismuto se funden formando un líquido viscoso fragilizante que ayuda a romper y a desprender la viruta. Este efecto es, prácticamente, similar al llevado a cabo por plo-

mo o por el azufre a través de los sulfuros de manganeso (**MnS**), pero más intenso y efectivo en aquellas operaciones de mecanizado donde se utilizan bajas y medias velocidades de corte.

La utilización de los aceros tratados con **calcio** (Ca) permite aumentar la productividad de mecanizado, al mismo tiempo que asegura una mayor calidad del producto mecanizado: mejor acabado superficial, tolerancias de acabado más estrechas, mayor control del proceso y fiabilidad de resultados. En operaciones de alta velocidad de corte, *–cilindrado* y/o *refrentado–* con herramientas de metal duro, el incremento de la maquinabilidad puede alcanzar el 60 por 100 (**60%**); al mismo tiempo que se puede multiplicar por ocho la duración o vida útil de la herramienta.

Estudios más recientes realizados sobre los aceros de grano fino, calmados con aluminio (**Al**) o con silicio (**Si**) y tratados con calcio (**Ca**), han confirmado que ciertos tipos de óxidos *–alúminas* y *silicatos–*, por el efecto del calor generado, mediante la fricción intercara herramienta-material, son capaces de fundirse, formando entonces depósitos protectores sobre la superficie de ataque de la herramienta. Esto hace que disminuya muy mucho la acción abrasiva en todas las operaciones de mecanizado, incluso con velocidades de corte elevadas.

La acción del calcio (**Ca**) reduce el número de inclusiones de silicatos y forma, al mismo tiempo, inclusiones de óxidos más pequeñas y redondeadas; al envolverse, estas últimas, de una viscosa película de sulfuros mixtos asociados; **figura 3**. El calcio (**Ca**), añadido en cantidades apropiadas, provoca una modificación de las inclusiones más abrasivas –*alúminas* y *silicatos*– convirtiéndolas en compuestos más blandos, es decir, menos agresivos y, también, menos perjudiciales para las herramientas de corte.

Estas calidades de acero se caracterizan, así pues, por su proceso de elaboración que prevé el tratamiento con calcio (**Ca**) del metal en estado líquido.

Resumiendo: el calcio (**Ca**) añadido en cantidades apropiadas tiende a formar compuestos del tipo adecuado; a nivel de aluminatos de calcio, cuando se desoxida con aluminio (**Al**) o bien silicoaluminatos de calcio tipo **anortita**, cuando la desoxidación es con silicio (**Si**). En consecuencia, el tratamiento con calcio del acero líquido produce los efectos que se esquematizan en la **figura 4**.

- Desaparición de las cadenas o rosarios de alúminas con alta abrasividad.
- Reducción de los silicatos, para formar óxidos globulares pequeños y más blandos.
- Formación de una capa protectora de sulfuros [(**S(Mn,Ca)**] alrededor de las inclusiones duras de óxido [Al_2O_3; **MnO**; SiO_2].
- Al rodearse las inclusiones de la antes mencionada película viscosa de sulfuros mixtos, disminuye su acción abrasiva; circunstancia particularmente beneficiosa para las herramientas de mecanizado, ya que se logra un aumento significativo de las velocidades de corte [**Vc** = (250 ÷ 300 m/min)]. Sobre todo, en aquellas operaciones de mecanizado en las que la abrasión tenga un carácter predomi-

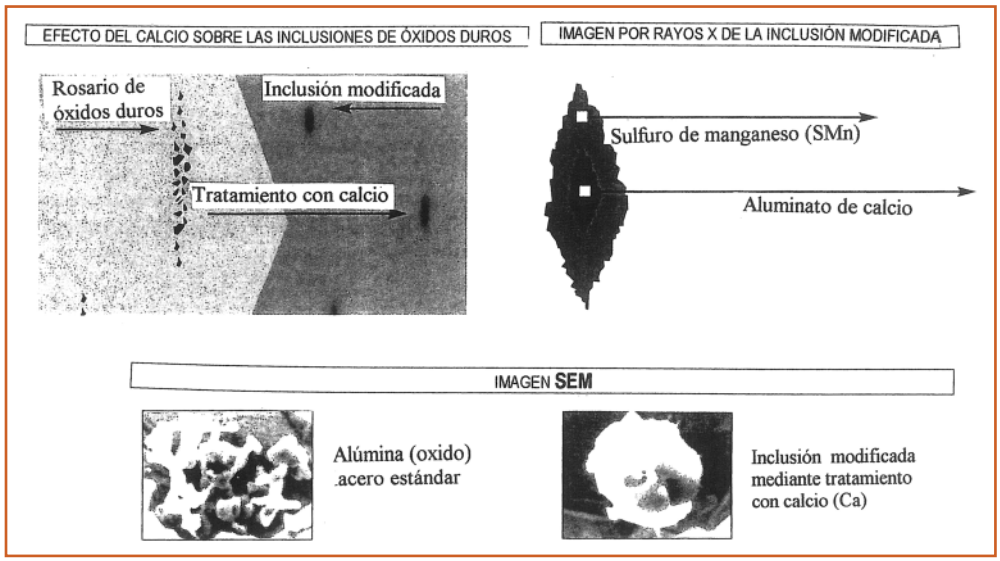


***Figura 3**. Efecto del calcio en los aceros sobre las inclusiones de óxidos duros.*

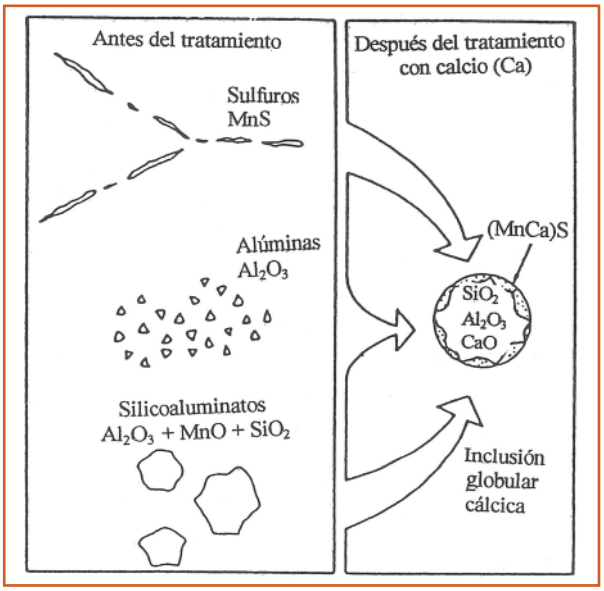


Figura 4. Representación esquemática del efecto del calcio sobre las inclusiones de óxidos duros. Inclusiones modificadas en sulfuros de manganeso y aluminatos de calcio.

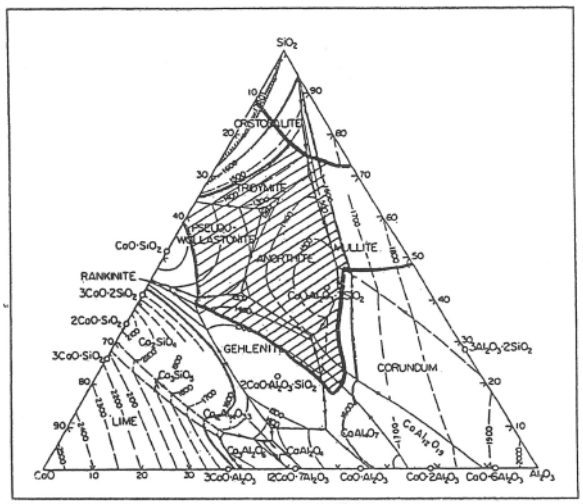
nante y, asimismo, en aquellas otras operaciones que la velocidad de corte no sea relativamente muy alta.

2.1. *Aceros desoxidados con aluminio y tratados con calcio*

Aceros calmados con aluminio que, después de la desoxidación en el baño de acero líquido, sufren una inyección de calcio (**Ca**) modificándose, de esta manera, el esquema de sus inclusiones, como ya antes se ha indicado. Se fabrican con este sistema: (1) aceros de cementación aleados *–de grano fino–* destinados a la construcción de engranajes; (2) aceros en los que las características mecánicas y las de templabilidad no se ven afectadas por el tratamiento de calcio (**Ca**); ni tampoco se altera la resistencia a la fatiga, a pesar de las reservas que puedan existir por la posible y eventual presencia de alúminas (**Al_2O_3**), muy duras y de cierto tamaño.

2.2. *Aceros tratados con calcio sin desoxidación previa*

Éste es un proceso atractivo de mejora de la maquinabilidad cuando el mecanizado se realiza a altas velocidades con herramientas, fundamentalmente, de metal duro. Si el acero líquido, con alto contenido de oxígeno (**O_2**), se desoxida después con calcio (**Ca**), las inclusiones presentes se regirán por un diagrama ternario que nos ofrece la presencia de algunos compuestos del tipo **Ca-Al-O** –**p.ej.** la ***anortita***– que tienen una temperatura de fusión y, asimismo, una dureza mucho más baja que la de la alúmina (**Al_2O_3**); y, por tanto, menos agresivas para las herramientas en operaciones de corte; **figura 5**.



TIPO DE INCLUSIÓN		DUREZA (HV)	PUNTO DE FUSIÓN (ºC)
Cristobalita	SiO_2	1600	1723
Rodonita	SiO_2MnO	760	1291
Tefroita	SiO_22MnO	960	1345
Corindon	Al_2O_3	4000	2060
ANORTITA	$Al_2O_3CaO2SiO_2$	860	1550
Gelenita	$Al_2O_32\ CaOSiO_3$	1200	1590
"	$CaO6Al_2O_3$	1950	2200
"	$CaOAl_2O_3$	1605	930
"	$12CaO7Al_2O_3$	1455	900

*Figura 5. Diagrama ternario del sistema **CaO-Al_2O_3-SiO_2** y cuadro indicativo: tipo de inclusión, dureza y punto de fusión Las inclusiones –silicatos y silicoaluminatos– en la zona rayada del diagrama [dominio de la **anortita**] son líquidas a temperatura de colada; todas ellas se comportan bastante bien en la laminación y, prácticamente, son más blandas que el resto.*

El uso y empleo de los **aceros de maquinabilidad mejorada** se considera justificado, cuando el volumen de material arrancado, viruta, es superior al 20 por 100 (> **20%**). La mejora de la maquinabilidad *–sin alterar significativamente las propiedades mecánicas del material–* se consigue, como hemos indicado, mediante la adición de determinados aleoelementos y, asimismo, mediante el control de las microinclusiones presentes en el acero. Factores éstos que mejoran el índice de maquinabilidad, entre el 30 y 60 por 100 (**30% ÷ 60%**), que difiere según sea el tipo y la técnica de elaboración de acero de construcción de maquinabilidad mejorada *–acero aleado, acero al carbono*, etc.–; en función del tipo de mecanizado, y de la velocidad de corte; **figura 6**.

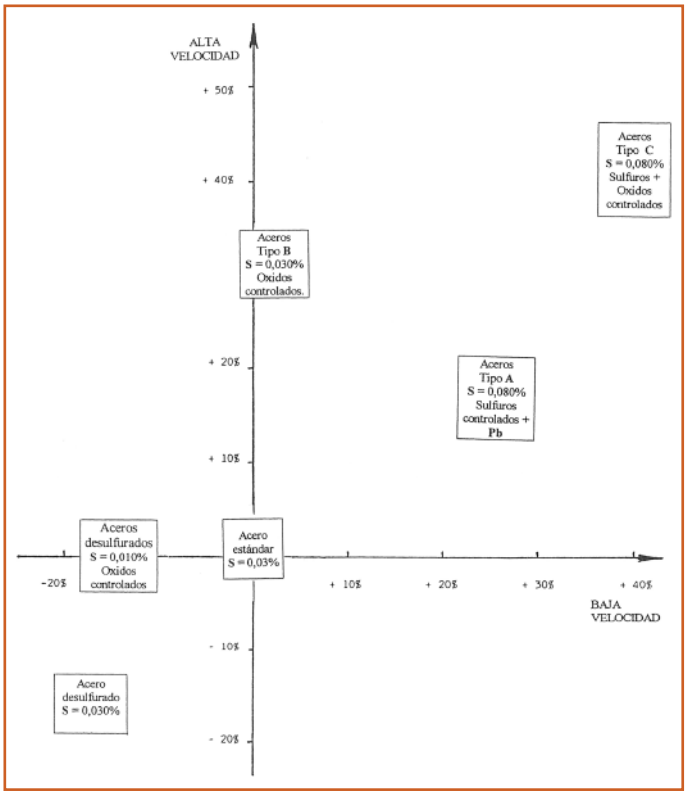


Figura 6. Índices de maquinabilidad relativa según las diferentes técnicas de elaboración de los aceros de maquinabilidad mejorada y de los elementos que entran en composición facilitando la mecanización.

El conjunto de modificaciones habidas en los aceros tratados con calcio (**Ca**), proporciona unas inclusiones menos abrasivas y menos concentradas, que facilitan muy mucho el mecanizado. Sobre todo a velocidades medias y altas de corte [**Vc** = (150 ÷ 300 m/min)] e incrementando, significativamente, la duración y el rendimiento del filo de las herramientas de corte, que a veces se ve multiplicado hasta por ocho.

Resumiendo: la finalidad principal por la cual se han desarrollado los aceros de fácil maquinabilidad y de maquinabilidad mejorada, ha sido la reducción de costes de mecanizado particularmente, considerando los siguientes puntos:

- *Mejora del rendimiento de mecanizado*. Que se logra mediante un aumento de la velocidad de corte y del avance, siendo este efecto tanto mayor cuanto mayor es, también, el coste de la mano de obra.

- *Reducción del coste total de herramientas*. Mediante la utilización de aceros de fácil maquinabilidad y/o de aceros de maquinabilidad mejorada, prolongamos la vida útil de la herramienta de corte; **figura 7**. Esto tiene, por tanto, una mayor importancia en la reducción del gasto de herramientas; y mayor también cuanto más difícil sea el rectificado de las mismas.

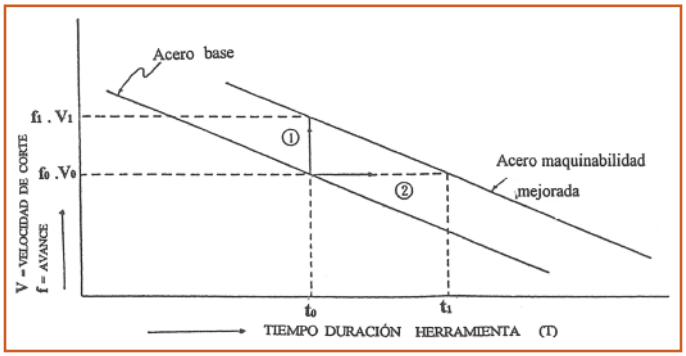


Figura 7. Comparación de la vida útil de la herramienta –duración– en el mecanizado de dos aceros, en función de la velocidad de corte y avance: (1) acero al carbono de construcción estándar; y (2) aceros de maquinabilidad mejorada.

- *Automatización de los procesos productivos*. En el mecanizado se puede lograr mayor automatización; ya que se obtiene una muy alta mejora en la fragmentación de la viruta. La automatización será tanto más rentable cuanto mayor sea también, el coste de la mano de obra.

3. Conceptos actuales de maquinabilidad mejorada

Las mejoras habidas en el de mecanizado de los **aceros de maquinabilidad mejorada**, como tantas veces ya hemos indicado, están basadas en el control de las inclusiones. Se considera positivamente, que el incremento del contenido de azufre [**S** = (0,070 ÷ 0,080%)] no supone ningún detrimento en las características mecánicas de empleo de las piezas correspondientes; siempre y cuando las inclusiones producidas están debidamente controladas, mediante la acción ejercida por aquellos elementos [**Se**, **Te**, **Bi**, etc.], que influyen muy mucho en el control y en la forma de tales inclusiones; **figura 8**.

Los aceros de este grupo, están diseñados de tal modo que su composición química ofrezca los mejores resultados en el mecanizado y para ello, hay que intentar conseguir los siguientes objetivos:

- Disminuir el efecto de corte por la optimización de la dureza del material.

Figura 8. La globulización de los sulfuros de manganeso (SMn) mejora la maquinabilidad a bajas y medias velocidades de corte, sin merma de las características mecánicas del material.

- Incrementar la fragilidad de la viruta, aumentando para ello el número de inclusiones de sulfuro de manganeso (**MnS**).

- Aumentar la lubricación de la herramienta de corte con la presencia en el acero de partículas de bajo punto de fusión, como son las que se forman mediante la adición de plomo (**Pb**) y/o de bismuto (**Bi**).

- Reducir abrasividad mediante la disminución de partículas duras en el acero, tales como las inclusiones de óxidos: alúminas y/o silicatos.

Para el alcance de todos estos objetivos es necesario la presencia en la composición química del acero de los elementos: azufre (**S**), plomo (**Pb**), selenio (**Se**), teluro (**Te**), bismuto (**Bi**). La acción de dichos elementos sobre la maquinabilidad, como ya antes se ha indicado, es de carácter aditivo, por lo que el efecto de cualquiera de ellos se suma a los efectos de los demás. Por otro lado la influencia de pequeñas adiciones de calcio (**Ca**), permite la transformación de las inclusiones duras de aluminio y de silicio (**Al**; **Si**) en compuestos más blandos, menos abrasivos y en consecuencia menos perjudiciales para la maquinabilidad del acero –**figura 9**– cuando se mecaniza, sobre todo a altas velocidades y con herramientas de metal duro.

Es práctica habitual, entre los principales fabricantes de este grupo de aceros especiales, combinar ambas técnicas en una misma calidad de acero, con lo que se consigue mantener controladas las inclusiones de sulfuros (**MnS**) y las alúminas (Al_2O_3); de tal forma que produzcan los mejores resultados en mecanizados de alta y baja velocidad, sin detrimento de las características mecánicas de uso y empleo de las piezas correspondientes; **figura 10**.

Aunque no se ha hecho mención hasta ahora de los aceros inoxidables, conviene destacar que los dos tipos más representativos de aceros inoxidables austeníticos [**AISI 304** (**X5CrNi18 10**) y **AISI 316** (**X5CrNiMo17 12 2**)] presentan variantes en las que se ha mejorado su maquinabilidad mediante tratamientos con calcio (**Ca**), manteniendo un contenido

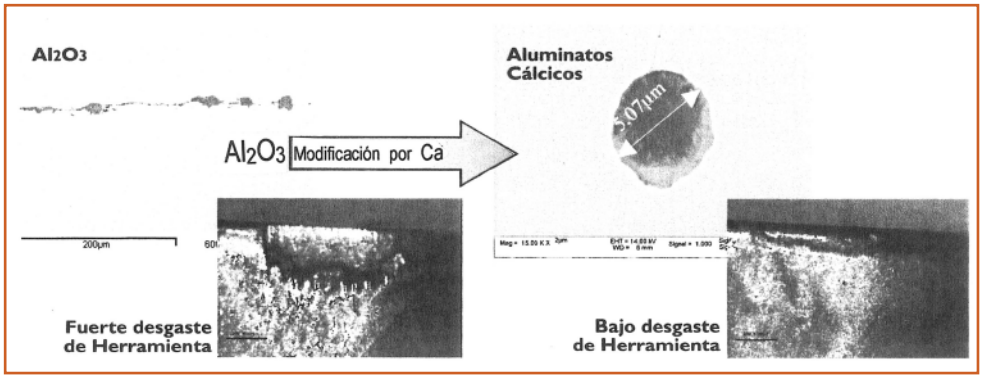


*Figura 9. Modificación de la composición y estructura de las inclusiones de óxidos duros (Al_2O_3).mediante el tratamiento con calcio (**Ca**). Se ablandan las inclusiones duras y se reduce la abrasión sobre las herramientas de corte, mejorando la aptitud de corte a altas velocidades.*

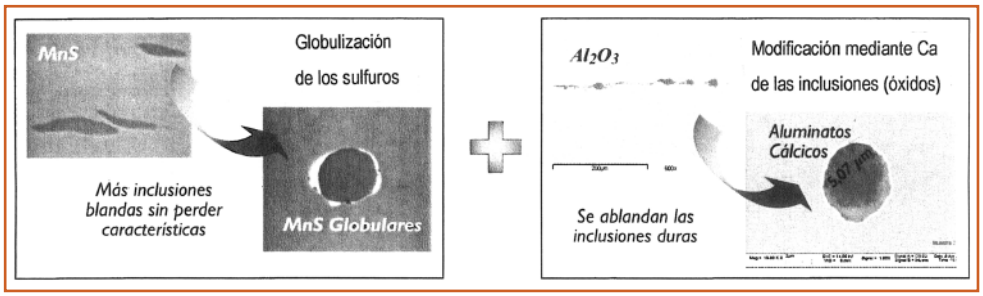


*Figura 10. El binomio: sulfuros de manganeso globulares + modificación de las inclusiones duras (**óxidos**) mediante Ca, optimiza los procesos de mecanizado a cualquier velocidad de corte, particularmente sobre barras ya bonificadas.*

de azufre controlado [**S** = (0,020 ÷ 0,030%)]; a diferencia de los clásicos aceros inoxidables de maquinabilidad mejorada con alto azufre; **p.ej. AISI 303** [**X6CrNiS18 9**]. El tratamiento con calcio (**Ca**) de los aceros inoxidables tiene efectos análogos a los ya comentados para el resto de los clásicos aceros de construcción estándar: es decir, provoca una fuerte disminución del contenido de inclusiones duras, –*silico-aluminatos*–, convirtiéndolas en fases complejas de óxidos globulares de menor dureza y menor punto de fusión: **aluminatos de calcio**; **figura 11**.

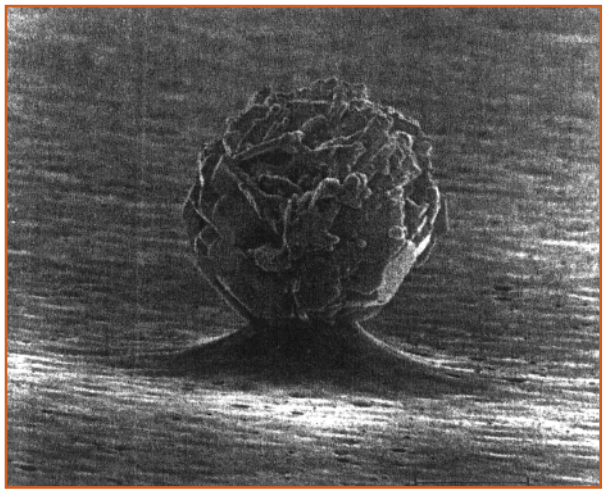


***Figura 11**. Imágenes **SEM** de una inclusión modificada mediante el tratamiento al calcio: **aluminato cálcico**. Inclusión de tipo globular que mejora muy mucho el mecanizado. Acero inoxidable **AISI 304**.*

En la **figura 12** se muestra el desgaste producido en herramientas de metal duro (**P15**) durante una operación de cilindrado a velocidad constante [Vc = 150m/min.]. Se puede observar que el acero con adición y tratamiento de calcio (**Ca**) ofrece resultados similares al acero **AISI 303** [**X5CrNiS18 9**], clásico acero inoxidable estándar de maquinabilidad mejorada con alto azufre [**S** = (0,25 ÷ 0,35%)].

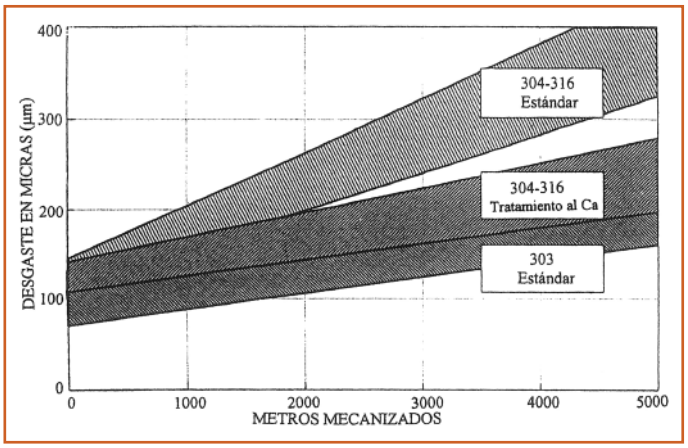


***Figura 12**. Desgaste sufrido por herramientas de metal duro (**P 15**) mecanizando el clásico acero inoxidable austenítico al azufre, **AISI 303**, comparado con el desgaste sufrido en los aceros inoxidables austeníticos **AISI 304** y **AISI 316** tratados con calcio.*

4. Las inclusiones y la maquinabilidad. Aspectos generales

El gran avance alcanzado en el campo de la mecanización de los aceros, mediante el arranque por viruta, está basado en el mejor conocimiento que se tiene de los mecanismos que rigen el desgaste de las herramientas de corte, junto con el mayor dominio de la **metalurgia en cuchara**, –*metalurgia secundaria* (**HCV**); **figura 13**– que ha permitido una mejora en el control de la forma y composición de las inclusiones, en la elaboración de los aceros finos de construcción en general. Este conjunto de factores ha permitido:

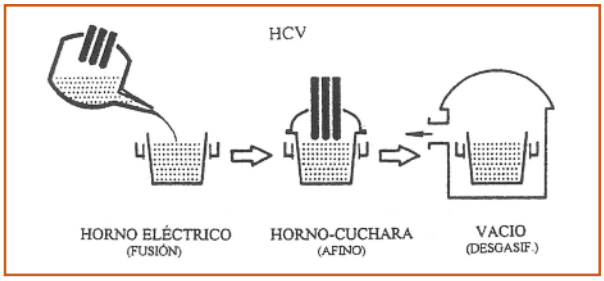


***Figura 13**. Esquema representativo del proceso de fabricación de los aceros de construcción y restos de aceros en general: Horno-Cuchara-Vacío [**HCV**].*

- Mejora de la maquinabilidad y reducción del consumo de herramientas en el mecanizado de aceros con el tratamiento térmico correspondiente.
- Facilitar el mecanizado de barras bonificadas con resultados parecidos a los obtenidos con los mismos aceros en estado de recocido.
- Mejora en el conformado por deformación plástica en frío, de aceros resulfurados destinados a piezas y que han de ser posteriormente, acabados mediante un mecanizado por arranque de viruta.

5. Mecanismos de desgaste en las herramientas de corte

Definida ya la maquinabilidad, como la aptitud de un material a su puesta en forma o hechurado en

piezas de unas dimensiones determinadas, y con el acabado superficial preciso obtenido mediante el mecanizado por arranque de viruta. El resultado final de las operaciones de mecanizado depende, por tanto, de las interacciones que se producen en el conjunto máquina-herramienta y el material a mecanizar. Los parámetros que influyen en el comportamiento de cada elemento del conjunto, así como los mecanismos que interactúan en las tres partes que lo integran, se expresan en el esquema siguiente; **figura 14**. Y nuestros comentarios se centrarán sólo en las mejoras potenciales que se pueden alcanzar en el propio material a mecanizar, no entrando en ningún otro campo.

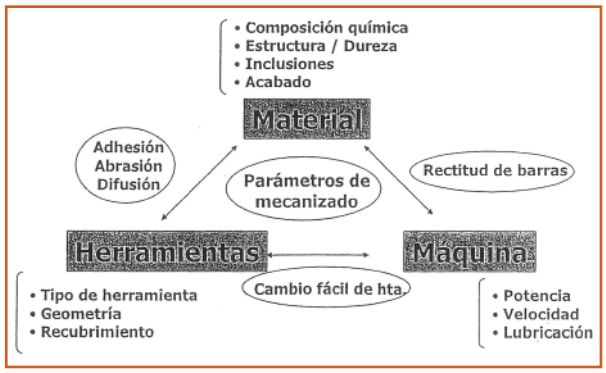


***Figura 14**. Esquema representativo de los parámetros que influyen en el comportamiento máquina-herramienta y material a mecanizar. Mecanismos que actúan y potencian la función de cada una de las variables del conjunto.*

Es importante conocer la interacción que se produce entre herramienta-material a mecanizar, ya que el desgaste de la herramienta determina la mayor o menor aptitud de un material a ser mecanizado. Este punto preocupa muy mucho al mecanizador; en cuanto que en las máquinas actuales, y/o en los centros de mecanizado, los tiempos muertos de trabajo por el cambio de herramental supone un importante componente del costo total del mecanizado.

La interacción que se produce entre herramienta-material, ha sido ampliamente estudiada en la literatura técnica que existe al respecto. En esta exposición comentaremos sólo, y muy superficialmente, las causas principales que producen el desgaste de las herramientas de corte. El rozamiento entre el material que se mecaniza y la herramienta cortante se produce, fundamentalmente, en dos zonas muy concretas de la herramienta; **figura 15**.

- Rozamiento entre la cara de ataque de la herramienta y la viruta que se va desprendiendo durante el mecanizado. Esta interacción produce un desgaste en la herramienta en forma de ¨cráter¨ (**KT**).

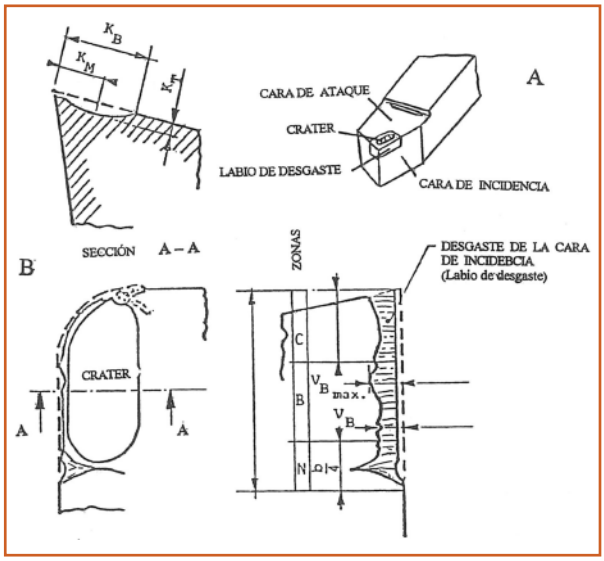


***Figura 15**. Esquema herramienta de corte y zonas de desgaste.*

- Rozamiento entre la cara de incidencia de la herramienta y la superficie del material mecanizado, produciéndose en aquella una marca o ¨labio de desgaste¨ (**VB**).

La intensidad de estas formas de rozamiento viene gobernada por un buen número de factores entre los cuales enumeramos:

- Resistencia a la cizalladura del material que se mecaniza.
- Su grado de endurecimiento por acritud.
- Su ductilidad y dureza.
- Coeficiente de fricción.
- Abrasividad de su constituyentes microestructurales.
- Geometría de la herramienta.
- Parámetros de mecanizado: velocidad, avance, profundidad de mecanizado.
- Lubricación.

Las fuerzas que intervienen en los procesos de mecanizado son del orden de 700 MPa, alcanzándose en condiciones y muy severas hasta 3.000 MPa. La potencia total consumida para vencer a tales fuerzas se emplea en las siguiente proporción: (1) 2/3 en la deformación plástica de la zona de cizalladura, para que se forme y arranque la viruta; y (2) 1/3 en el esfuerzo de rozamiento con la superficie mecanizada. Subsiste un pequeño esfuerzo residual

(< 2%), que, normalmente, se consume en el almacenamiento de las tensiones superficiales de la pieza mecanizada. El desgaste de la herramienta, básicamente, se origina por la interacción de tres mecanismos fundamentales: (1) adhesión; (2) abrasión; y (3) difusión.

5.1. *Desgaste por adhesión*

En las operaciones de mecanizado, y a consecuencia del fuerte rozamiento habido, se produce un efecto de microsoldadura –***adhesión***– entre la herramienta, la viruta desprendida y el material que se mecaniza. Cuando la resistencia de la viruta es menor que la resistencia de la microsoldadura y, asimismo, menor también que la resistencia del material mecanizado, se producen desprendimientos –*partículas*– de la propia viruta que se quedan adheridos a la herramienta, preferentemente en la zona de filo, formándose entonces, un depósito de material denominado **BUE** [Built-Up-Edge]. Depósito éste que ocasiona en la pieza una superficie de mecanizado no uniforme y en la herramienta el embotamiento del filo de corte.

En el caso de que el elemento de menor resistencia sean las partículas adheridas –*microsoldadura*–, se producen entonces arranques del propio material mecanizado, con un desgaste mínimo de la herramienta.

Por último, cuando el elemento más débil es el propio material de herramienta, se produce el arranque de partículas y el desgaste se sitúa, irremediablemente, en las caras de corte de la herramienta; tanto en la de ataque, ¨cráter¨, como en la de incidencia, ¨labio de desgaste¨; ver **figura 15**.

El **desgaste por adhesión** es típico del mecanizado de aceros blandos y se produce a bajas velocidades de mecanizado crecientes y próximas a los 85 metro por minuto [**Vc** = (80 ÷ 90 m/min.)], ya que a velocidades de corte más bajas no hay la suficiente intensidad de rozamiento para producir la adhesión de partículas por soldadura y la viruta simplemente se desliza. Cuando la velocidad de corte aumenta la temperatura que se genera también se incrementa, produciéndose entonces, el suficiente calor para que las partículas adheridas se desprenda y rompan fácilmente, por lo cual dejan de tener importancia. El efecto del desgaste por adhesión desaparece a velocidades de mecanizado medias-altas [**Vc** = (100 ÷ 130 m/min.)].

5.2. *Desgaste por abrasión*

El desgaste por abrasión es el resultado del intenso rozamiento sobre la herramienta de los constituyentes duros del material que se mecaniza, principalmente inclusiones no metálicas angulosas y duras, carburos, inclusiones de otro tipo, etc. El desgaste por abrasión, aunque siempre está presente, es proporcionalmente bajo a velocidades de corte pequeñas, ya que las fuerzas que intervienen no son suficientemente altas para producir una fuerte abrasión.

Esta forma de desgaste crece intensamente con velocidades de corte a partir de 100 metros por minuto [**Vc** ≥ 100 m/minuto], y es el principal causante de la muerte por agotamiento, de la herramienta cuando se mecaniza a velocidades mucho mayores [**Vc** ≥ 130 m/minuto].

5.3. *Desgaste por difusión*

Cuando se generan elevadas temperaturas en el mecanizado, que se originan por el contacto e intensidad de rozamiento entre herramienta-viruta desprendida, a muy altas velocidades de corte, se puede producir la difusión y emigración de algunos de los elementos aleantes de la herramienta.

Se produce, entonces, una degradación de la ¨nobleza¨ del propio material del que está fabricada a-

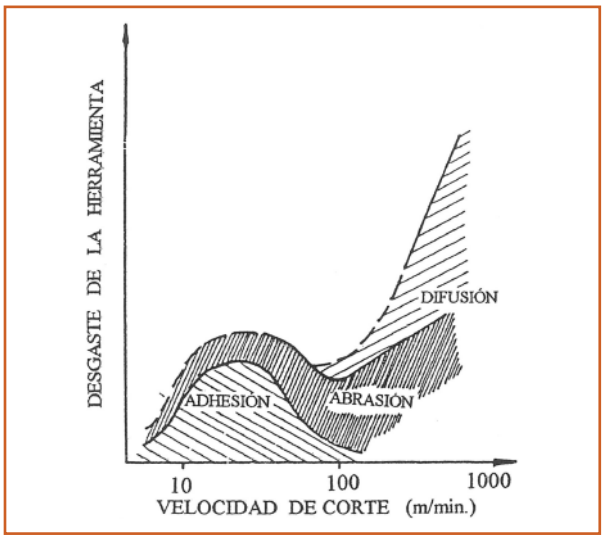


***Figura 16**. Relación entre la velocidad de mecanizado y la importancia relativa de los mecanismos de desgaste en la herramientas de corte.*

VELOCIDAD DE CORTE	OPERACIONES TÍPICAS DE MECANIZADO	MECANISMOS DE DESGASTE		
		ADHESIÓN	ABRASIÓN	DIFUSIÓN
Velocidades lentas Vc < 40 m/minuto	Brochado Escoriado Taladrado	2	0	0
Velocidades medias Vc = [60 ÷ 90] m/minuto.	Barrenado Fresado Torneado Hta. Acero rápido	1	0	0
Velocidades altas Vc = [95 ÷ 200] m/minuto Vc > 200	Torneado Htas. Metal duro Cerámica de corte	0 0	2 2	1 2
2 = Influencia muy importante; **1** = Influencia moderada; **0** = Influencia prácticamente nula				

Tabla II. *Influencia de los mecanismos de desgaste sobre alguna de las más usuales formas de mecanizado.*

quélla y como consecuencia de ello, hay una disminución de la resistencia al desgaste de la herramienta en cuestión.

La importancia relativa de los tres mecanismos fundamentales de desgaste viene expresada en la **figura 16** y **tabla II**.

6. Relación entre el mecanismo de desgaste y la velocidad de corte

A muy bajas velocidades de mecanizado –*brochado* y *taladrado profundo*– no hay suficiente intensidad de rozamiento para producir el efecto de microsoldadura y en consecuencia, la viruta desprendida simplemente se desliza sobre la superficie de corte de la herramienta.

A velocidades de corte crecientes –*fresado*, *tronzado*, *torneado con herramientas de acero rápido*– predomina el **desgaste por adhesión**: velocidades menores de 90 metro por minuto [**Vc** ≤ 90 m/min.].

Cuando la velocidad de mecanizado aumenta por encima de 90 metros por minuto [**Vc** > 90 m/min.] –*torneado con herramientas de metal duro*– aumenta, asimismo, la temperatura generándose entonces el suficiente calor para que las microsoldaduras rompan fácilmente y dejen de tener importancia.

El **desgaste por abrasión** aunque siempre está presente es, proporcionalmente, muy reducido en aquellas velocidades de mecanizado bajas, ya que las fuerzas que intervienen en el mecanizado no son lo bastante potentes para producir una abrasión relativamente fuerte.

El desgaste por abrasión crece de forma significativa cuando las velocidades de corte se sitúan por encima de 100 metros por minuto [**Vc** ≥100 m/min.].

Esta forma de desgaste, reiteramos, es la principal causante del agotamiento y muerte de las herramientas; sobre todo, en aquellas operaciones de mecanizado donde se utilizan velocidades por encima de los 100 metros por minuto [**Vc** = (100 ÷ 130)].

Finalmente, en el estado actual del conocimiento técnico-metalúrgico, la lucha contra el **desgaste por difusión** se reduce, de manera fundamental, al campo de las herramientas de mecanizado; y, por tanto, no es objeto de esta nuestra exposición. Sin embargo, si podemos indicar algunas y escuetas posibles soluciones:

- Sustitución de herramientas de carburos de volframio (**WC**) por herramientas de carburos de titanio (**TiC**) de mayor dureza.
- Utilización de herramientas de material cerámico –*cerámicas de corte*– debido, principalmente, a su menor velocidad de difusión.
- Tratamientos de revestimiento superficial de capas finas y duras –*deposición en fase vapor*... [**TiN**; **TiCN**; **AlTiN**)]– en herramienta fabricadas con aceros rápidos, o bien de metales duros.

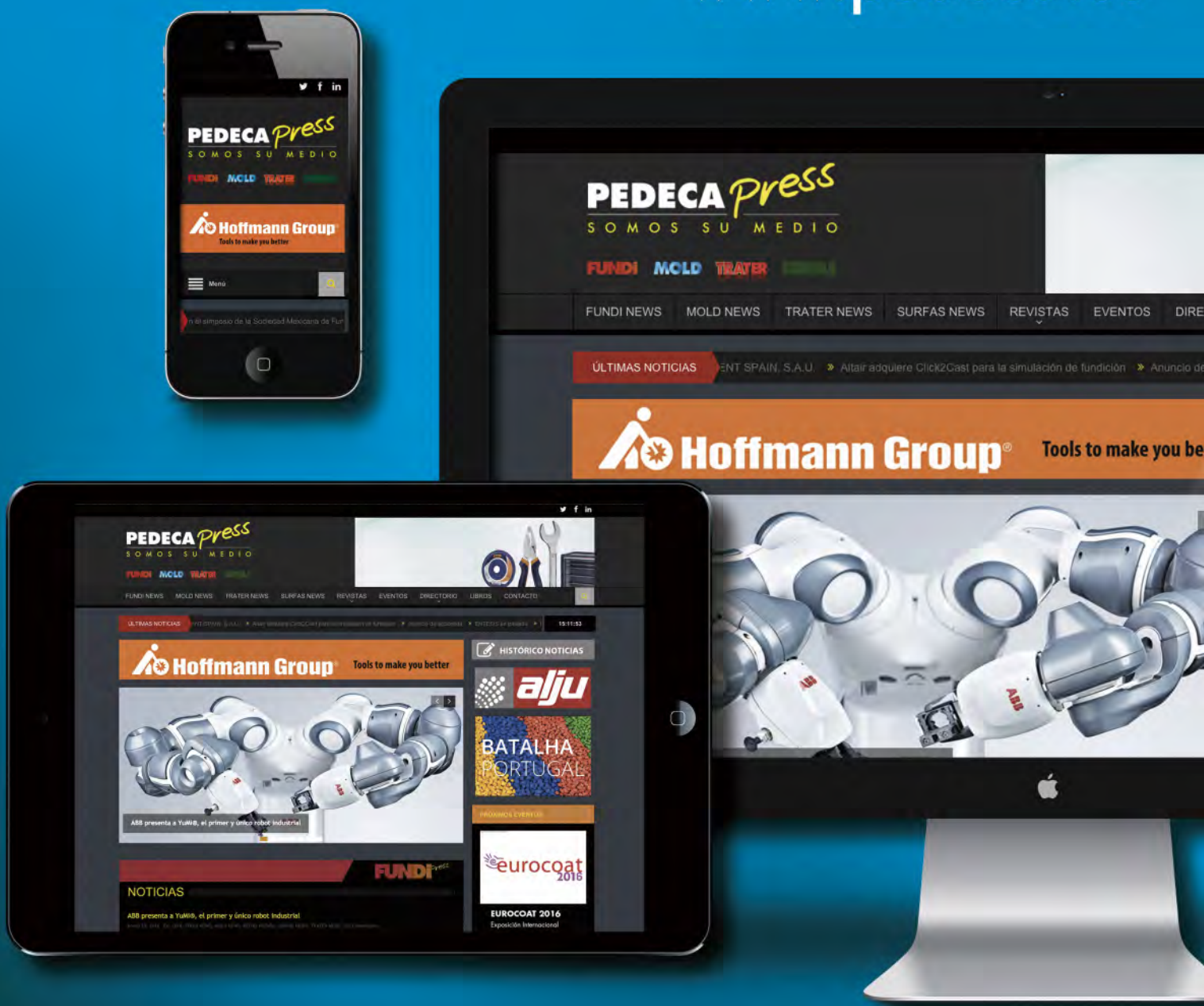
Resumiendo: de todo lo expuesto es este capítulo, aunque sea de forma muy breve y concisa, podemos sacar la siguiente conclusión, indicando que un mayor conocimiento de la maquinabilidad, y por consiguiente de su mejora, se obtiene a través de un mayor dominio y conocimiento de las inclusiones presentes en los aceros de fácil maquinabilidad y de maquinabilidad mejorada; tanto de las inclusiones beneficiosas –***sulfuros***– como de las perjudiciales: **óxidos**.

SU MEJOR CO

REVISTAS PROFESIONALES

Estrenamos Nueva Web

www.pedeca.es



MUNICACIÓN

DEL SECTOR INDUSTRIAL

- Nuevo diseño y navegación más fácil, rápida e intuitiva
- Nuevos contenidos con los temas que le interesan
- Nueva presentación e información actualizada día a día
- Web responsive para que consulte desde su dispositivo favorito

PREGUNTE POR NUESTROS PACKS DE PUBLICIDAD IMPRESIÓN + DIGITAL

PEDECA Press Publicaciones

SOMOS SU MEDIO

C/ Goya, 20. 1º. • 28001 MADRID

Telf.: 91 781 77 76 • Fax: 91 781 71 26

pedeca@pedeca.es • www.pedeca.es

Comportamiento del acero dúplex 2205 con tratamiento de nitruración por plasma en ambiente ácido y sometido a erosión

Por M. Victoria Biezma Moraleda, Alberto Rey Ruiz e Ignacio Cobo Ocejo. Universidad de Cantabria

RESUMEN

La placa con orificio de los contadores de gas experimenta daños por abrasión, por lo que son frecuentes trabajos para su reparación y/o sustitución. En el presente trabajo se seleccionó un acero inoxidable dúplex 2205, de estructura ferrito-austenítica para el diseño de dicha placa, empleada en el sector petroquímico. La selección de dicho acero se ha basado en sus excelentes propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión. Además, se sometió a un tratamiento de endurecimiento superficial de nitruración por plasma para aumentar las propiedades tribológicas. Para conocer el comportamiento del material en condiciones inherentes a las que tendrá en servicio, pH muy bajos, se han sometido las placas de acero inoxidable dúplex a una atmósfera saturada en H_2S, empleando la Normativa NACE TM0284-2011 y, a continuación, a la acción abrasiva de silicato de aluminio, para conocer cómo afecta la erosión a las capas superficiales de nitruros de cromo que se han podido corroer previamente.

La conclusión extraída del trabajo fue que el comportamiento del acero dúplex 2205, con tratamiento de nitruración por plasma, no sería adecuado para trabajar en atmósferas muy ácidas, considerando como variables de estudio la pérdida de masa experimentada, rugosidad y espesor de la capa endurecida.

1. INTRODUCCIÓN

Siempre que se trabaja con un fluido, existe la necesidad de realizar un conteo preciso de la cantidad transportada, para lo cual se utilizan medidores de flujo, esto es, dispositivos que incluyen una placa provista con un orificio de menor sección que la tubería de circulación del fluido, quedando dicho orificio concéntrico con la sección de la tubería. Determinando el incremento de la velocidad y midiendo el diferencial de la presión, se puede calcular el flujo volumétrico de fluido en función de la sección de la tubería. En la disposición funcional del aparato medidor de flujo, el orificio de la placa con orificio experimenta un desgaste debido al rozamiento del fluido transportado, de manera que son frecuentes los trabajos de reparación o, incluso, sustitución de la misma con el objeto de seguir obteniendo una medida sin errores.

En el caso particular del ámbito petroquímico, las sustancias transportadas y almacenadas presentan una elevada agresividad debido a su composición química, que en el caso del gas natural ácido, "sour gas", serán unas condiciones fuertemente dependientes de la fuente de origen, pero básicamente formadas por diversos hidrocarburos gaseosos, con el predominio del metano y en menores proporciones etano, propano, butano, pentano y pequeñas proporciones de gases inertes como dióxido de carbono y nitrógeno. Debe de prestarse también atención a las atmósferas de trabajo, habitualmente muy ácidas, pH muy bajos en algunos casos próximos a 3, y los contenidos elevados en sustancias reductoras, como es el ácido sulfídrico, H_2S, el monóxido de carbono, CO y, eventualmente, alguna oxidante como el dióxido de carbono, CO_2 y el vapor de agua, H_2O. Además, son atmósfe-

ras proclives a que se desarrolle una notable actividad microbiológica, con bacterias reductoras de sulfatos, BRS, lo que puede generar H atómico [1-3]. El H atómico fragiliza a numerosos sistemas metálicos por variados mecanismos [4-5]. En cuanto a las variables físicas se debe considerar los fluctuantes valores de presión a los que circula el fluido y la viscosidad del mismo, por su influencia en las tensiones remanentes presentes en el material, y que pueden acarrear una disminución importante en el valor de la resistencia inicial del material.

Así, los fluidos del sector petroquímico, además de producir en las placas con orificio desgaste por abrasión, también provocan corrosión, dada la naturaleza ácida de los mismos. Por ese motivo, se plantean alternativas de aplicación de tratamientos de endurecimiento superficial para mejorar las propiedades tribológicas y la resistencia a la corrosión, siendo uno de los más eficaces en componentes que trabajan en medio ácido la nitruración por plasma [1-2, 6-7]. Estos tratamientos afianzan las capas de nitruros de cromo superficiales, en el caso de formarse y enriquecen en nitrógeno a la fase austenítica de los aceros [8]. Estos tratamientos suponen una notable ventaja respecto a los convencionales de nitruración o carbonitruración [9] ya que, además de ser compatibles con el medio ambiente, es decir, se pueden considerar tratamientos sostenibles, necesarios en la estrategia de actividad industrial actual, permiten reforzar la capa de endurecimiento superficial de los aceros de forma mucho más eficaz y a temperaturas menores. Las capas, de Fe_2N_3 y Fe_4N, presentan mínima distorsión, lo que afianza el comportamiento mecánico de los elementos sometidos a desgaste superficial, uno de los grandes problemas de estos componentes [3]. En el presente trabajo se sometió a unas placas de acero inoxidable dúplex 2205, UNS S32205, DIN 1.4462 de estructura ferrito-austenita, a un tratamiento termoquímico de endurecimiento superficial de nitruración por plasma, para conocer el comportamiento frente a la corrosión-erosión en atmósferas inherentes a las que puede experimentar en servicio, considerando su diseño tan particular, y puesto que una merma de sección puede provocar errores de gran relevancia en la medida del flujo del fluido que se está transportando.

2. METODOLOGÍA

2.1. Material

El acero empleado para este estudio fue un acero dúplex 2205, cuya composición química se recoge en la Tabla 11, justificando la elección debido a sus excelentes propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión localizada. Las probetas de los ensayos, obtenidas por mecanizado a partir de chapas del material, reprodujeron a escala y de forma precisa los puntos críticos de las placas con orificio, éstos son, la zona próxima al orificio interior, tanto en la cara de la arista viva, Figura 13 a), como el la cara del chaflán, Figura 13 b), y la zona media en la que el flujo turbulento del fluido va a tener mucha influencia. Las dimensiones de las probetas fueron de 100 mm de diámetro exterior, espesor de 8 mm y un diámetro de orificio interior de 7 mm.

A la hora de obtener los valores de dureza de las probetas mecanizadas, se tuvieron en cuenta las dos zonas de influencia, y se definieron dos zonas de medida: una zona interior, con un diámetro de 20 mm, y una zona exterior, con 40 mm de diámetro. Dentro de cada diámetro se seleccionaron cuatro puntos de medición, tomados dos a dos diametralmente opuestos. De esta manera, en cada probeta se registraron ocho valores de dureza Vicker. Para ello se utilizó el equipo VICKERS HARDNESS TESTER FV-700 de la marca Future Tech, aplicando una carga de 5 Kgf durante un tiempo de 10s en cada punto de medición. Para registrar los valores de rugosidad se utilizó un rugosímetro de la marca ZOLLER modelo Smile 400.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe
0,08	0,75	2	0,045	0,03	17,50	8	2	bal

Tabla 11. Composición química de acero dúplex 2205.

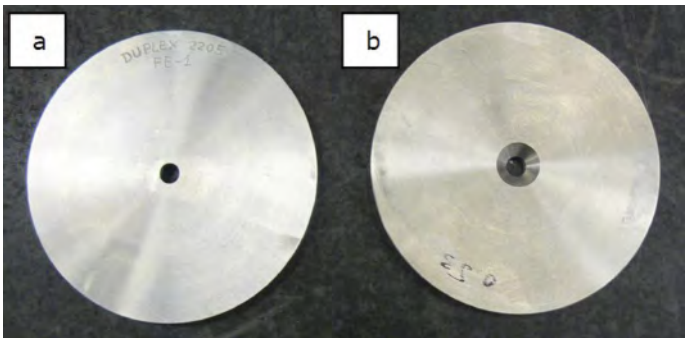


Figura 13. Vista de las dos caras de una probeta mecanizada de acero DÚPLEX 2205 empleadas en los ensayos a) Cara de arista viva b) cara de chaflán.

2.2. Tratamiento de endurecimiento superficial

Las condiciones de servicio en las que trabajarán los componentes del medidor de flujo y, en espe-

cial, la placa con orificio, que deberá soportar temperaturas comprendidas entre -2 °C y +80 °C, presiones de trabajo entre 50 y 100 bares, pudiendo alcanzar hasta 680 bares, y todo ello envuelta permanentemente en un ambiente ácido "sour gas", propician unas condiciones idóneas para acelerar cualquier proceso de deterioro, tanto externo como interno en el material [1]. El hidrógeno, H, provoca la rotura parcial de la capa protectora de óxido de cromo de los aceros inoxidables, adentrándose en el material, fragilizándolo con aparición de grietas de carácter intergranular. Para que el hidrógeno no pueda atravesar la barrera natural de los aceros inoxidables, capa pasiva, es necesario interponer una barrera física adicional; este hito se puede conseguir con tratamientos termoquímicos superficiales.

Por ello, se seleccionó el tratamiento de nitruración por plasma debido a que el N forma una capa compacta poco frágil [1]. El tratamiento de nitruración por plasma al que fueron sometidas las probetas del acero dúplex 2205 objeto de estudio, consistió en introducir las probetas en una atmósfera con 50% de Nitrógeno (3,5 litros/minuto) y 50% de Hidrógeno (3,5 litros/minuto), con una presión en la cámara de 300 Pascales a 480 °C durante un periodo de tiempo de 28 horas. Si realizamos una comparación entre los valores de estos parámetros, y los marcados por la norma AMS2759/8A [10], se aprecia que el tiempo de exposición es muy extenso y las presiones extremadamente altas. El motivo fundamental fue evitar los gradientes de concentración en el interior de la capa externa, para mantener el mismo valor de dureza en toda la profundidad de la pieza.

La capa de óxido de cromo, capa pasiva, que desarrollan los aceros inoxidables de forma natural, son una auténtica barrera física a la entrada de N en el material durante el tratamiento de nitruración por plasma, por lo que se hace necesaria su eliminación previa a la realización del tratamiento [11-13]. Dicho fenómeno se comprobó usando algunas probetas de ensayo a las que no se les eliminó la capa pasiva, obteniéndose tras la nitruración por plama gran dispersión en valores de los espesores de la capa nitrurada, dentro de una misma probeta. La eliminación de la capa pasiva se realizó mediante tratamiento mecánico de granallado y posterior bombardeo con gas hidrógeno, en el interior del equipo de tratamiento de endurecimiento superficial.

La Figura 14 muestra el flujograma de los ensayos realizados sobre las probetas de acero dúplex 2205.

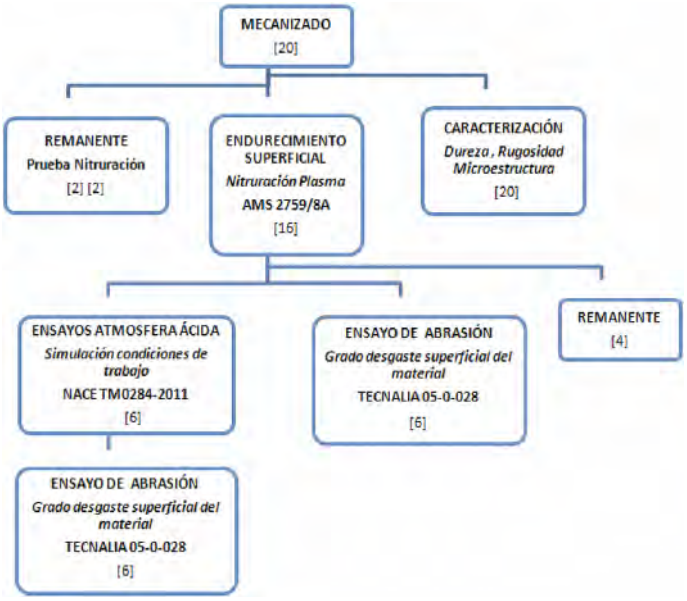


Figura 14. Flujograma de las etapas y ensayos realizados sobre las probetas del acero dúplex 2205.

Figura 15. Vista general del equipo en el que se realizó el tratamiento de endurecimiento superficial mediante nitruración por plasma.

La Figura 15 presenta la vista general del equipo utilizado para el tratamiento de endurecimiento superficial mediante nitruración por plasma.

2.3 Ensayos de corrosión y erosión

Una vez finalizado el tratamiento de nitruración por plasma se distribuyeron los ensayos de la forma indicada en la Figura 14, para realizar los ensayos de corrosión en atmósfera ácida y erosión. Estos últimos se realizaron tanto sobre probetas que previamente habían sido sometidas a ensayos de corrosión, como sobre probetas libres de los efectos de la corrosión.

Para el ensayo de exposición al ambiente corrosivo se tomó como referencia la norma NACE TM0284-2011 [14], manteniendo seis probetas sumergidas en una disolución, identificada en la norma como Disolución A, formada por 5% de NaCl y 0,5% de CH_3COOH en agua destilada y saturada con H2S a temperatura ambiente y presión atmosférica, durante 96 horas.

Para la realización de los ensayos de erosión se siguió el procedimiento interno TECNALIA 05-0-028 [15], basado en el impacto de un flujo constante de material abrasivo perpendicularmente sobre la superficie de las probetas. Las propiedades de dicho abrasivo se presentan en la Tabla 12. Debido a la configuración de la máquina de ensayo, no fue posible utilizar las probetas en su morfología circular original, por lo que se obtuvieron a partir de ellas unas probetas rectangulares en las que se mantuvieron las dos zonas de estudio, pasándose a definir como "Zona A" a la región que se corresponde con el diámetro exterior, donde se realizaron cinco fases de proyección de material abrasivo de 60 segundos cada una, y la "Zona B", correspondiente con el diametro interior, donde se realizó una única proyección de 300 segundos. Tras la finalización de estos ensayos, todas las probetas se limpiaron en un baño de ultrasonidos con una disolución de jabón Tickopour R33 a pH 10, posteriormente fueron aclaradas con agua destilada a 50 °C y secadas con aire comprimido filtrado y seco, finalmente se secaron en estufa a 50 °C durante 24 horas. Para determinar la evolución en la pérdida de peso experimentada por las probetas durante el ensayo de erosión, cada probeta se pesó tres veces en una balanza Mettler Toledo con una resolución de 0,1 mg.

Una vez concluidos sobre las probetas del acero dúplex 2205 los ensayos de corrosión, ensayos de erosión y ensayos combinados de corrosión-erosión, se realizó una caracterización metalográfica de las mismas, mediante ataque con reactivo Marble, 4g $CuSO_4$, 20ml HCl, 20 ml H_2O. El objetivo fue determinar el espesor de la capa enriquecida de nitrógeno, así como la presencia de grietas. La caracterización sólo prestó atención a las zonas consideradas como críticas, ya explicadas previamente, del chaflán, la arista viva o "cutting edge" y zona intermedia.

Composición (%)	SiO_2(45-52), Al_2O3(24-31), Fe_2O_3(7-11), CaO(3-8), K_2O(2-5), MgO(2-3), TiO(0-2), Na_2O(0-1)
Peso especifico (g/cm^3)	2.4-2.6
Densidad aparente (g/cm^3)	1.3-1.4
Dureza Mohs	7
Granulometría (micras)	80-160

Tabla 12. Propiedades del material erosivo utilizado en el ensayo de erosión.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Del conjunto de datos medidos en los ensayos de dureza se obtuvo el valor medio en cada una de las zonas de interés de la probeta, zona interior y zona exterior, sin apreciación de diferencias notables. Los pocos puntos en los que sí existieron, vienen justificadas por haber registrado los valores de dureza en las distintas fases del acero dúplex. La Figura 16 a) muestra los valores de dureza registrados, así como el valor medio de dureza, 270,7 HV, antes de la realización del tratamiento de endurecimiento superficial.

Los valores registrados de rugosidad, Figura 16 b), muestran un valor medio R_a de 0,45, resaltando la gran dispersión de resultados.

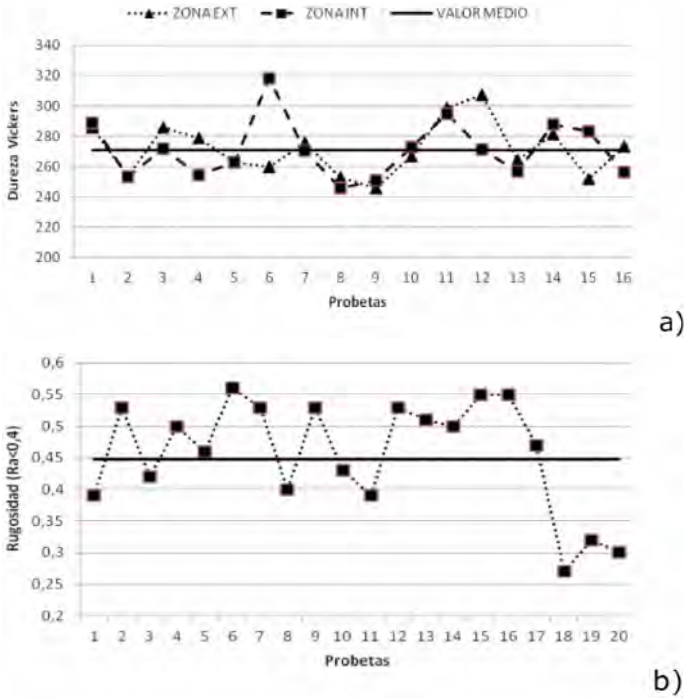


Figura 16. a) Valores de dureza Vickers, b) Valores de rugosidad, en las probetas de acero dúplex 2205 ensayadas.

El tratamiento de nitruración por plasma formó sobre la superficie de las probetas de acero dúplex 2205 una capa rica en nitrógeno de 76 m de espesor. Dicha capa está compuesta por nitruros de cromo y una fase austenita S o austenita expandida,

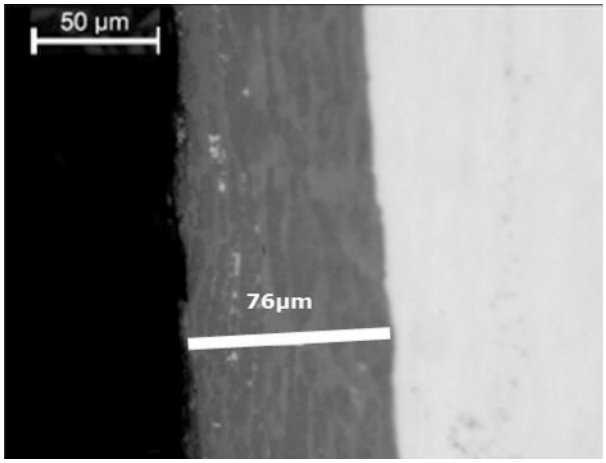


Figura 17. Detalle del espesor de la capa depositada, 76 m, tras la nitruración por plasma en una probeta de acero dúplex 2205.

con un valor de dureza de 1.055 HV, un valor casi cuatro veces mayor, al valor medio registrado previo a la realización del tratamiento, esto es, 270.7 HV. De igual manera aparece una capa en la interfase núcleo-capa de nitruros con bajos valores de resistencia a la corrosión. La Figura 17 muestra la micrografía en la que se puede apreciar con claridad el espesor y microestructura de la capa nitrurada y metal base.

Analizando el aspecto de las probetas de acero dúplex 2205 tras el ensayo de corrosión, la conclusión más notoria que se extrae es que en el caso de las probetas mostradas en la Figura 18 a) y Figura 18 b) aparecieron pequeñas decoloraciones; sin embargo, en otras probetas, en especial en las mostradas en la Figura 18 c) y Figura 18 d), aparecieron a nivel macroscópico los fenómenos asociados a las fragilización por hidrógeno, como son un número elevado de cráteres de un diámetro medio aproximado de 4 mm. A nivel microscópico en la zona de la arista viva aparecieron fisuras y una diferencia de espesor notable entre las capas que forman la misma, como muestra la Figura 18 e). De igual manera en la zona del chaflán también se apreció la fisuración de la capa nitrurada, así como el decrecimiento del espesor de la misma hasta su desaparición, igualmente reflejado en la Figura 18 f).

Tras los ensayos de erosión, y a nivel macroscópico, se apreció en todas las probetas una leve decoloración superficial de la zona erosionada, "Zona A" mostrada en la Figura 19 a), "Zona B" presentada en la Figura 19 b) y " Zona A+B" reflejada en la Figura 19 c), debido al arrastre de los productos de la capa de nitruración. A nivel microscópico, cabe destacar cómo en el vértice de la arista viva, la capa nitrurada presentó gran concentración de grietas, que en el caso concreto mostrado en la Figura 19 d), desencadenó en la pérdida total de la capa nitrurada de la arista. Por otra parte, en la zona del chaflán la capa nitrurada presentó una reseñable falta de uniformidad, tal y cómo se aprecia en la Figura 19 e).

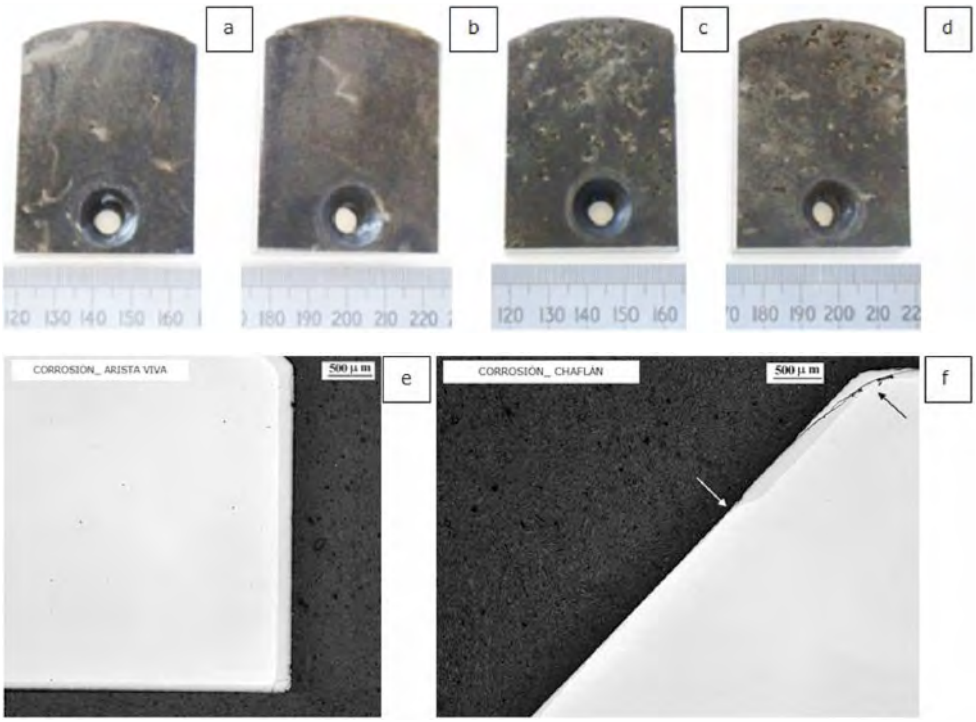


Figura 18. Vistas macroscópicas, a, b, c, d, y microscópicas, e, f, de las probetas de acero dúplex 2205 tras el ensayo de corrosión.

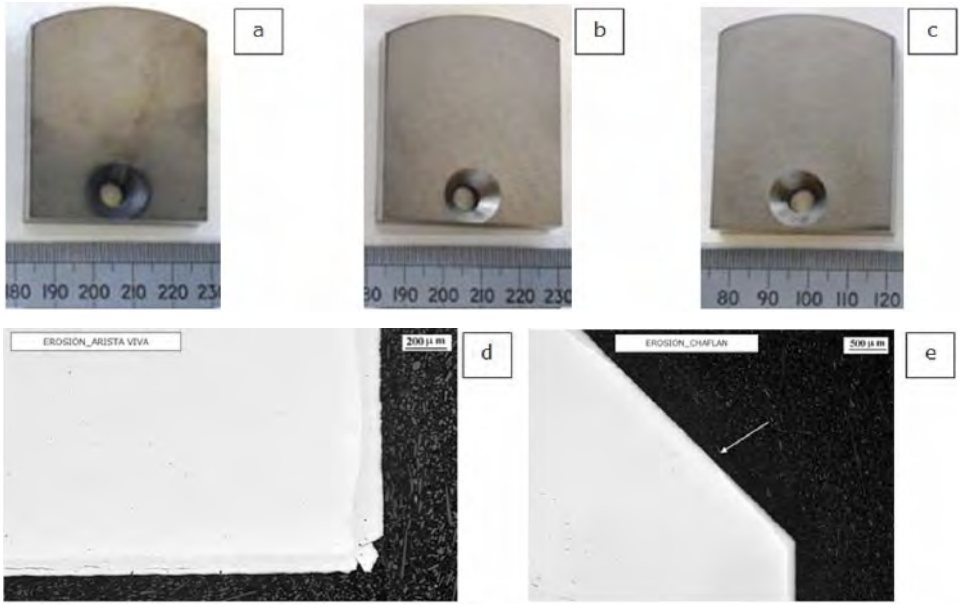


Figura 19. Daños producidos, a nivel macroscópico, a, b y c, y microscópicos, d y e, por el ensayo de erosión en distintas zonas de las probetas de acero dúplex 2205.

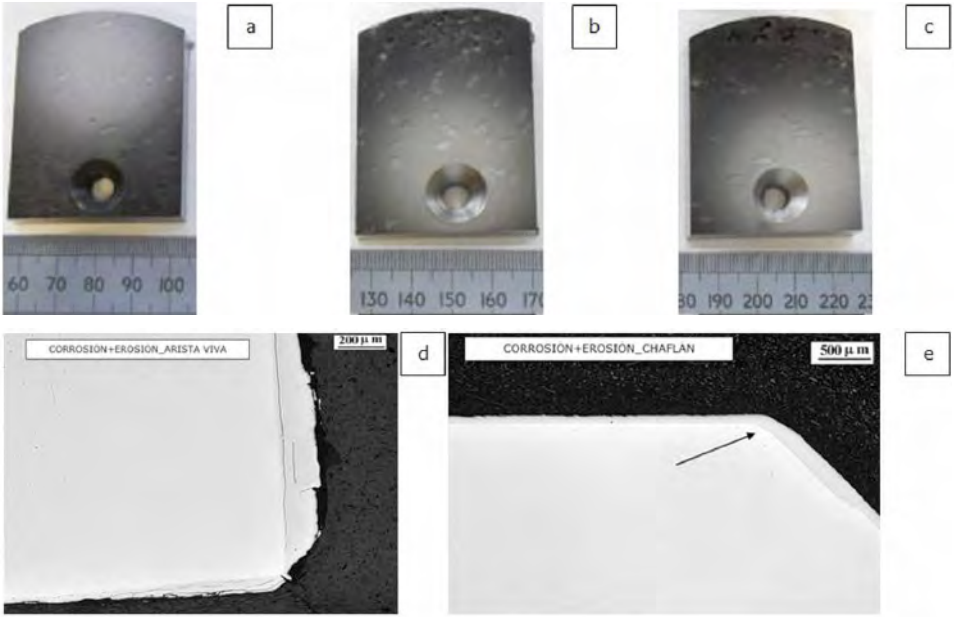


Figura 20. Aspecto que presentan las probetas una vez finalizado el ensayo de erosión después del ensayo de corrosión. a, b y c reflejan daños macroscópicos, d y e muestran daños a nivel microscópico.

Tras los ensayos de erosión realizados después de los ensayos de corrosión, se ha apreciado que el ensayo de erosión no fue capaz de eliminar los efectos debidos al ataque de fragilización por hidrógeno, ya que se siguen apreciando macroscópicamente concentraciones importantes de cráteres de similar tamaño a los apreciados en el ensayo de corrosión, Figura 20 a) Figura 20 b) y Figura 20 c). A nivel microscópico, en la zona de la arista viva, mostrada en la Figura 20 d) la presencia de grietas fue generalizada, siendo éstas de grandes dimensiones y profundidad, con un patrón de avance de forma diagonal atravesando las dos caras de la capa nitrurada. En la zona del chaflán, mostrada en la Figura 20 e), se apreciaron grandes diferencias en el espesor de la capa nitrurada, a pesar de presentar una distribución uniforme.

Atendiendo a la pérdida de masa de las probetas en los ensayos de erosión y corrosión-erosión, medida mediante variaciones gravimétricas, se observó una ley de comportamiento muy similar en todas ellas, independientemente del tipo de ensayo a las que fueron sometidas. Las mayores variaciones de peso, se produjeron en las primeras etapas de los ensayos, siendo mucho más intensas en el en-

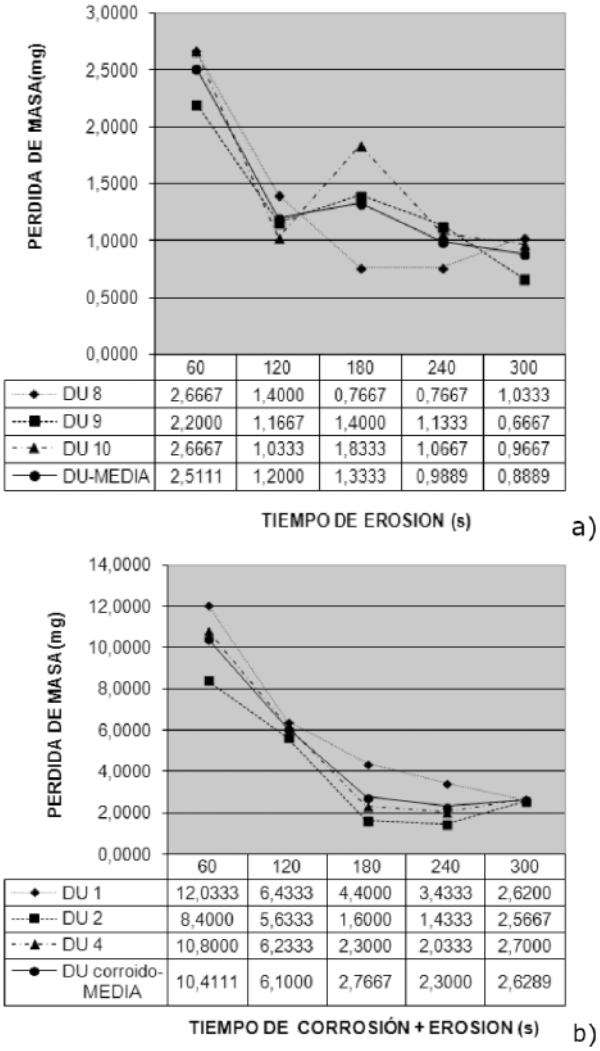


Figura 21. Curvas gravimétricas a) Ensayo de erosión b) Ensayo combinado de corrosión-erosión.

sayo de corrosión-erosión, tal y como se detallan en las Figura 21 a) y Figura 21 b).

4. CONCLUSIONES

a) Las probetas nitruradas por plasma del acero dúplex 2205 de estructura ferrito-austenita presentaron un espesor de capas nitruradas no uniforme, algunas capas con fisuras superficiales-subsuperficiales y discontinua en la zona de borde.

b) La pérdida de peso fue mayor en las probetas sometidas al ensayo de corrosión-erosión en relación a las que se ensayaron únicamente por erosión, tras los tratamientos de endurecimiento superficial por plasma. Estas variaciones fueron del 43% y del 36% respectivamente de la pérdida de masa total en los primeros 60 segundos, manteniéndose esa predominancia del ensayo corrosión-erosión a los 180 segundos, con una pérdida acumulada del 79,64% frente al 71,43% del ensayo de erosión.

c) Tras el ensayo de corrosión en ambiente ácido intrínseco a la actividad petroquímica, el aspecto superficial de las probetas fue notoriamente peor que el observado generalmente en este tipo de aceros sin tratamiento superficial, por lo que la alternativa de tratamiento de nitruración por plasma no sería adecuada para que estos materiales trabajen en atmósferas ricas en H2S, inherentes a los medidores de flujo de gas. Sus capas enriquecidas en nitrógeno han demostrado ser extremadamente frágiles.

5. REFERENCIAS

[1] T. Michler, "Influence of Plasma Nitriding on Hydrogen Environment Embrittlement of 1.4301 Austenitic Stainless Steel", Surface&Coating Technology, 202, (2008) pp 1688-1695.

[2] B.A. Araújo, J.A. Palma, E.O. Vilar, A. S. Silva, "Hydrogen Embrittlelment of API 5L X80 Steels", Información Tecnológica, Vol.22, (2011) pp 129-140.

[3] B. Beidokhti, A. Dolati, A.H. Koukabi, "Effects of alloying elements and microstructure on the susceptibility of the welded HSLA steel to hydrogen-induced cracking and sulfide stress cracking", Materials Science and Engineering A 507, (2009) pp 167-173.

[4] T. Borowski, A. Brojannowska, M. Kost, H. Garbacz, T. Wierzcho , "Modifying the Properties of the Inconel 625 Nickel Alloy by Glow Discharge Assisted Nitriding", Vacuum 83, (2009) pp 1489-1493.

[5] L. Escalada & colls. "Corrosion Properties of Stainless Steel 316L After Energetic Nitrogen Insertion", Surface & Coatings Technology, (2011).

[6] P.A.Corengía, D.A. Egidi, M.O. Quinteiro, G.O. Ybarra, C.A. Moina, A.Cabo, "Microestructura y Comportamiento Frente a la Corrosión de un Acero Inoxidable Martensítico Nitrurado por Plasma" Matéria, Vol 8 nº 2, (2003) pp 98-108.

[7] F.A.P.Fernandes&colls. "Ion Nitriding of a Superaustenitic Stainless Steel: Wear and Corrosion Characterization", Surface &Coatings Technology, 204, (2010) pp 387-390.

[8] M. Olzon-Dionysio, M. Campos, M. Kapp, S. de Souza, S.D. de Souza, "Influences of Plasma Nitriding Edges Effect on Properties of 316L Stainless Steel", Surface &Technology, 204 ,(2010) pp 3623-3628.

[9] L. C. Castelleti, A. L. Nieto, G. E. Totten, "Plasma Nitriding of Stainless Steels". Vac Aero Int.

[10] AMS 2759/8A.

[11] Z. Ming, Y. Shan, F.R. Xiao, K. Yang, Y.H. LI, "Investigation on the H2S-Resistant Behaviors of the acicular ferrite and ultrafine ferrite".

[12] X.L. Xu, L. Wang, Z.W. Yu, Z. K. Hei, "Microstructural Characterization of Plasma Nitrided Austenitic Stainless steel" Surface and Coating Technology 132, (2000) pp 270-274.

[13] X.L. Xu, "Characterization nitrided austenitic stainless steel" Surface and Coatings Technology 132, (2008) pp 270-274.

[14] NACE TM0284-2011.

[15] http://www.tecnalia.com (Visitado en Marzo de 2013).

Ponencia presentada en el XIII Congreso Tratermat de Barcelona (Abril 2013). Publicada con la autorización expresa de la Dirección del Congreso y los autores.

30 €

206 páginas

40 €

316 páginas

40 €

320 páginas

La aparición en el año 2008 del primer volumen de **TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS ACEROS**, dedicado a los **Principios del Tratamiento Térmico de los Aceros** marcó un hito en este importante campo de conocimiento para quienes nos hemos dedicado a la Metalurgia. Sus autores, Manuel Antonio Martínez Baena y José María Palacios Repáraz –fue el último libro que se publicó en vida– especialistas conocidos y reconocidos en este campo, nos legaron unas lecciones magistrales reproduciendo y ampliando los artículos publicados en **TRATER Press** y otras revistas especializadas.

Dos años después, el segundo volumen **Aceros de construcción mecánica y su tratamiento térmico. Aceros inoxidables** nos ilustró sobre los aceros de uso mayoritario en la industria y la construcción, con una especial dedicación a los aceros inoxidables y a los mecanismos de corrosión.

Ahora aparece el tercer volumen **Aceros de herramientas para trabajos en frío y en caliente, su selección y tratamiento térmico. Aceros rápidos**. Como en el volumen anterior, el libro está dividido en dos partes. La primera se inicia considerando los criterios actuales de selección de los aceros para la fabricación de útiles y herramientas, las propiedades y características fundamentales que determinan la selección de un acero para herramientas y los factores metalúrgicos y tecnológicos que influyen en el comportamiento de una herramienta. Se añaden algunas consideraciones sobre la teoría y práctica del tratamiento térmico de los aceros aleados de herramientas y luego se particularizan los aceros al carbono para herramientas, los aceros aleados para trabajos en frío y para trabajo en caliente. También se tienen en cuenta una serie de consideraciones sobre los aceros utilizados en la fabricación de útiles y herramientas para la extrusión en caliente, sobre los aceros utilizados en la fabricación de moldes para fundición inyectada y sobre los más utilizados en la fabricación de moldes para la industria de los plásticos. Dada la importancia que tienen, la parte 2 está dedicada exclusivamente a los aceros rápidos, su utilización y tratamiento térmico.

Como los libros precedentes, está firmado por Manuel Antonio Martínez Baena incluyendo a José María Palacios Repáraz quien, aunque nos dejó en 2008, sigue siendo el inspirador del texto. Aunque ambos autores son autoridad en todos los campos de los aceros, se nota su preferencia por el complejo campo de los aceros de herramientas. Sus 187 figuras y 40 tablas son un perfecto indicativo del conocimiento teórico y práctico que tienen de estos aceros. Manuel Antonio, con su gracejo granadino, ha sabido dar amenidad y actualidad a temas tan arduos como los tratamientos criogénicos o los numerosos tratamientos superficiales incluidos CVD, PVD y PECVD.

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

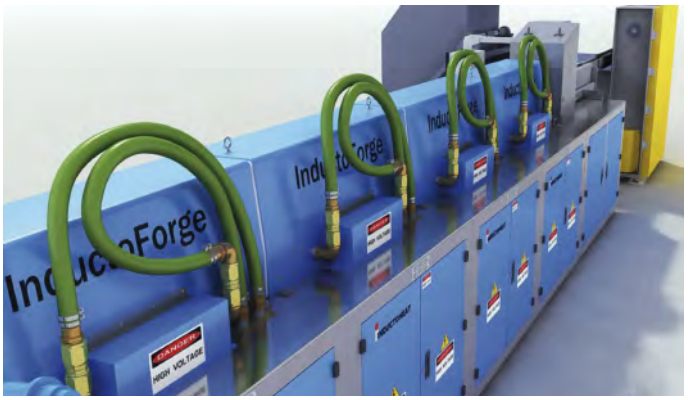
"En aras de una disminución en los costes de producción a través de la reducción del consumo energético en el calentamiento por inducción"

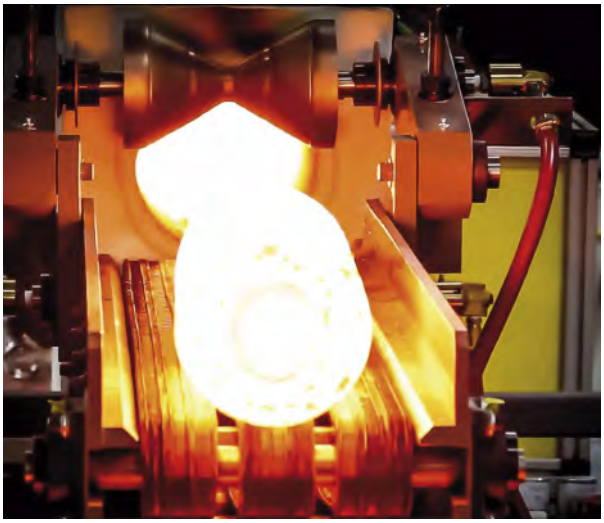
Por Collin A. Russell, INDUCTOHEAT Inc. y Eugenio Pardo, ONDARLAN, S.L. (Inductotherm Group Iberia)

La comprensión de la eficiencia en el calentamiento por inducción y la posibilidad de su mejora son fundamentales, cuando los forjadores y los tratamentistas buscan una reducción en el consumo energético de sus procesos y la consiguiente minimización de los costes asociados a los mismos. Este artículo presenta una explicación matemática básica de la eficiencia en el calentamiento por inducción y discute las diferentes posibilidades en aras de una maximización de la eficiencia, lo que supone una reducción sustancial de los costes.

***

Fruto de la competitividad creciente en la industria, la reducción de los costes de producción con el objetivo de maximizar el beneficio neto, es un objetivo fundamental en cada fábrica. La forja no es una excepción. Toda vez que en forja nos hallamos ante un proceso altamente intensivo en energía, no resulta sorprendente que reducir los costes relacionados con el consumo energético sea objeto de una prioridad absoluta.





COMPONENTES DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

En lo que respecta al equipamiento de inducción y a los procesos de calentamiento, una minimización del consumo energético es consecuencia de la maximización de la eficiencia total del proceso. Toda vez que el calentamiento por inducción comporta dos transferencias, una transferencia de energía electromagnética y otra transferencia de energía térmica, la eficiencia total se puede expresar como producto de sus dos componentes de eficiencia, la

eficiencia electromagnética y la eficiencia térmica respectivamente:

$$\eta(t) = \eta_{el}(t)\eta_{th}(t)$$

Según esto, una maximización de la eficiencia total implica la maximización del producto de sus dos componentes, es decir la electromagnética y la térmica.

EFICIENCIA ELECTROMAGNÉTICA

Debido a la naturaleza del flujo de la corriente alterna, la mayor parte de las pérdidas electromagnéticas en los sistemas típicos de inducción para forja, se producen en los terminales de las bobinas. Asumiendo que todas las fuentes de ineficiencia significativas se localizan en los terminales de las bobinas (despreciando las pérdidas por conversión, transmisión, acoplamiento y control), la eficiencia electromagnética se puede expresar como función de la potencia producida por efecto Joule en la inducción (generación de calor) dentro de la pieza (taco o billet) y en la bobina respectivamente:

$$\eta_{el}(t) = \frac{P_{ind}(t)}{P_{ind}(t) + P_{coil}(t)}$$

Maximizar la eficiencia electromagnética supone, por tanto, maximizar la potencia inducida en la pieza (taco o billet) y minimizar las pérdidas de potencia en las bobinas.

EFICIENCIA TÉRMICA

La componente térmica de la eficiencia total está relacionada con la energía térmica transferida (y perdida) desde la pieza calentada a su entorno mediante los fenómenos de conducción, convección y radiación. La eficiencia térmica puede expresarse como función de la potencia en forma de calor inducido por efecto Joule en la pieza y la tasa de energía térmica transferida desde la pieza hacia su entorno por conducción, convección y radiación:

$$\eta_{th}(t) = \frac{P_{ind}(t) - P_{th}(t)}{P_{ind}(t)}$$

Lógicamente, maximizar la componente térmica de la eficiencia total supone minimizar la transferencia térmica de energía desde la pieza hacia su entorno.

NOTA RESPECTO A LA DEPENDENCIA TEMPORAL

La ecuaciones propuestas muestran una dependencia temporal, dado que un número considerable de sistemas de forja por inducción funciona con niveles de potencia variables debido a su diseño, modo de control de potencia y propiedades del material objeto de calentamiento.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Antes de discutir los factores de diseño del equipamiento y del proceso, es importante señalar cómo influyen las propiedades del material de la pieza objeto de calentamiento, el taco, en el máximo de eficiencia alcanzable para los sistemas de inducción. Pese a que hay multitud de propiedades que afectan a la eficiencia en inducción, únicamente dos son críticas: la resistividad eléctrica y la permeabilidad magnética relativa.

RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

La resistividad afecta a la resistencia, la cual influye en la capacidad de las corrientes inducidas para generar calor por efecto Joule. A pesar de que la relación entre la generación de calor en la pieza y la resistividad es compleja (debido sobre todo a la tendencia de la corriente alterna a circular cerca de la superficie de los conductores por el efecto pelicular, también llamado efecto “skin”), a mayor resistividad mayor eficiencia. Por esta razón, por ejemplo, el acero inoxidable 304 se puede calentar más eficientemente que el cobre o el aluminio (ver figura 1).

PERMEABILIDAD MAGNÉTICA

El mencionado efecto pelicular o efecto skin se ve enormemente incrementado en los materiales mag-

Eficiencias Máximas en Inducción		
Material	**Temp. Final**	**η_{total}**
Acero al Carbono	750 °C	80-90%
	1250 °C	65-70%
Acero Inox. (304)	1250 °C	60-65%
Aluminio (Puro)	550 °C	40-50%
Cobre (Puro)	900 °C	30-40%

Figura 1. Eficiencias máximas aproximadas para materiales generalmente utilizados (a partir de temperatura ambiente).

néticos, aumentando consecuentemente la resistencia eléctrica efectiva, obteniéndose una generación de calor más intensa. Adicionalmente, debido a la histéresis magnética, los materiales magnéticos están también sometidos a una generación interna de calor friccional (al movimiento de los dominios magnéticos en presencia de un campo magnético variable). Como resultado, la eficiencia en el calentamiento se incrementa sobremanera cuando se tratan materiales magnéticos. Una implicación práctica de esto es que al calentar aceros al carbono a temperaturas de forja en caliente o en semicaliente, hay una inherente reducción de la eficiencia cuando el material pierde el magnetismo (por encima de la temperatura de Curie).

DISEÑO DE BOBINAS

De las sencillas ecuaciones que se han presentado surgen multitud de factores de diseño de bobinas, que afectan a la eficiencia de los sistemas de forja por inducción.

ACOPLAMIENTO Y ESPESOR DE REFRACTARIO

El diseño de las bobinas de forja es multifactorial. Uno de los factores más importantes de diseño que afecta a la eficiencia electromagnética es el espacio de acoplamiento entre la bobina y la pieza. Análogamente, otro de los factores de diseño más importantes para la eficiencia térmica es el espesor del refractario entre la pieza y la bobina. He aquí la gran paradoja en el diseño de bobinas de forja. Pese a que una reducción del espacio entre la pieza y la bobina aumenta la eficiencia electromagnética (un gap menor permite el paso de más líneas de flujo a través de la pieza), dicha reducción adelgaza el espesor del refractario entre la bobina y la pieza, y empeora la eficiencia térmica.

Como se ha visto anteriormente, maximizar la eficiencia total de un sistema de inducción para forja supone la maximización del producto de ambas componentes de eficiencia: la electromagnética y la térmica. Consecuentemente, el diseño de la bobina requiere una solución de compromiso entre las dos eficiencias en el rango de los productos que el cliente va a fabricar, compromiso que debe considerar también la robustez del sistema y su propio coste. Debido a la complejidad del calentamiento por inducción, no existe una solución universal de diseño que valga para todos los casos en los procesos de forja. Por ello se utilizan programas informáticos de simulación, caso por caso, que optimicen la eficiencia total.

EJEMPLOS DE DISEÑO DE BOBINAS

Factores como los que incluyen la geometría y el material de la pieza, la frecuencia de oscilación del equipo utilizado para calentar, la temperatura de forja y otros parámetros de producción influyen enormemente en el diseño óptimo. Consideremos, por ejemplo, dos sistemas de calentamiento de tacos para forja diseñados para dos procesos diferentes:

- Un sistema de 3 KHz con tacos de diámetro de 50 mm en acero AISI 4140 para calentar a una temperatura de 1.235 °C +/- 40°C a 1.000 Kg/hora.
- Un sistema de 1 KHz con tacos de 100 mm de diámetro a 2.200 Kg/hora (mismo material y misma temperatura de forja).

Se pueden ver los efectos de incrementos graduales en el espesor del refractario con respecto a la eficiencia energética en las figuras 2 y 3 respectivamente. En cada uno de los casos, la eficiencia térmica aumenta y la electromagnética disminuye a medida que la capa de refractario se hace más gruesa. Sin embargo, debido a las diferencias entre los dos procesos, el efecto del mismo aumento de la capa de refractario en la eficiencia neta total es muy diferente.

En el primero de los casos, mientras que el aumento del espesor del refractario ocasiona un aumento correspondiente de la eficiencia térmica, la disminución resultante en la eficiencia electromagnética es mucho mayor. Como consecuencia de ello, la eficiencia neta total se ve reducida. En el segundo caso, por el contrario, ocurre al revés. El aumento en la eficiencia térmica es más significativo que la reducción en la eficiencia electromagnética. Por consiguiente, la eficiencia neta total aumenta.

En efecto, el resultado de la variación del espesor del refractario es diferente según sea el proceso. Los tacos del segundo caso tienen una sección cuatro veces mayor que los del primer caso y su área superficial (por unidad de longitud) es el doble. Dado que la eficiencia electromagnética se ve enormemente afectada por el cociente entre las secciones del volumen de la bobina y la de la pieza al que se denomina “factor de llenado de la bobina”, el mismo incremento de espesor en el refractario perjudica más al factor de llenado en el primer caso que en el segundo. Por consiguiente, la eficiencia e-

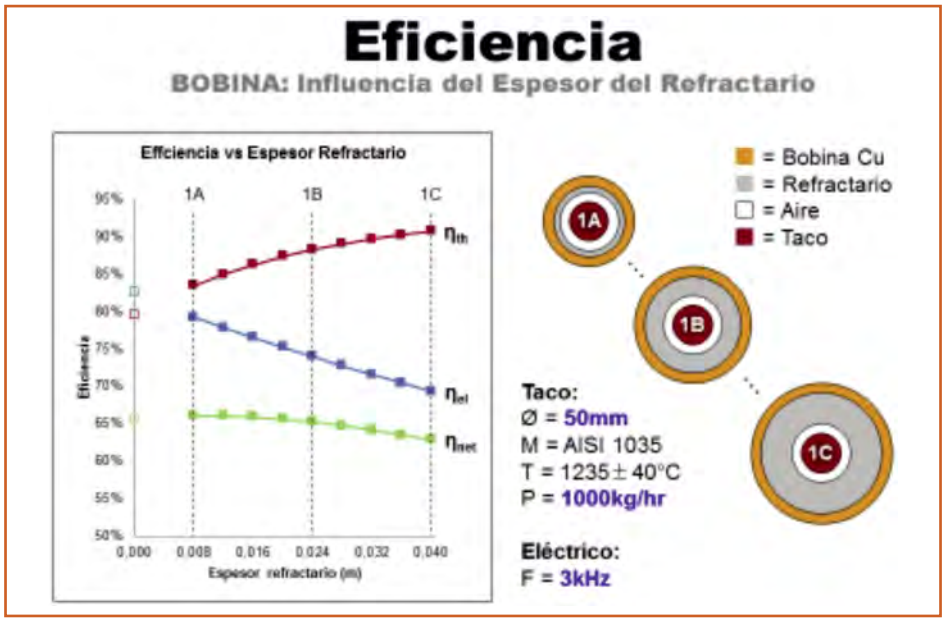


Figura 2. La eficiencia como función del espesor del refractario (sistema de 3 KHz).

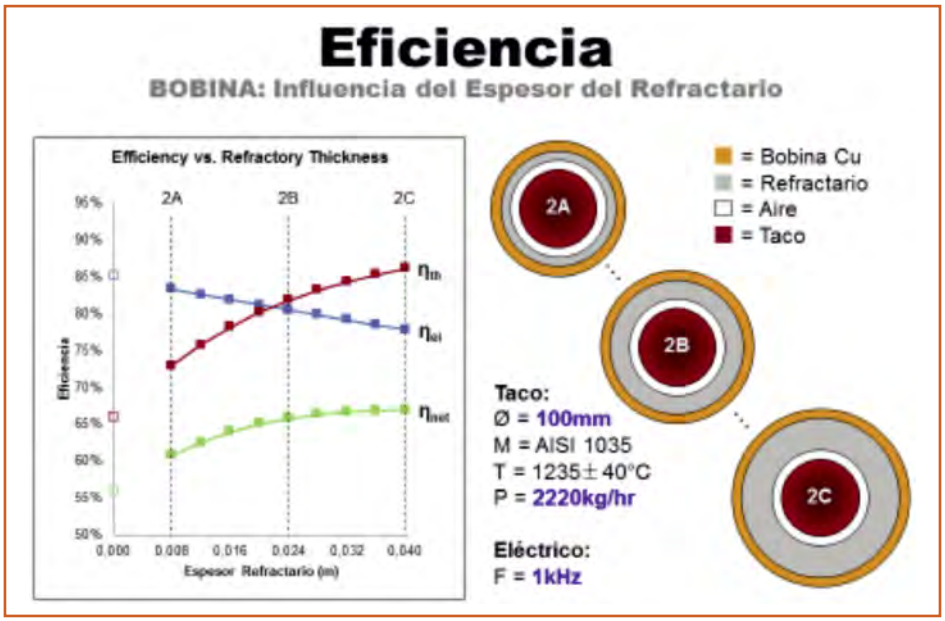


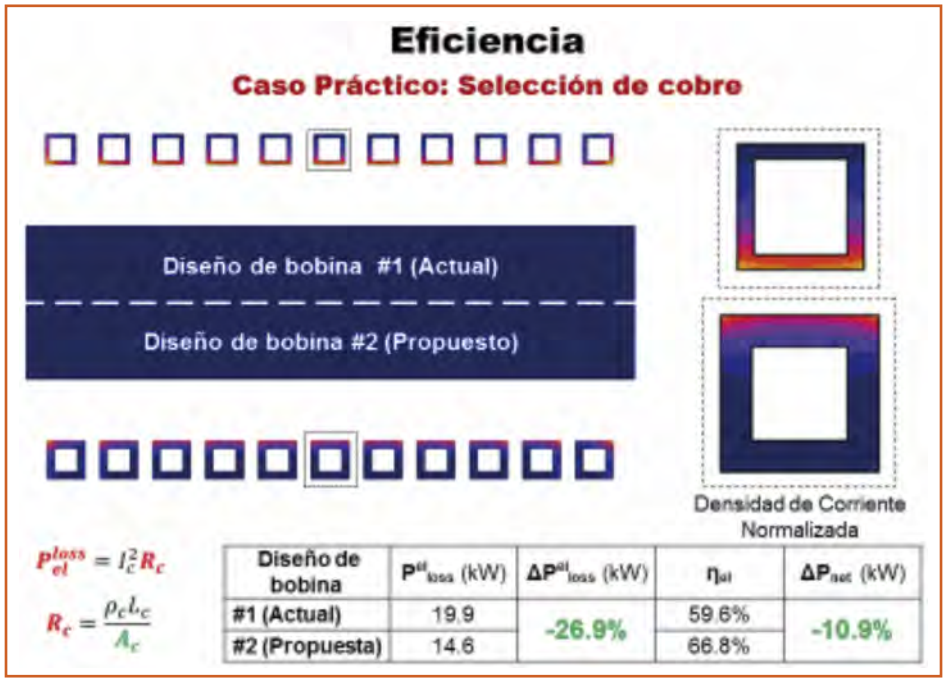
Figura 3. La eficiencia como función del espesor del refractario (sistema de 1 KHz).

lectromagnética se ve más afectada negativamente en el primero de los casos que en el segundo. Esto además se ve reforzado por el hecho de que la sensibilidad del factor de llenado es mayor a frecuencias más altas (3 KHz en el primer caso > 1 KHz en el segundo caso).

Además, las pérdidas por radiación y convección en los tacos son proporcionales a la superficie externa de los mismos tacos. La eficiencia térmica del segundo caso es más susceptible de mejora que la del primero y aumentos idénticos en el espesor del refractario, producen incrementos mayores en la eficiencia térmica para este segundo caso en comparación con el primero.

SELECCIÓN DE COBRE Y ESPACIADO DE ESPIRAS

El espesor del cobre en las bobinas y el espacio entre las espiras, puede afectar sustancialmente a la eficiencia en los sistemas de calentamiento por inducción para forja, basados en bobinas solenoidales con multitud de espiras, los cuales constituyen la gran mayoría en la industria. La geometría del



Diseño de bobina	P^{el}_{loss} (kW)	ΔP^{el}_{loss} (kW)	η_{el}	ΔP_{net} (kW)
#1 (Actual)	19.9	-26.9%	59.6%	-10.9%
#2 (Propuesta)	14.6		66.8%	

Figura 4. Distribuciones normalizadas de densidad de corriente para dos diseños diferentes de bobina (primer diseño en parte superior; segundo diseño en parte inferior).

tubo de cobre, incluyendo la forma (sección redonda, cuadrada, etc...) y las dimensiones (espesor de pared, diámetro, etc...) así como la distancia entre las espiras, afectan a la distribución de corrientes en la bobina y consecuentemente al campo electromagnético que induce las corrientes en la pieza.

Para mostrar las consecuencias en la elección del cobre y del espaciado entre las espiras, es conveniente considerar un único proceso de calentamiento por inducción y comparar los parámetros eléctricos asociados al uso de dos diseños diferentes de bobinas. El primer diseño se muestra en la parte superior de la figura 4 y el segundo en la parte inferior.

Mientras que las dos bobinas comparten la misma longitud y número de espiras, los respectivos tubos de cobre son diferentes. El tubo de cobre menor de la primera bobina tiene un espesor de pared inapropiado para la frecuencia de trabajo. Tampoco el espaciado de bobinas es el correcto.

La segunda bobina se ha fabricado con un tubo mayor más adecuado para este sistema, como se evidencia por la reducción significativa en la densidad de corriente máxima dentro de las espiras. Respecto al primer caso, el segundo diseño mejora la eficiencia electromagnética en un 11% y reduce las pérdidas por calor de efecto Joule en un 26%. El diseño modificado permite una gran reducción en el consumo energético y una disminución en la necesidad de agua de refrigeración que también supone un ahorro energético.

SISTEMAS DE CALENTAMIENTO SELECTIVOS

Respecto a los sistemas de calentamiento selectivos, el espaciado entre espiras también afecta al calentamiento de la pieza. Si consideramos los calentadores estáticos convencionales de puntas (finales de barras) las condiciones de calentamiento exigen uniformidad térmica en el extremo de las barras hasta alcanzar la temperatura de forja, además de minimizar la longitud adicional calentada de la barra (zona de transición). La presencia de una región de transición es inevitable por el efecto de la transmisión de calor por conducción. Mediante una variación sistemática del espaciado entre espiras (localmente aumentando/ disminuyendo el aporte de calor a lo largo de la barra) se puede reducir la zona de transición. A esta técnica denominada de "bobina variable" corresponde un buen número de beneficios asociados en términos de calidad, así como a una gran ventaja desde la perspectiva del ahorro energético.

DISEÑO DE PROCESO

Finalmente es sencillo apreciar cómo un correcto diseño del proceso de calentamiento, es fundamental en la ingeniería de producción de los siste-

mas de inducción. La receta del proceso, incluyendo parámetros eléctricos críticos tales como la potencia del equipo y los datos de corriente, puede afectar profundamente a la eficiencia del proceso.

EFECTOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA

En los sistemas modulares de calentamiento progresivo, las diferentes distribuciones posibles de potencia entre los módulos, muestran hasta qué punto la eficiencia neta total puede verse afectada. Podemos considerar un sistema de dos módulos (consistente en dos bobinas conectadas respectivamente a cada uno de los dos módulos independientes) para calentar tacos de acero al carbono de 2,5 pulgadas de diámetro (63,5 mm) y 6,0 pulgadas de longitud (152,4 mm) a 2.280 °F +/- 50 °F (1.250 °C +/- 28 °C) con una productividad de 3.760 libras/hora (1.706 Kg/h), lo que supone un taco cada 9 segundos. El número de combinaciones posibles de potencia entre los dos módulos con resultados aceptables de calentamiento es muy alto. Sin embargo, el número de combinaciones con un máximo de eficiencia es mucho menor. De hecho, la

Software de Simulación Numerica IHAZ™

Consecuencias Financieras del diseño del Proceso

Ejemplo: Calentamiento de AISI1040 de Ø2.50 a 2280±50°F @ (ciclo 9s)

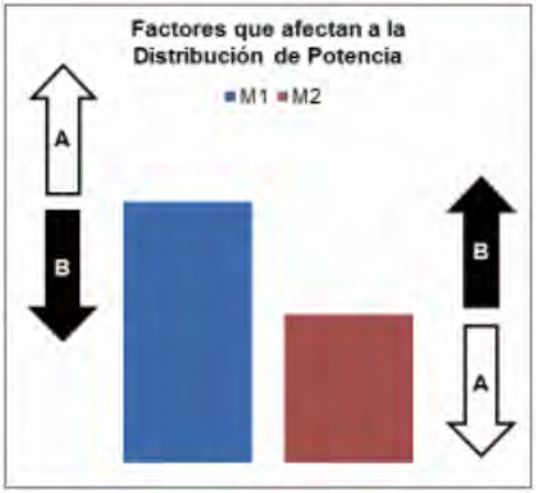
Calculo de parámetros con [IHAZ™]				Commonly Used "80/20 Rule of Thumb"			
Módulo	Potencia [kW]		Consumo Energético [kWh/yr]	Módulo	Potencia [kW]		Consumo Energético [kWh/yr]
M1	357	[64%]	3.70E+06	M1	460	[80%]	3.81E+06
M2	203	[36%]		M2	117	[20%]	
Total	560			Total	577		
				Incremento anual de coste energético			$11,220
				Incremento en 25 años			$280,500

[1] Trabajando 22 horas/día, 6 días/semana, 50 semanas/año
[2] Estimación de coste energético de $0.10/kWh

Figura 5. Consumo energético y consecuencias de la utilización de una receta no optimizada.

Eficiencia

Caso Práctico: Optimización de "Recetas" [con IHAZ]



Añadir potencia a Módulo1:

- *Tasa de productividad **más alta***
- *Diametro **mayor***
- *Conductividad térmica **menor***

Añadir potencia a Módulo 2:

- *Tasa de productividad **más baja***
- *Diametro **menor***
- *Conductividad térmica **menor***

Figura 6. Factores que afectan a la distribución de potencia entre módulos en un calentador modular.

solución es única. El cálculo de la receta óptima es virtualmente imposible si no se dispone de un software de simulación por ordenador.

Para este sistema y proceso concretos, se utilizó el software de simulación y control IHAZ del GRUPO INDUCTOTHERM, con objeto de calcular las potencias de salida de los dos módulos obteniéndose 357 kW y 203 kW respectivamente, para un total de 560 kW. Una receta no optimizada (por ejemplo, una receta basada en la regla tradicional de repartir la potencia en un 80% para el primer módulo y un 20% para el segundo), supone un total de 577 kW para alcanzar la misma distribución de temperaturas en la pieza que en el primer caso (ver figura 5). Si extrapolamos el ahorro de la receta óptima a un año de trabajo a tres turnos, esto supone un ahorro anual de 110.000 kWh de energía, lo cual, dependiendo de la tarifa energética, puede suponer varios miles de euros anualmente (ver figura 5).

En la figura 6 se muestran, con carácter general, diferentes factores que afectan a la distribución de la potencia entre los módulos, en un sistema modular de calentamiento progresivo.

CONCLUSIÓN

Con la ayuda de la simulación por ordenador podemos optimizar el consumo energético en nuestro objetivo de minimizar los costes de producción. Es conveniente separar la eficiencia energética total como producto de sus dos componentes: la eficiencia electromagnética y la eficiencia térmica.

Así podremos diseñar correctamente las bobinas de inducción (tubo de cobre, separación de espiras, espesor del refractario...) y equilibrar la repartición de la potencia necesaria entre los distintos módulos de un calentador de tacos por inducción, con la seguridad de aportar la menor cantidad de energía necesaria para calentar los tacos uniformemente a la temperatura especificada de forja.

SE NECESITA

Ingeniero comercial, en dependencia del Director Comercial, es el responsable de dinamizar las ventas de la empresa y seguir los proyectos en curso.

Sus tareas son:

- Diagnosticar las necesidades de los clientes y proponerles soluciones técnicas.
- Elaborar las ofertas comerciales y asegura el seguimiento de las mismas hasta la consecución de la venta y el cobro.

Sus objetivos son:

- Búsqueda, identificación y captación de clientes. Apoyo y consolidación de los agentes y colaboradores externos.
- Cumplimiento de los objetivos anuales fijados.
- Diseño y desarrollo de la estrategia comercial en colaboración con la Dirección Comercial.

Aptitudes y conocimientos deseados

- Formación técnica a nivel de ingeniería o ingeniería técnica.
- Se valorará conocimientos del mercado industrial en tratamiento de superficies.
- Experiencia de al menos 3 años en venta de productos o servicios para la industria, acostumbrado a negociar con ingenierías y fabricantes.
- Disponibilidad para viajar.
- Inglés.
- Profesional con muy buena capacidad de comunicación y orientado a resultados.

Con más de 30 años de experiencia, **SURFAT** se ha convertido en un referente dentro del mercado de máquinas de limpieza y desengrase.

La sede de Surfat se encuentra en Castellbisbal y opera en toda España.

A través de tecnología propia y la de partners ofrecemos la solución de limpieza y desengrase de piezas que más se adapta a la problemática de cada uno de los clientes.

mmuniz@surfat.es

SE OFRECE

- Ingeniero en Organización Industrial experto en Fundición Inyectada y Moldes,
- 25 años de experiencia, tanto en empresas nacionales como internacionales.
- Disponibilidad inmediata en cualquier punto de la península.
- Posibilidad también en el extranjero.

Móvil +34 639 108 251
carlosja1206@gmail.com

SE COMPRA
(de segunda mano)

- Máquinas de moldeo por inyección, 70-150 toneladas. Año de producción: a partir de 2000 en buenas condiciones de trabajo.
- Impresoras 3D, en condiciones de trabajo aunque no lo estén, usadas PA12 POLVO, EOS PA2200, DURAFORM, etc.

R.Bianchi
RB Trading, s.r.o. - Bratislava, Eslovaquia
Tel .: 00421 910 418034
Skype: plasticdealer
web: www.plasticdealer.com

Industrial Engineer in Mechanics & MBA

15 years of work experience focused on commercial, project management and technical areas developed in different industries (foundries and steel plants, minerals, thermal insulation, automotive, aluminium & prefabricated construction structures).
Leadership in management of technical and sales teams, business development strategy and management of project departments.
Good communication and teams leadership skills, team work, organized, negotiation abilities, empathy, adaptability, result oriented, proactivity and initiative.

Ref. 12

Buscamos Ingeniero Técnico Comercial para penetración de hornos de inducción en el mercado europeo.

El candidato será responsable de la implantación y penetración de los equipos en Europa; reportando directamente a la matriz y trabajando de manera autónoma para cumplir los objetivos marcados.

Experiencia en fundición férrica de hierro y acero, y en hornos de fusión por inducción, será valorada.

Ref. 13

Técnico comercial fundición exportación

Descripción de la oferta: Dependiendo de la Dirección de la empresa, ubicada en Pamplona, se dedicará a la venta de las piezas de fundición que fabricamos y vendemos. Para ello, viajará por diferentes países y mantendrá reuniones con los distribuidores de los principales mercados en los que estamos trabajando actualmente (zona Magreb, Países Árabes, Rusia, Sudamérica, etc.).

Requisitos mínimos:
- Amplia experiencia en la venta de piezas de fundición, principalmente en el sector de la minería, así como en el de las cementeras e industria.
- Total disponibilidad para viajar a nivel internacional (90-100% de la jornada).
- Dominio de inglés, valorándose otros idiomas.
- Experiencia mínima en puesto similar de 5-8 años.
- Incorporación inmediata.

Condiciones contrato:
- 6 meses Temporal + indefinido.
- Jornada completa.
- Salario Fijo + Comisiones.

Aquellas personas interesadas en el puesto, pueden enviarnos su c.v. actualizado a la dirección de correo electrónico **rrhh@triman.es** indicando la **Ref. Fundición Export**.

Empresa de tratamientos y recubrimientos de la provincia de Barcelona busca un Técnico - Comercial para España

Deberá viajar constantemente por todo el territorio español y, esporádicamente, al extranjero.

Requisitos:
- Ingeniero de materiales o ingeniero mecánico, con experiencia en tratamientos térmicos y superficiales.
- Preferiblemente con experiencia en tareas comerciales (en industria mecánica y / o de automoción).
- Alto nivel de inglés. Se valorará francés.

Ref. 10

SILVIA BACCO

TRADUCCIONES: SECTOR FUNDICIÓN

INGLÉS-FRANCÉS-ESPAÑOL

- Normas y manuales técnicos
- Artículos y patentes
- Folletos publicitarios y newsletters
- Sitios web y videos institucionales

info@centrodeidiomas.com.ar
www.centrodeidiomas.com.ar
skype: silviabacco

NECESITAMOS COMERCIAL

Empresa pequeña de fundición inyectada de aleaciones no férreas sita en Madrid, necesita COMERCIAL LIBRE para expansión de la misma.

Se valorará experiencia y cartera comercial.
Posibilidad de entrar en el accionariado de la empresa.

Interesados ponerse en contacto en el
Tl.: +34916094514
o mail.: matricerias_mace@ hotmail.es

FÁBRICA DE HORNOS Y ESTUFAS INDUSTRIALES.

Situada en Barcelona precisa Ingeniero con experiencia probada, para su Departamento Técnico.

j.mir@bautermic.com

Ref. 11

SE BUSCA ACCIONISTA

Empresa pequeña de fundición inyectada de aleaciones no férreas ubicada en Madrid, BUSCA socio y/o empresa accionista para reflotar y expandir la misma.

Fundición ideal para línea de negocio de piezas de bajo valor añadido y/o línea blanca de piezas.

Interesados contactar en el +34 607 969 405

Especialistas en Tecnologías del Vacío

- Bombas y sistemas de vacío
- Detección de fugas
- Reparación y mantenimiento de cualquier marca, utilizando repuestos originales y con garantía de 1 año
- Servicio de alquiler

Oficina de Ventas y Servicio Técnico
Oficial en España
Oerlikon Leybold Vacuum Spain S.A.
T 93 666 43 11 • F 93 666 43 70
info.vacuum.ba@oerlikon.com
www.oerlikon.com/leyboldvacuum

oerlikon
leybold vacuum

HOT técnicas en Hornos HOT S.L.

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

AICHELIN Group
Lohmann Qualität in Edelstahl
Stop off paints LUISO

TECNICAS EN HORNOS HOT S.L.
Polígono Ibaiondo
Pabellón nº 13
20120 Hernani - Spain
e-mail: hot@tecnicashot.com
TF : + 34 943 33 72 33
Fax : + 34 943 33 72 34
Mv. : + 34 609 20 00 90

SECO/WARWICK
Heat Processing Equipment

SECO/WARWICK EUROPE Sp. z o.o.
ul. Świerczewskiego 76
66-200 Świebodzin
tel.: 683819800
fax: 683819805
europe@secowarwick.com.pl
www.secowarwick.com

vacuum furnace ◦ atmosphere furnace ◦ aluminium process
vacuum metallurgy ◦ controlled atmosphere brazing
special furnaces ◦ spare parts ◦ repairs ◦ modernizations

innovation • performance • reliability

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

Fabricamos:

-MÁQUINAS PARA TRATAR SUPERFICIES : - Lavar, - Desengrasar, - Fosfatar...
-HORNOS Y ESTUFAS PARA : - Templar, - Secar, - Fundir, - Cocinar ...
-INSTALACIONES DE PINTURA : - Lavado, - Fosfatado, - Pintado, - Secado...

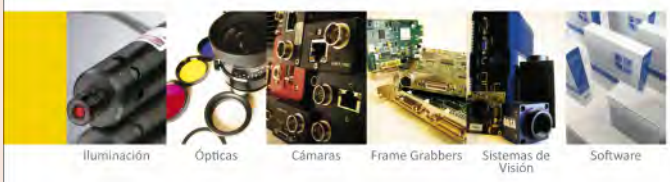
Bautermic
Tel: 933 711 558 - Fax: 933 711 408
www.bautermic.com
e-mail: comercial@bautermic.com

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@gmx.es

Laboratorio de ensayo acreditado por ENAC

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



INFAIMON
SU ASESOR EN VISIÓN ARTIFICIAL

www.infaimon.com | infaimon@infaimon.com

tenova B.M.I. El especialista en hornos para tratamientos térmicos al vacío

Temple gas y aceite
Revenido y recocido
Nitruración baja presión
Nitruración iónica
Cementación baja presión
Soldadura brazing
Sinterizado
MIM

APLICACIONES TERMOTECNICAS, S.L - Apdo. 4052 - 48080 BILBAO – ESPAÑA
TEL : 94.426.25.22 FAX: 94.426.22.62
info@aplitec-tt.com ; www.aplitec-tt.com ; www.bmi-fours.com

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

Emison
Grup EMISON
Pl. Can Català - Can Cabanyes, 99 - 08401 Granollers - Tf. Directo: 938 792 871
INTERNET: www.emison.com - MAIL: marc@emison.com

- Fabricantes de hornos desde 1957.
- Hornos para fundición.
- Hornos de mufla.
- Depuradoras de humos.
- Equipos especiales.
- Tratamiento térmico de metales.
- Hornos continuos con atmósfera controlada.
- Equipos de incineración.
- Hornos de temple.
- Hornos de soldadura.
- Hornos de revenido.
- Hornos de recocido.
- Hornos de pavonado.
- Hornos de sales.

Flexinox INDUSTRIAL
www.flexinox.com
ESPECIALISTAS EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS PARA TRATAMIENTO TÉRMICO Y RECAMBIOS EN ACEROS REFRACTARIOS
TUBOS RADIANTES
MUFLAS
RETORTAS
UTILLAJES
CESTAS Y CRISOLES
CADENAS
REPARACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE HORNOS
(OBRAS REFRECTARIAS)
Representante para España de AUBE-LINDBERG
FILINOX, S.A.
C/ Sant Adrià, 76
08030 Barcelona
Tel.: 93 223 26 82
Fax: 93 223 26 87
customer@inoxidables.com

PYRO® CONTROLE
CHAUVIN ARNOUX GROUP
SSi SUPER SYSTEMS INC.
HITECH INSTRUMENTS LTD
TKK EREMA
TOKAI KONETSU KOGYO CO., LTD.
WINNER TECHNOLOGY CO.,LTD.
주식회사 위너테크
- Sondas de oxígeno
- Analizadores de gases
- Pruebas de uniformidad de temp. AMS2750D, E y CQI9 r3
- Sondas de temperatura
- Videoregistradores
- Reguladores de temperatura
- Thyristores
- Resistencias CSi y MoSi2
- Automatización de hornos

ENTESIS technology
Guitard 72 baixos, E-08014 Barcelona
Tel. (+34) 93 410 54 54, Fax (+34) 93 419 97 33
www.entesis.net · e-mail:info@entesis.net

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

tecno piro®

-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 tecnopiro.com

PROYCOTECME
HORNOS INDUSTRIALES PROYECTOS Y CONSTRUCCIÓN
Especialistas en Tratamiento Térmico

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

Interbil

Ingeniería Térmica Bilbao s.l.

Ingeniería y Productos para Hornos y Procesos Térmicos

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

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

www.interbil.es

ARROLA®

SERVICIO INTEGRAL
PARA INSTALACIONES
DE TRATAMIENTO TERMICO

HORNOS INDUSTRIALES

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

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

S. A. METALOGRAFICA

DESDE 1949

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

NUESTROS SERVICIOS	CAPACIDADES MÁXIMAS
• TT VACÍO DE: MOLDES, MATRICES Y HERRAMIENTAS • CEMENTACIÓN Y CARBONITRURACIÓN • NITRURACIÓN • NITROVAC-S®:NITROCARBURACIÓN ANTIOXIDANTE • TENIFER: NITRURACIÓN ANTIDESGASTE • TT ACERO RÁPIDO • HIPERTEMPLE • BONIFICADO, RECOCIDO Y NORMALIZADO • OXY-VAPOR®: TT ANTIGRIPANTE • NOXYT®: PAVONADO DURO • ANÁLISIS DE MATERIALES • ASESORAMIENTO METALÚRGICO • CARBOVAC®: CEMENTACIÓN VACIO • IONIT OX®: NITROCARBURACIÓN POR PLASMA	• TEMPLE EN VACÍO: ø 1500 x 2000 mm (Moldes hasta 2500 Kg) • NITRURACIÓN Y • NITROCARBURACIÓN: ø 1000 x 1500 mm • CEMENTACIÓN • CARBONITRURACIÓN • BONIFICADOS: 1600 x 1600 x 700 mm (Piezas hasta 2000 Kg)

Polig. Ind. POLIZUR - Naves 4, 5 y 6
08290 CERDANYOLA (Barcelona)
www.metalografica.com
metalografica@metalografica.com

Safe Cronite

L'esprit industriel

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

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

Hornos industriales para el tratamiento térmico

SOLO Switzerland

www.soloswiss.es

SOLO Swiss
CP 7127 - 2500 Bienne 7 - Suiza

mail@soloswiss.com
Tel. : +34 656 878 067

COMERCIAL SATEC
SOCIEDAD LIMITADA

COMERCIAL SATEC, S.L.
PA.E. ASUARAN Edificio Enekuri, nave 9
48950 ERANDIO (Bizkaia)
Tel:++34 944711663 - Fax:++34 944711741
info@comercial-satec.com - www.comercial-satec.com

Hornos Tratamiento Térmico de CIEFFE
Cámara, contínuos, de cinta, rodillo, solera móvil, empuje, vacío, fosa y campana, nitruración, lavadoras, generadores endogas, hornos especiales, líneas automáticas, para cementación, LPC, temple, revenido, nitruración, LPN, recocido, sinterizado, brazing, forja, aluminio, ...

Pinturas protectoras de NÜSSLE
Pinturas protectoras para cementación nitruración y oxidación CONDURSAL y CONDURON.

Aceites, Polímeros de BURGDORF y OSMIROL
Aceites y polímeros de temple de alto rendimiento. Antioxidantes, desengrasantes.

Repuestos y servicio para tratamiento térmico de HSH Härterei GmbH
Reparaciones, retrofits, muflas, sondas, cadenas, ventiladores, termopares, utillajes.

HÄRTETECHNIK BURGDORF OSMIROL NÜSSLE — CIEFFE — HSH HÄRTEREITECHNIK

Hornos industriales y estufas

Borel Swiss
Rouges-Terres 61 - 2068 Hauterive - Suiza

www.borel-hornos.com
email : mail@borel.eu
tel. : +34 656 878 067

Borel
Special Furnaces
Switzerland

testo 350

Instrumentos de medición portátiles, fabricados conforme el estándar ISO 9001, para los siguientes parámetros.

- Temperatura
- Humedad
- Velocidad
- Presión
- Calidad del aceite culinario
- **Productos de la combustión**
- Calidad del aire
- pH
- Luz/Sonido
- rpm

Instrumentos Testo, S.A.
Tel: 93 753 95 20
www.testo.es

We measure it. testo

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

insertec
Hornos y Refractarios
Ingeniería y Servicios Técnicos, S.A.
Avda. Cervantes, 6 - 48970 Basauri, Vizcaya
Tel.: 944 409 420 • Fax: 944 496 624
e-mail: insertec@insertec.biz • www.insertec.biz

HEA
SINCE 1945
HORNOS INDUSTRIALES
www.alferieff • hea@hornoshea.com
Tel: 916396911 • MADRID

SPECTRO
Driven to Discover

Espectrómetros para analizar metales

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

Tel. 94 471 04 01 – Fax 94 471 17 41 – comercial@spectro.es

SPECTRO Hispania, S.L.
P.A.E. Asuarán, Edificio Enekuri –Nave 9
48950 ERANDIO (Asua) – Vizcaya

www.spectro.com

INDICE de ANUNCIANTES

ACEMSA 44
AEROSPACE 7
APLITEC 45
ARROLA 5
B.M.I. 45
BIEMH . . . . . Contraportada 2
BOREL SWISS 47
COMERCIAL SATEC 47
EMISON 45
ENTESIS 45
FLEXINOX 45
HEA . . . . . Contraportada 4
HORNOS DEL VALLÉS 45
HOT 13
INFAIMON 44
INSERTEC 47
INSTRUMENTOS TESTO 47
INTERBIL 46
LIBROS TRATAMIENTOS TÉRMICOS . 35
METALMADRID 9
NAKAL 46
OERLIKON LEYBOLD VACUUM . . . 44
ONDARLAN 3
POMETON 44
PROYCOTECME 45
REVISTAS TÉCNICAS . . . . . Contraportada 3
S.A. METALOGRÁFICA 46
SAFE 15
SECO/WARWICK 44
SOLO . . . . . PORTADA
SPECTRO 47
SUMINISTRO Y CALIBRACIÓN . . . 11
TECNYMAT 11
WHEELABRATOR 46

Próximo número

ABRIL

Nº Especial **AEROSPACE** (Sevilla).

Hornos de sales. Instalaciones de atmósferas protectoras. Refractarios. Aislantes. Quemadores. Calentadores. Calidad. Laboratorio. Reguladores de temperatura. Cañas pirométricas. Metrología. Tratamiento térmico de metales férreos y no férreos.

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

3 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. 1º. • 28001 MADRID • Telf.: 91 781 77 76 • Fax: 91 781 71 26 • pedeca@pedeca.es

www.pedeca.es

CÁMARA DE VACÍO

AUTOCLAVE DE TEMPERATURA, VACÍO Y PRESIÓN

HEA
SINCE 1945

HORNOS ALFERIEFF

www.alferieff.com • hea@hornoshea.com