TRATER Press

FEBRERO 2017 • Nº 57

REVISTA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

www.prodeca.es

Innovative. Reliable. Precise.

SOLO Switzerland

www.soloswiss.es

Hornos continuos SOLO Swiss 322, Danemark

Borel Standard Furnaces & Ovens Switzerland

www.borel-hornos.com

Hornos tubulares

Hornos de carro

Estufas vacío

Estufas industriales

Hornos de cámara

Hornos industriales

Estufas de laboratorio

BILBAO 06>08 JUNIO

FERRO FORMA 2017

REVOLUTION TOOLS

www.ferroforma.eu

IN DUS TRY

FERRO FORMA · SUB CON TRATA CIÓN'17 · FITMAQ 2017 · maintenance · PUMPS & VALVES · ADDIT3D

BEC 6-8/6 2017

e-mail: ferroforma@bec.eu
www.bilbaoexhibitioncentre.com
www.ferroforma.eu

BILBAO EXHIBITION CENTRE

EXPOSSIBLE!

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 2017 - Nº 57

Editorial 4

Noticias 6

Los cursos Pilz tendrán Certificación TÜV • Máquinas para el "tratamiento de superficies" • Línea ampliada de pirómetros con ratio de alta temperatura.

Información

- IK4-AZTERLAN aumenta sus capacidades orientadas al sector aeronáutico a través de la acreditación Nadcap y consolida su posicionamiento como centro de referencia en metalurgia 10
- Distintos tratamientos térmicos utilizados en la industria - *Por BAUTERMIC, S.A.* 12
- SSAB apuesta por nuevas iniciativas para reducir la emisión de CO2 16
- La Asociación Cluster de Aeronáutica y Espacio del País Vasco HEGAN presenta su Plan Estratégico 2017-2020 18
- Air Liquide anuncia una nueva identidad visual 20
- Algunas consideraciones sobre el aluminio y sus aleaciones. Tratamiento térmico (Parte 3) - *Por Manuel Antonio Martínez Baena* 22
- Simulación de las distorsiones de un tratamiento térmico - *Por M. Giménez, M. D. Riera y J. M. Prado* 36

EMPLEO 45

Guía de compras 47

Índice de Anunciantes 50

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 TRATER PRESS sin previo acuerdo con la revista.

Asociación colaboradora
ASAMMET Asociación de Amigos de la Metalurgia

Editorial

Para este año 2017 hay varios eventos previstos sobre el sector, donde estaremos presentes en mayor o menor medida, pero estaremos. Es importante y necesario estar presente para potenciar al máximo la difusión de los anunciantes reflejados en nuestra revista.

El más próximo y además en la localidad de Chambery (Francia) es el que trata de la **"Cementación a baja presión o gaseosa"**. Durante 2 días se reúnen las principales compañías del sector y allí estaremos para difundir nuestra revista. En el número siguiente les contaremos todo lo allí acontecido, las conferencias que se pronunciaron y la procedencia de los asistentes.

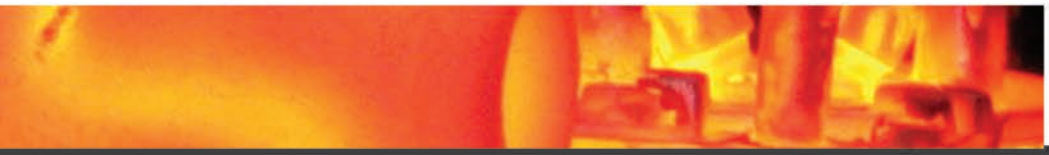
A medida que se vayan conociendo las fechas de los siguientes eventos, iremos comunicándolo oportunamente, para una mayor conciencia de la presencia en eventos.

Antonio Pérez de Camino

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

publiadk.com

Cementación a baja presión o gaseosa

Balance y perspectivas

14-15 de marzo 2017 – CHAMBERY

La cementación a baja presión desarolla su base industrialmente desde finales de 1990. Se utilizaba en una parte del mercado, especialmente en el campo de la industria automóvil y más recientemente en la industria aeronáutica. Pero la cementación gaseosa frente a la competencia ha avanzado y conserva una parte de mercado importante.

Desde hace poco más de 20 años de experiencia industrial, hemos considerado útil hacer un balance en términos de rendimiento técnico, económico y medioambiental, ilustrado sobre experiencias adquiridas por usuarios de ambos procesos.

Para ofrecerles opiniones contrastadas, frabricantes de hornos de cementación lider en estas tecnologías y usarios de las dos tecnologías, argumentarán sobre las ventajas y desventajas de cada proceso.

Deberíamos proponer una perspectiva para el fututo y participar en el diseño de los tratamientos del mañana. Estos días terminarán con una mesa redonda que pensamos estará muy animada.

Participar estos días es actualizar su conocimiento sobre el proceso de cementación y encontrar repuestas para una inversión en este campo del tratamiento térmico.

ESPACIO DEDICADO A LOS INTERCAMBIOS COMERCIALES

Las empresas interesadas por este campo de actividad tienen la posibilidad de presentar sus productos, procesos… en un espacio dedicado a los intercambios comerciales. Pausas establecidas en el programa permitirán buenos intercambios durante los dos días.

Equipamiento del espacio: 1 mesa + 2 sillas, 1 conexión eléctrica, 2 paradas para la visualización de posters.

TARIFA : 540,00 € TTC (miembro A3TS) - 792,00 € TTC (no miembro).

PROGRAMA MARTES 14 DE MARZO

9h30: Acogida de los participantes.

10h00: Apertura de los dos días y presentación de la A3TS.

10h15: Cementación gaseosa/cementación a baja presión: datos comparativos, científicos y técnicos.
Pascal LAMESLE (IRT M2P).

11h00: Pausa.

11h30: Adaptación de los aceros al proceso de cementación a baja presión.
S.D. CATTEAU, T. SOURMAIL, M. MILLOT, H. DABAS, B. BOURGOIS, J. WISNIEWSKI (ASCO INDUSTRIES).

12h00: Cementación a baja presión aplicada a los aceros inoxidables y a los aceros aleados con silicio.
Thibaut MARTIN, Atman BENBAHMED (AUBERT & DUVAL).

12h30: Almuerzo.

14h30: Ejemplos de asociaciones concretas de cementación a baja presión con temple en aceite y tratamientos a granel.
Yves GIRAUD (ECM TECHNOLOGIES).

15h00: A la intersección de la industria y de la tecnología 4.0: mejorar e incrementar la flexibilidad de la producción, gracias a una nueva tecnología de cementación a baja presión.
Janusz KOWALEWSKI (Director of Business Development for ARGOS, IPSEN USA).

15h30: Hornos con atmósfera controlada y procesos asociados aplicados en la industria autómovil: ventajas y perspectivas de aplicaciones.
T. DOPLER (AICHELIN GmbH), H. ALTENA, D. ZIMMERMANN, (AICHELIN HOLDING GmbH).

16h00: Pausa.

16h30: Actuales tendencias con la cementación a baja presión para una producción en masa eficiente.
Dr. Volker HEUER, Dr. Klaus LÖSER (ALD VACUUM TECHNOLOGIES GmbH).

17h00: La cementación gaseosa: una tecnología con una resiliencia probada.
Francis LIEBENS, Nicolas SALLEZ (SOLO SWISS SA).

17h30: Fin del día.

20h00: Cena entre los participantes.

PROGRAMA MIÉRCOLES 15 DE MARZO

9h00: Herramientas y aleaciones adaptadas a las diferentes cementaciones.
Jean-Noël Amadasi (SAFE CRONITE).

9h30: Retorno de experiencia de la empresa Airbus Helicopters sobre la sustitución de la cementación gaseosa por la cementación a baja presión.
Alexandre BONNIN (SAFRAN HELICOPTER ENGINES).

10h00: Aplicación de la cementación a los turbomotores con pequeña y media potencia.
Cyril VERNAULT (SAFRAN HELICOPTER ENGINES).

10h30: Pausa.

11h00: De la cementación gaseosa y temple con aceite, a la cementación a baja presión con temple en helio: del sueño a la realidad.
Jean-Paul CANIVET (GIMA).

11h30: Distorsión de engranajes y manguitos deslizantes para cajas de engranajes de camiones, un análisis sistemático de diferentes conceptos de tratamiento térmico.
Andreas Schüler (ZF FRIEDRICHSHAFEN AG).

12h00: Los tratamientos termoquímicos en el grupo Renault.
Muriel Rochette (RENAULT).

12h30: Almuerzo.

14h00: El tratamiento termoquímico en el grupo PSA: una gran historia que tiene futuro.
Philippe LAPIERRE (PSA GROUPE).

14h30: Mesa redonda.

16h00: Conclusión de los días.

INFORMACIONES GENERALES

GASTOS DE PARTICIPACIÓN

El coste incluye el acceso a las conferencias con toda la documentación, las pausas, los dos almuerzos y la cena del martes 14 de marzo.

Miembros A3TS:
Antes el 15/02/2017: 358.80 € TTC
Después el 15/02/2017: 387.60 € TTC

No Miembros:
Antes el 15/02/2017: 446.40 € TTC
Después el 15/02/2017: 506.40 € TTC

Los pagos deberían tener lugar antes del martes 14/03/2017:

- Por transferencia bancaria:
  RIB: 30056 00040 0040 541 6761 92
  IBAN: FR76 3005 6000 4000 4054 1676 192
  BIC: CCFRFRPP
- Pago online sobre la website: a3ts.org

Los cursos Pilz tendrán Certificación TÜV

Pilz España y Portugal ha firmado un contrato de colaboración con TÜV Nord. El contrato que será vigente desde 2017 permitirá realizar cursos de Directiva de Máquinas y Marcado CE y Diseño de Seguridad según EN ISO 13849 a nivel mundial.

Durante este año todos los cursos que se realicen, ya sean in Factory o cursos de calendario tendrán certificado TÜV. Para obtener dicho certificado será necesario superar un examen final.

En la foto podemos observar para la firma del acuerdo a: Luis Taverner (Director General en PILZ España y Portugal), Daniel Moya (Director Internacional en PILZ Europa Central - Oeste), Alvaro Klasse (Gerente Formación TÜV NORD) y Josep Centeno (Consultor y Gerente Formación en PILZ España y Portugal).

Info 1

Máquinas para el "tratamiento de superficies"

BAUTERMIC S.A., está especializada en fabricar bajo demanda, varios tipos de máquinas para: Lavar, Desengrasar, Fosfatar, Pintar, Calentar, Fundir, Secar… una gran diversidad de piezas industriales que se fabrican en los

Hornos hasta 1.250 °C.

diferentes sectores, especializados en: Automoción, Ferrocarril, Aviación, Mecanizados, Forjados, Tornillería, Estampación…

Facilitan gratuitamente un estudio técnico-económico del tipo de máquina más apropiado para cada una de las empresas que lo soliciten.

Info 2

Línea ampliada de pirómetros con ratio de alta temperatura

Fluke Process Instruments ha añadido cuatro nuevos pirómetros monocolor y bicolor a la serie Endurance que cubren temperaturas de medición desde 50 °C hasta 3.200 °C. El fabricante ha mejorado la resolución óptica de 150:1 a 300:1 permitiendo así la medición a distancia de objetos más pequeños. Es un nuevo pirómetro de baja temperatura para aplicaciones exigentes que mide temperaturas a partir de 250 °C. Los sensores tienen

entradas/salidas aisladas galvánicamente y una carcasa IP65 de acero inoxidable.

Soportan temperaturas ambiente de hasta 65 °C o de hasta 315 °C si se utilizan accesorios de refrigeración. Entre los campos de aplicación están la fabricación primaria y secundaria de metales, el procesamiento de carbono, la fabricación de silicio y también las fundiciones y soldaduras, incluidos gomas y plásticos gruesos. La serie Endurance ofrece una gama variada de modelos con amplios rangos de temperatura de medición y diferentes longitudes de onda para obtener datos precisos del proceso que ayudan a los fabricantes a reducir las tasas de descarte, mejorar la calidad y homogeneidad del producto, maximizar la producción y minimizar los costes energéticos. Los sensores funcionan con la red eléctrica, Ethernet o corriente continua y se pueden conectar mediante Ethernet, ProfiNet y RS-485. Su pantalla retroiluminada situada en la parte posterior con entrada táctil permite una navegación sencilla e intuitiva. El software Endurance basado en PC simplifica su configuración y utilización, y se pueden guardar en un servidor integrado los datos históricos para su trazabilidad, la solución de problemas o la visión remota. Están disponibles diferentes lentes, visores y enfoques, como por ejemplo, una cámara integrada para ver imágenes a través de Ethernet. Dispone de una alarma de suciedad que contribuye a evitar comprobaciones periódicas innecesarias de la limpieza de la lente. Todas las series de pirómetros Endurance ofrecen una garantía de cuatro años, la mejor de su categoría.

Info 3

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

IK4-AZTERLAN aumenta sus capacidades orientadas al sector aeronáutico a través de la acreditación Nadcap y consolida su posicionamiento como centro de referencia en metalurgia

El Centro de Investigación Metalúrgica IK4-AZTERLAN ha obtenido la acreditación Nadcap (National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program), que certifica la competencia técnica del Centro para la caracterización avanzada de materiales metálicos (Materials Testing Laboratory).

La experiencia de trabajo con empresas referentes del sector aeronáutico como AIRBUS, SIKORSKY, CESA e ITP, se consolida con esta apuesta de futuro a través de la acreditación por parte de esta prestigiosa entidad internacional (Performance Review Institute). Una organización orientada a liderar programas y servicios para la mejora de los procesos de fabricación y la calidad de los productos desarrollados para el sector aeronáutico, cuyo reconocimiento independiente acredita la competencia técnica de IK4-AZTERLAN en los espacios de conocimiento relacionados con los materiales metálicos.

Nadcap

This certificate is granted and awarded by the authority of the Nadcap Management Council to:

IK4-AZTERLAN

Aliendalde, 6
Durango, 48200
Spain

This certificate demonstrates conformance and recognition of accreditation for specific services, as listed in www.eAuditNet.com on the Qualified Manufacturers List (QML), to the revision in effect at the time of the audit for:

Materials Testing

Certificate Number: 15085176613
Expiration Date: 31 October 2018

Joseph G. Pinto
Executive Vice President and Chief Operating Officer

Performance Review Institute (PRI) | 161 Thorn Hill Road | Warrendale, PA 15086-7527

Esta nueva acreditación se une a la amplia experiencia y a la destacada capacitación técnica de los especialistas de IK4-AZTERLAN, que junto con unas instalaciones y un equipamiento tecnológico puntero, permiten ofrecer a la industria servicios de caracterización avanzada de materiales, análisis de fallo en servicio, Ensayos No Destructivos y otro tipo de caracterizaciones de mayor valor añadido, orientadas a generar nuevas oportunidades de negocio y a mejorar la competitividad de las empresas.

Accredited Nadcap™

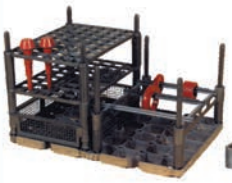
MATERIALS TESTING LABORATORY

De igual forma, la acreditación Nadcap permitirá fortalecer los esfuerzos investigadores de IK4-AZTERLAN en proyectos enmarcados en el ámbito aeronáutico, contando en la actualidad con importantes apuestas de desarrollo en programas nacionales e internacionales de referencia, como por ejemplo el Clean Sky 2, el mayor programa de investigación coordinado por la Comisión Europea y la industria aeronáutica europea, para desarrollar e integrar tecnologías de vanguardia en el sector de aviación, que permitan optimizar su impacto medioambiental y económico, dentro del marco Horizon 2020).

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.: 609 419 325 - Fax: +33 243 212 463 - E-mail: maricarmen.garcia@safe-cronite.com - www.safe-cronite.com

SU MEJOR COMUNICACIÓN

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL

Estrenamos Nueva Web

www.pedeca.es

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

PREGUNTE POR NUESTROS PACKS DE PUBLICIDAD
IMPRESIÓN + DIGITAL

PEDECA Press Publicaciones
SOMOS SU MEDIO

C/ Goya, 20. 1°. • 28001 MADRID
Telf.: 91 781 77 76 • Fax: 91 781 71 26
pedeca@pedeca.es • www.pedeca.es

Distintos tratamientos térmicos utilizados en la industria

Por BAUTERMIC S.A.

La utilización de los diferentes tratamientos térmicos que se aplican en la industria en general, permiten mejorar las características técnicas del acero y sus aleaciones, así como las de otros metales.

En los tratamientos térmicos se utilizan procesos muy variados o una combinación de los mismos, según el fin que se pretende conseguir. La gran diversidad de tratamientos térmicos, las distintas aleaciones, sus reacciones térmicas y las diferentes exigencias técnicas, físico-químicas y mecánicas de dureza, flexibilidad, deslizamiento, etc., que se pretenden conseguir, requieren soluciones y conocimientos muy profundos de la materia.

Con los tratamientos térmicos lo que se pretende básicamente es endurecer o ablandar o eliminar las tensiones provocadas en los aceros debido a un estirado, prensado, forjado o mecanizado. Modificando la estructura cristalina total o parcialmente para cambiar las características mecánicas del material.

A continuación damos una breve información sobre diferentes Tratamientos Térmicos, sus procesos y los resultados que se pueden obtener.

Podemos distinguir dos razones principales para efectuar tratamientos térmicos: Para conseguir un endurecimiento TEMPLE o un ablandamiento RECOCIDO.

TEMPLE: El temple consiste en calentar el acero a una temperatura determinada por encima de su punto de transformación (ver las especificaciones de cada tipo de acero, (temperatura de temple)) para lograr una estructura cristalina determinada (estructura austenítica), seguido de un enfriamiento rápido con una velocidad superior a la crítica, que depende de la composición del acero, para lograr una estructura austenítica, martensítica o bainítica, que proporciona a los aceros una dureza elevada.

Para conseguir un enfriamiento rápido se introduce el acero caliente a temperatura de temple en un medio líquido, que puede ser agua, aceite, sales fundidas o bien se efectúa el enfriamiento con aire o gases. La velocidad de enfriamiento depende de las características de los aceros y de los resultados que se pretenden obtener.

TEMPLE ISOTÉRMICO: En casos determinados se interrumpe escalonadamente el enfriamiento a unos limites de temperatura comprendidos entre 180-600 °C., alcanzándose de esta manera un temple con el mínimo de variación en las dimensiones de las piezas y un mínimo riesgo de deformación, consiguiéndose durezas y resistencias determinadas, de acuerdo con las estructuras cristalinas en lo que se refiere a austenita, martensita o bainita. Según el escalonado de temperaturas de enfriamiento, se denominan:

A) Temple Austempering: entre 200 °C y 600 °C.
B) Temple Martempering: entre 200 °C y 400 °C.
C) Temple en Baño caliente salino: a temperatura de 200 °C.

Los procedimientos de temple descritos se refieren al endurecimiento del material tratado, existen otros tratamientos que permiten una variación más amplia de

ADVANCED FACTORIES

EXPO & CONGRESS

4-6 abril 2017 | Barcelona - CCIB

LA FÁBRICA DEL FUTURO, EL FUTURO PARA LA INDUSTRIA

| www.advancedfactories.com | #AF2017

Partners institucionales:

Generalitat de Catalunya gencat.cat

ACCIÓ

Ajuntament de Barcelona

Colaboradores estratégicos:

AIMHE

pimec

Organizan:

NEBEXT NEXT BUSINESS EXHIBITIONS

eurecat Centre Tecnològic de Catalunya

Hornos de mufla.

Hornos de crisol.

las características de dureza y resistencia al desgaste añadiendo carbono (CEMENTACIÓN), nitrógeno (NITRURACIÓN), cianuros (CARBONITRURACIÓN) o bien otros compuestos a la superficie de las piezas tratadas. La difusión de estos compuestos químicos se realiza en hornos de sales fundidas, en hornos de atmósferas o por bombardeo iónico en hornos de vacío.

RECOCIDO: El recocido pretende conseguir lo contrario que el temple, es decir un ablandamiento del material que se consigue al poner en equilibrio la estructura cristalina interior del acero, que se había deformado por el enfriamiento brusco, por diversos tratamientos térmicos o por la mecanización de la pieza, forja, estampado, trefilado, torneado, etc.

RECOCIDO ISOTÉRMICO: Otros recocidos se efectúan para modificar la repartición de los componentes de la estructura cristalina (transformación de la perlita laminar), este recocido es muy frecuente en piezas estampadas para la industria de automoción.

Aparte de los tratamientos indicados existe un gran número de otros muy específicos como Envejecimiento Acelerado, Boronizado, Sulfinizado, Desgasificado, Oxidación, Recristalización, Reducción de sinterizado, etc.

RECOCIDO DE NORMALIZADO: Es un recocido que se efectúa para proporcionar una buena y fácil mecanización de las piezas, lo cual depende de su estructura cristalina. El normalizado se efectúa antes del temple, ya que el resultado de éste depende del estado inicial de la estructura de las mismas. También se realizan recocidos para la eliminación de tensiones a temperaturas inferiores al punto de transformación.

* Existen otros tipos de RECOCIDOS como son: de Recristalización –de Perlitización– de Difusión o Recocidos Intermedios, todos ellos se realizan básicamente para eliminar las tensiones, reestructurando la composición de los aceros.

REVENIDO: Tiene como objetivo disminuir la fragilidad producida por el temple. Consiste en calentar las piezas de acero que han sido templadas a una temperatura inferior a su punto de transformación Ac1 aproximadamente 730 °C durante cierto tiempo de estabilización, seguido de un enfriamiento cualquiera con el fin de eliminar las tensiones producidas en el temple o bien disminuir su dureza. Según los efectos que se deseen, las temperaturas a emplear oscilan entre 150 °C y 600 °C.

Los tratamientos térmicos están determinados por las características de los aceros, las exigencias de las piezas tratadas, su forma geométrica y sus dimensiones. Generalmente se efectúan sobre piezas ya mecanizadas o en su última fase de fabricación, por lo que si se producen fallos, son generalmente muy costosos especialmente en el caso de matrices, moldes o herramientas.

metalmadrid '17

Junto a

ROBOMATICA

COMPOSITE SPAIN

Décimo Aniversario

ABIERTO EL PERIODO DE RESERVAS

15 y 16 de Noviembre de 2017 · Pabellón 2 y 4 · Feria de Madrid

Si tu empresa está interesada en exponer en está edición escribenos a comercial@metalmadrid.com o llamanos al +34 91 231 70 04

www.metalmadrid.com

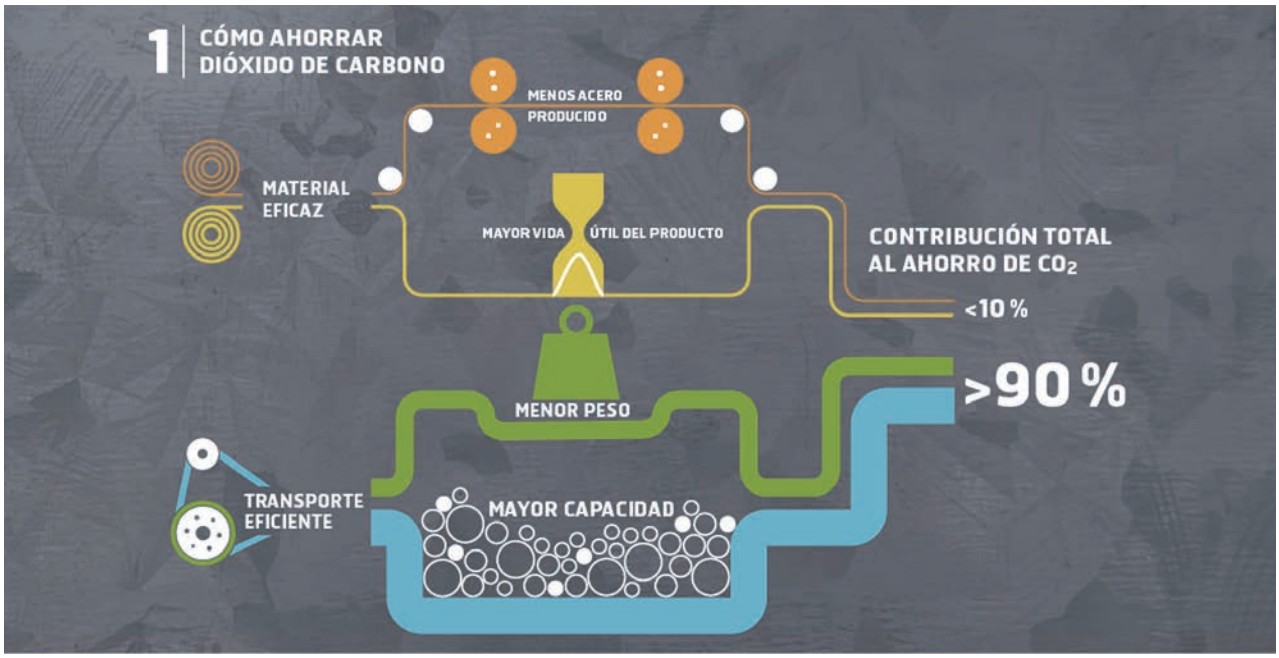
www.compositespain.com · www.robomatica.es

SSAB apuesta por nuevas iniciativas para reducir la emisión de CO2

Reducir el impacto del negocio en el medio ambiente es una de las mayores apuestas de SSAB, que busca disminuir la emisión de CO2 aplicando nuevas técnicas que favorezcan la lucha contra el cambio climático, uno de los retos globales más críticos en la actualidad.

Para ello, la compañía de aceros de alta resistencia ha lanzado una iniciativa, EcoUpgraded, que está ayudando a los clientes a obtener beneficios ambientales derivados del uso de aceros de alta resistencia. Unas mejoras que suponen una reducción del peso, una disminución del consumo de combustible y una mayor vida útil del producto.

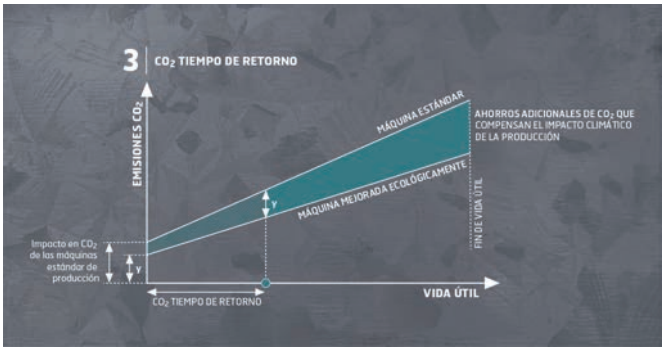
El objetivo de EcoUpgraded de SSAB consiste en identificar aplicaciones con un alto potencial de reducción de emisiones de CO2 durante su uso. Una vez se examina cada una de las aplicaciones, SSAB puede determinar si el ahorro potencial de CO2 - en su fase de uso - supera el CO2 emitido durante la producción, mostrando así los productos que más se beneficiarían con cambiando a aceros de alta resistencia.



Las mejoras incorporadas en los aceros de SSAB, durante el uso del producto, permiten a los fabricantes compensar rápidamente las emisiones de CO2 de su producción siderúrgica durante la utilización del producto. Además, una vez se alcanza el punto de equilibrio, la aplicación seguirá proporcionando un ahorro de CO2 muy superior a la deuda original.

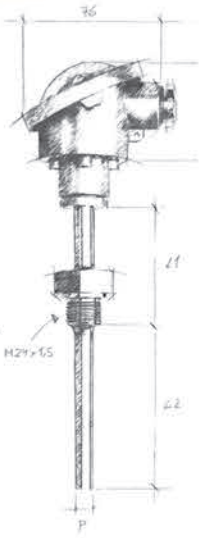
La fabricación de productos elaborados con acero de alta resistencia de SSAB garantizan propiedades fundamentales como: un peso reducido, una economía de combustible mejorada y mayor vida útil, factores clave a la hora de reducir la huella de carbono.

Una apuesta de SSAB que permite proporcionar puntos de referencia respecto a la reducción de las emisiones de CO2 y además, mantiene a sus clientes por delante de la nueva legislación y las exigencias medioambientales.



FABRICACIÓN SENSORES DE TEMPERATURA

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



LABORATORIO CALIBRACIÓN in situ

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

SCI Suministro y Calibracion Industrial s.l.

www.sciempresa.com

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

La Asociación Cluster de Aeronáutica y Espacio del País Vasco HEGAN presenta su Plan Estratégico 2017-2020

La Asociación Cluster de Aeronáutica y Espacio del País Vasco HEGAN presentó ayer en Bilbao su Plan Estratégico 2017-2020 en un acto público dirigido a compartir sus anhelos, objetivos y ambición con las empresas del sector y la sociedad en general. El documento elaborado por HEGAN lleva la denominación "Ruta compartida" y alude así a su intención de diseñar un futuro colectivo deseable para el sector aeronáutico, con la ambición de jugar un papel relevante en las cadenas de valor del sector a nivel mundial y el compromiso de las empresas que forman parte del sector en el desarrollo del bienestar del territorio.

Desde el comienzo de su andadura, en la asociación se han venido realizando trabajos de reflexión estratégica cada cuatro años. En esta ocasión, en la presentación del Plan Estratégico para el periodo 2017-2020 han tomado parte Jorge Unda, Presidente de HEGAN y Director General de SENER inaugurando el evento y ofreciendo un contexto y Guillermo Dorronsoro, Decano de la Business School, quien pronunció la conferencia de prospectiva "Certezas e incertidumbres sobre el futuro de nuestra industria". Tras la breve disertación, tuvo lugar una mesa redonda con la participación de Norberto López de Lacalle, Director del Centro de Fabricación Avanzada en Aeronáutica (CFAA); Ester Porras, Directora de Innovación del grupo Aciturri; Loreto Susperregui, coordinadora de Investigación en Robótica de IK4-Tekniker; Iñaki Tellechea, Director de Promoción Empresarial de SPRI y José Juez, Director de HEGAN. El acto fue clausurado por Alex Arriola, Director General de SPRI, Sociedad para la Transformación Competitiva, con un broche final firmado por el Coro de Ingenieros de Bizkaia con cinco piezas, música coral, voces en busca de una armonía, como sucede dentro de HEGAN o de cualquier cluster.

En el transcurso del acto de presentación del Plan Estratégico, el Presidente del cluster HEGAN señaló que "para seguir siendo competitivos en un mercado con cada vez mejores actores, tenemos que dar la talla y debemos demostrar que somos clave en las cadenas de valor de cada aeronave".

El proceso de reflexión presentado ayer observa el contexto repleto de incertidumbres generadas por los cambios socio-políticos surgidos durante la propia reflexión y sometido a variables imprevisibles, en el que sin embargo las previsiones del tráfico aéreo de personas y carga se mantienen optimistas cada año que pasa, sin que se vean demasiado afectadas por la coyuntura económico-financiera que atravesamos desde hace ya casi una década. Las previsiones hablan de crecimiento de un 5% en línea con la evolución del PIB mundial y a largo plazo –si bien podrían bajar a un 2 ó un 3% dadas las coyunturas geopolíticas mundiales que influirán en lo económico– lo que supondría doblar la flota actual en los próximos veinte años, según la previsión publicada por las grandes compañías fabricantes de aviones como Airbus, Boeing, Embraer y Bombardier. Esto signi-

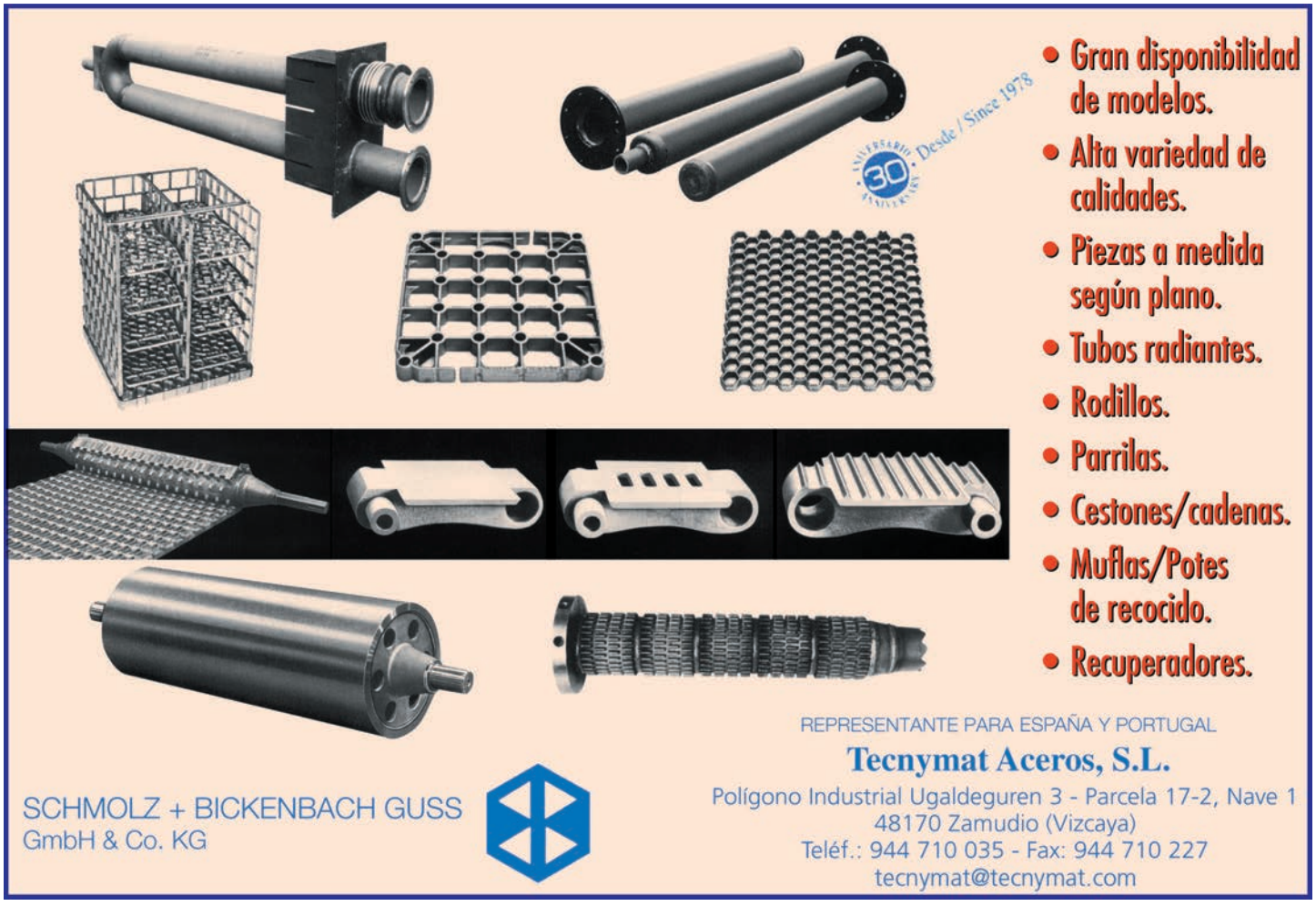
fica que para 2034 se necesitarán alrededor de 30.000 aviones nuevos según estas mismas fuentes.

A través de las numerosas sesiones de trabajo y entrevistas con los socios y reuniones internas, HEGAN identificó las principales claves o retos a nivel global para el desarrollo de la competitividad del Cluster: Personas, Tecnología, Tamaño y Eficiencia, sustentados en la Cooperación y el Trabajo en Común, en los que la existencia de una asociación cluster puede aportar valor a la competitividad del cluster natural. "Porque sabemos que somos poderosos cuando cooperamos, cuando enfocamos nuestros recursos y capacidades hacia un reto compartido" como la Asociación declara en el documento.

Con este trabajo de análisis y reflexión, HEGAN ha construido un plan para los próximos cuatros años en el que pone el foco en la solidez de la relación entre suministrador y cliente, que se convierten así en colaboradores, una "colaboración 4.0" basada en la confianza y construida sobre espacios seguros, en los que la diversidad de capacidades se transforma en la riqueza de la complementariedad: tecnologías avanzadas, organizaciones avanzadas, fábricas avanzadas, personas avanzadas y "colaboraciones avanzadas".

"El futuro que deseamos se expresa en el compromiso de desarrollar nuestra mejor versión con vistas a 2020, un año en el que la ambición que nos mueve nos impulsa a ser verdaderamente relevantes en las cadenas de valor del sector a nivel mundial, con el compromiso de las empresas que forman el sector para el desarrollo del bienestar del territorio y con la voluntad del cluster de contribuir a responder con eficacia a los retos compartidos".

Traducido a cifras las metas del nuevo Plan muestran que "en los últimos diez años hemos duplicado las cifras de facturación y empleo considerando el total de las plantas y oficinas diseminadas por el mundo, y pensamos que durante estos próximos cuatro años las empresas asociadas a HEGAN crecerán aproximadamente a un ritmo anual del 3% en facturación y del 1% en empleo. Esto supondría sobrepasar los 2.200 millones de euros y los 13.000 puestos de trabajo en ese último año del periodo del PE1720, siendo estas cifras acumuladas y generadas por todos los socios en todos sus centros productivos".



Air Liquide anuncia una nueva identidad visual

La adquisición de Airgas y el lanzamiento del programa de compañía NEOS para el periodo 2016-2020, marcan una nueva fase en la historia de Air Liquide. El Grupo se está transformando y está cambiando su identidad visual con un nuevo logotipo, el quinto desde que la compañía se fundó 115 años atrás. Esta nueva identidad visual, que encarna la transformación de Air Liquide, es la de un Grupo líder, experto e innovador, cercano a sus stakeholders y abierto al mundo.

Con la adquisición de Airgas, Air Liquide cambia de dimensión. El Grupo cuenta hoy con 68.000 colaboradores y da servicio a más de tres millones de clientes y de pacientes en el mundo. Al reforzar su presencia en los Estados Unidos, el mayor mercado de gases industriales del mundo así como un país a la vanguardia de la innovación y las tecnologías digitales, Air Liquide entra en una nueva fase de su desarrollo y crecimiento.

Con su programa de compañía NEOS, Air Liquide está implementando una estrategia de transformación centrada en el cliente para proporcionar un crecimiento rentable a lo largo del tiempo. Esta estrategia, en la que la innovación es el camino predominante hacia el crecimiento, está diseñada para ofrecer nuevas soluciones a los desafíos planteados por la transición energética y ambiental, la salud y la transformación digital. Así, Air Liquide continuará creando valor para todos sus públicos de interés.

Este cambio de la identidad visual ilustra por tanto la transformación del Grupo y marca una nueva etapa en su historia. Mientras mantiene los fundamentos de la marca (el nombre, el código de colores y la construcción del logotipo), el monograma AL da paso a un nuevo símbolo de marca, el "Alpha" que simboliza el inicio de una nueva fase. La precisión de "Alpha" refleja la experiencia del Grupo, su cultura científica y sus capacidades tecnológicas y de innovación.

La redondez del símbolo y la tipografía minúscula evocan la proximidad del Grupo con sus stakeholders y su contribución a los grandes desafíos de la sociedad. Por último, la eliminación de la caja alrededor de la marca simboliza la apertura del Grupo, ya sea en su forma de innovar o en su diálogo continuo con las comunidades. Esta nueva identidad visual Air Liquide viene a completar la firma del Grupo «Creative Oxygen» lanzada en 2014. La experiencia se expresa en el dominio del "oxígeno", molécula esencial para la vida, la materia y la energía, mientras que la proximidad y la apertura se transmiten en la "creatividad" de los equipos.

Benoît Potier, Presidente Director General del Grupo Air Liquide, ha declarado: «Esta nueva identidad visual es una fuerte señal de la transformación de Air Liquide. Marca el inicio de una nueva fase en la historia del Grupo en un momento en el que cambia de dimensión. Gracias a unos equipos comprometidos y apasionados, a la confianza de nuestros clientes y la fidelidad de nuestros accionistas, confiamos en la capacidad del Grupo para proseguir su desarrollo y crear valor en el largo plazo para todos sus stakeholders.»

SU POKER DE ASES

REVISTAS PROFESIONALES
DEL SECTOR INDUSTRIAL

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

HOT Técnicas en Hornos HOT, S.L.

AICHELIN Group

HORNOS DE TRATAMIENTO – MAQINAS DE INDUCCION - QUEMADORES

Hauzer TECHNO COATING
PVD / PACVD TECHNOLOGY

EQUIPOS DE PVD – Y - PACVD

Lohmann
Qualität in Edelstahl

UTILLAJES – PARRILLAS - CESTAS

PINTURAS ANTICEMENTANTES - ANTINITRURANTES

DISEÑO Y CONSTRUCCION

HORNOS DE LABORATORIO E INVESTIGACION

SERVICIO TECNICO

REPUESTOS PARA HORNOS IPSEN

TECNICAS EN HORNOS HOT S.L.

Polígono Ibaiondo
Pabellón nº 13
20120 Hernani - Spain

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

e-mail: hot@tecnicashot.com

Algunas consideraciones sobre el aluminio y sus aleaciones. Tratamiento térmico (Parte 3)

Por Manuel Antonio Martínez Baena. Ingeniero Metalúrgico

2. TRATAMIENTOS TERMICOS DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

1. Introducción

Para obtener las óptimas propiedades que se pueden conseguir del aluminio y sus aleaciones, es frecuente y necesario someter a estos materiales al tratamiento térmico correspondiente. El término tratamiento térmico del aluminio y sus aleaciones, lleva implícito toda operación de calentamiento y de enfriamiento que mediante una variación controlada de la temperatura –*tanto de calentamiento como de enfriamiento*– produce una modificación de las propiedades y características del metal tratado térmicamente. El tratamiento térmico puede ser: (1) de ablandamiento, como lo es el tratamiento térmico de **recocido**; (2) de endurecimiento estructural por precipitación, como ocurre con el tratamiento térmico de **bonificado** [solubilización + temple + maduración o envejecimiento*]; **figura 2.1**.

En ciertas ocasiones es conveniente someter el material a un tratamiento térmico de ablandamiento, conocido con el nombre de **recocido**. Está el ejemplo de semiproductos sometidos a un trabajo mecánico de deformación plástica en frío, laminado, trefilado, extrusión, etc.; que incrementan por acritud: la dureza y la resistencia, pero disminuye su ductilidad. El metal debe ser recocido para eliminar los efectos de la deformación plástica, acritud, y conseguir una estructura totalmente estable y homogénea.

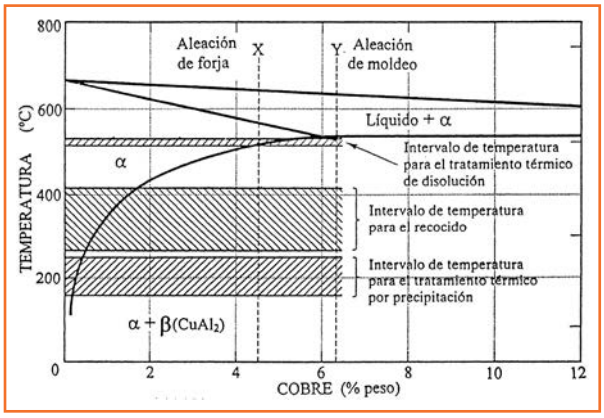


Figura 2.1. Región rica en aluminio del diagrama de fases en el que se muestran dos posiciones de una aleación Al-Cu, una para forja y otra para moldeo. Al mismo tiempo que se indican los intervalos de temperatura: de solubilización, de recocido y de precipitación.

Es muy importante someter a las aleaciones de aluminio a un proceso térmico correcto. Un tratamiento térmico defectuoso puede anular por completo: (1) una selección cuidadosa del material; (2) un proyecto y diseño técnicamente perfecto de la geometría de la pieza; y (3) una mecanización esmerada y cuidadosa de la misma. E igualmente el material en servicio se puede romper y/o tener cierta susceptibilidad a la corrosión, debido a una estructura incorrecta.

* Envejecimiento. Término que para aquéllos que ya tenemos una edad avanzada nos resistimos, por inercia, a utilizarlo y preferimos más bien el término maduración, que es el que nos enseñaron y compartíamos en nuestra época de "***tratamentista***". De aquí en adelante utilizaremos única y exclusivamente el término ***maduración***.

En la mayoría de las aleaciones de aluminio, las óptimas características de resistencia y tenacidad corresponden a una estructura de precipitado que se logra, especialmente, por medio del bonificado. Con el tratamiento térmico de bonificado se consigue el endurecimiento de la aleación, mediante la descomposición de una solución sólida sobresaturada metaestable, obtenida por solubilización + temple del metal o aleación, y su posterior ***maduración***.

En el bonificado el grado de endurecimiento final que se obtiene depende de la cantidad, tipo, morfología, tamaño y distribución de los precipitados producidos. Todo ello es función directa: (1) de la composición química de la aleación; (2) de las condiciones de solubilización y temple; y (3) de la temperatura y del tiempo de precipitación: maduración.

El tratamiento de endurecimiento estructural por precipitación está concebido para producir, en toda la masa matricial del material, la dispersión uniforme de un precipitado fino y duro –***soluto***– en una estructura más blanda y dúctil llamada ***matriz reticular*** y, también, ***red del solvente***. Por lo tanto, el fortalecimiento estructural de una aleación por tratamiento térmico de bonificado se debe no sólo a la presencia de un precipitado, sino también, a una distribución uniforme y homogénea de esas finas partículas que provocan una distorsión de la ***matriz reticular*** o ***red del solvente***, antes de que aquellas –*finas partículas*– alcancen un tamaño visible al microscopio óptico. La aleación **96%Al-4%Cu** es un ejemplo típico de aleación endurecible por precipitación.

En los apartados que siguen comentaremos ampliamente el tratamiento térmico de **bonificado**. Ciclo térmico encaminado a incrementar la resistencia, y a obtener características mecánicas determinadas de acuerdo con el estado del material. Comentaremos, igualmente, los tratamientos térmicos de **recocido**; cuyo propósito puede ser el de destruir total o parcialmente un estado de acritud, homogeneizar el material, hacer desaparecer las tensiones internas y conseguir, asimismo, una estructura totalmente estable del metal de partida, etc. Una característica común de todos los tratamientos térmicos de recocido, es la consecución de estados estables; con aumento de la ductilidad e, igualmente, ablandamiento del material en cuestión.

2.1. Bonificado

El tratamiento térmico de **bonificado** se fundamenta en la variación de solubilidad de los elementos de aleación del material en estado sólido, en función de la temperatura. Según esta propiedad y dado que prácticamente todos los elementos de aleación presentan variaciones de solubilidad en estado sólido, la mayoría de las aleaciones de aluminio serían más o menos susceptibles de incrementar sus características mecánicas al ser sometidas a dicho tratamiento térmico. El bonificado de las aleaciones de aluminio puede representarse esquemáticamente de acuerdo con la **figura 2.2**. Consta de tres etapas perfectamente definidas, denominadas: (1) ***solubilización***; (2) ***temple***; y (3) ***maduración***.

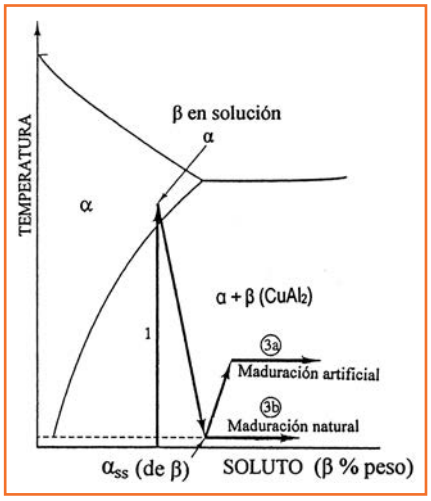


Figura 2.2. Representación esquemática de tratamiento térmico de bonificado de las aleaciones de aluminio: 1 = solubilización; 2 = temple y 3 = maduración [3a = maduración artificial; 3b = maduración natural].

En primer lugar, se ha de calentar el metal a una temperatura y tiempos determinados, **solubilización**, seguidos de enfriamiento rápido: **temple**. La precipitación y endurecimiento estructural posterior puede realizarse a temperatura ambiente, y se denomina ***maduración natural***. Igualmente se le puede realizar al material ya templado un calentamiento a una temperatura relativamente moderada, entre 100 y 200 °C; denominándose, entonces, ***maduración artificial***.

Las variaciones de solución sólida de los elementos de aleación con la temperatura es la causa fundamental de los efectos del tratamiento térmico sobre las propiedades del material. Esta variación de solubilidad está reflejada en los diagramas de fases; que como sabemos, son ciertamente muy importantes para la fácil comprensión de los tratamientos térmicos que se realizan a las aleaciones de aluminio y a otros materiales en general.
Si tomamos, como caso típico, el representado en el diagrama parcial de la **figura 2.3**, aleación que tiene 4% de cobre: **96%Al-4%Cu**. En dicha aleación, el tratamiento de solubilización se realiza a temperaturas

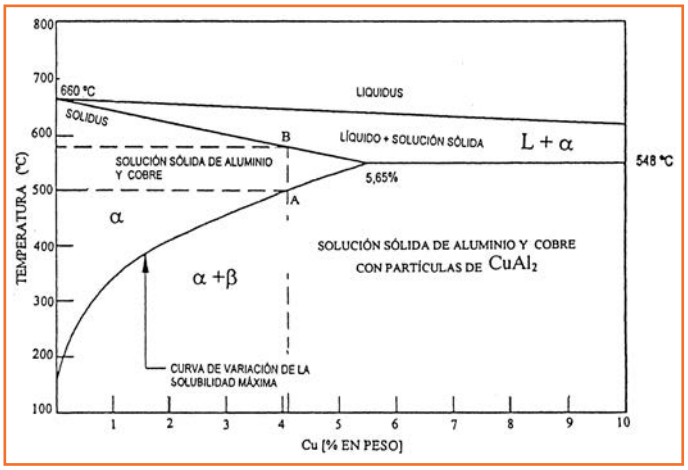


Figura 2.3. Diagrama parcial de equilibrio aluminio-cobre [**Al-Cu**].

comprendidas entre 520 y 550 ºC. El tratamiento térmico de solubilización consistirá, pues, en calentar el material a una temperatura entre 500 y 550 ºC, punto **A** de curva de solubilidad sólida –***solvus***– y 580 ºC, punto **B** de la línea del sólidus. Después de un tiempo determinado a dicha temperatura, se habrá conseguido que todo el cobre quede disuelto en el aluminio. En definitiva, se produce una solución sólida homogénea alfa (α) –**figura 2.4 b**– sin que, por otra parte, se haya llegado casi al principio de fusión del material.

Si una vez lograda la solubilización enfriásemos lentamente el material hasta la temperatura ambiente, todo el cobre puesto en solución, durante el calentamiento anterior, volvería a precipitar en forma de fase de equilibrio [α + θ] –*fase estable*–, **figura 2.4 a**. Pero si enfriamos rápidamente hasta la temperatura ambiente, temple, retendremos el cobre en solución sólida sobresaturada metaestable (α_{ss}); **figura 2.4 c**.

2.1.1. *Teoría del endurecimiento por precipitación*

La solución sólida sobresaturada alfa (a_{ss}), obtenida por un enfriamiento rápido durante el temple, es indispensable para que se produzcan las interesantes reacciones de precipitación durante el proceso siguiente de maduración. El endurecimiento estructural por precipitación de partículas finas proviene del esfuerzo adicional necesario para que pasen las dislocaciones a través de las zonas de precipitado. Los precipitados que se originan, dependiendo de la coincidencia de sus planos cristalinos –**figura 2.5**– con los de la matriz del solvente, pueden ser:

- ***Coherentes***. Cuando la coincidencia es total en todas las direcciones de los planos de la matriz del solvente, con los planos de las partículas precipitadas de soluto.
- ***Semicoherentes***. La coincidencia de planos es parcial.
- ***Incoherentes***. No hay coincidencia de planos.

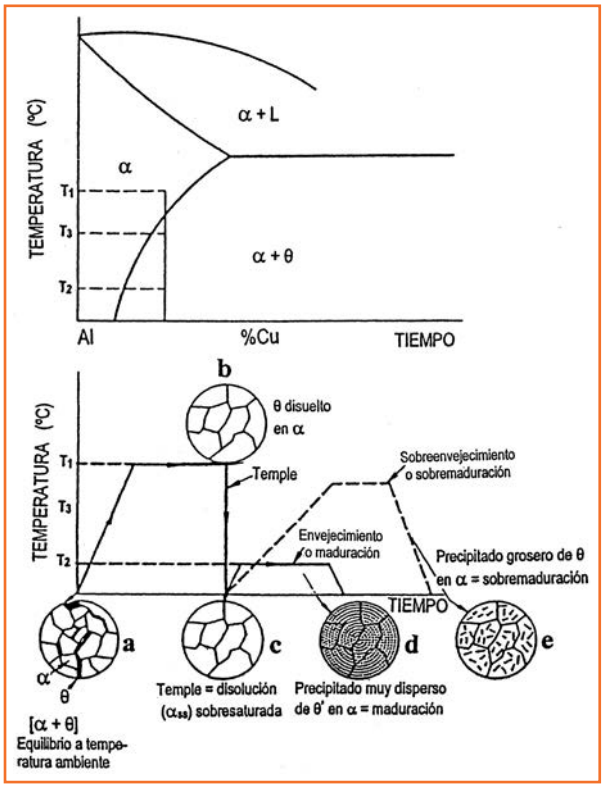


Figura 2.4. Representación esquemática de un ciclo completo del tratamiento térmico de bonificado de las aleaciones de aluminio: solubilización, temple, maduración y sobremaduración.

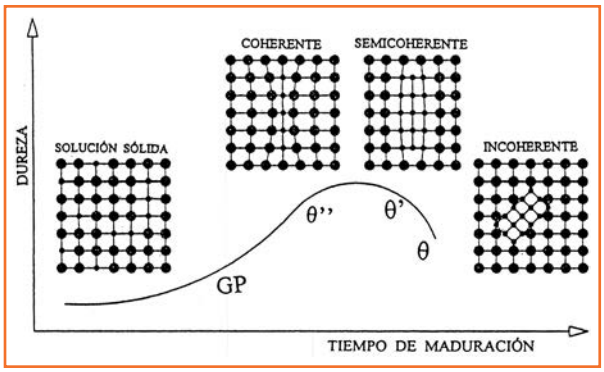


Figura 2.5. Endurecimiento por precipitación. Ordenación de los precipitados durante el tratamiento térmico de maduración: coherente, semicoherente, incoherente.

Una teoría adecuada del endurecimiento estructural por precipitación de ciertas aleaciones debe explicar fe-

nómenos tales como: (1) el efecto de la deformación durante el curso del endurecimiento; (2) el hecho de que no todos los sistemas en los que se produce precipitación son endurecibles; y (3) la naturaleza de la sobremaduración.

La teoría de **coherencia reticular*** es en la actualidad, sin lugar a dudas, la más convincente y la representación más generalizada del endurecimiento estructural por precipitación. De acuerdo con dicha teoría, la primera etapa del proceso de precipitación –*maduración*– es la concentración de átomos de ***soluto***, en pequeños racimos o aglomeraciones en distintas regiones de ***la matriz*** o ***red del solvente***, como resultado de las fluctuaciones estadísticas de concentración en la solución sólida alfa (α). Estas regiones, enriquecidas de ***soluto***, son el primer paso para la nucleación de una nueva fase: $CuAl_2$.

La forma de las partículas de ***soluto*** [**$CuAl_2$**] en esta primera etapa del endurecimiento por precipitación no es usualmente esférica, sino que son pequeñas láminas en forma de disco: bastoncillos. Cuando sus dimensiones son pequeñas producen efectos especiales, puestos de manifiesto mediante difracción de rayos X: son las llamadas zonas de Guinier-Preston: **zonas GP****

En la primera etapa del proceso de maduración del metal no se forma directamente la fase de equilibrio, sino una estructura cristalina intermedia que tiene relación con dicha fase. Esta estructura crece en íntimo contacto con la solución sólida alfa (α).

Debido a la diferencia de parámetros reticulares entre las partículas precipitadas y la matriz o red del solvente; la **coherencia** introduce un campo de deformación elástica alrededor de las partículas. Deformación que se mantiene mientras haya tendencia a la continuidad atómica entre los dos componentes estructurales; –*partículas precipitadas y matriz del solvente*– interfiriendo activamente en el movimiento de las dislocaciones; –**figura 2.6**– fenómeno que produce un rápido incremento de la dureza y de la resistencia del metal durante el proceso de maduración.

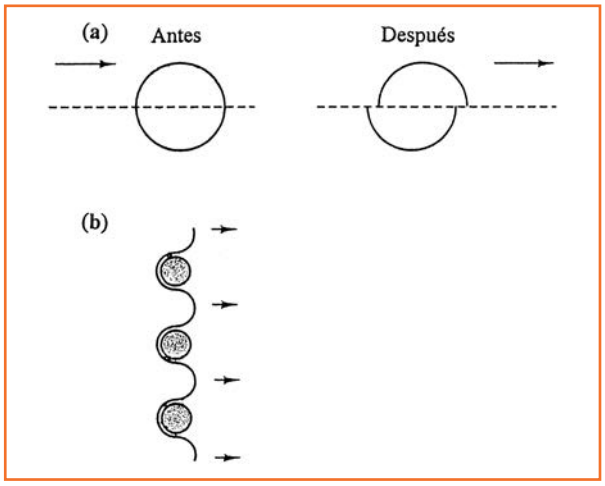


Figura 2.6. Partículas de precipitado que dificultan muy mucho el movimiento de las dislocaciones: (**a**) las corta; y (**b**) las arquea alrededor de sí.

En la segunda etapa del proceso de precipitación, los átomos de ***soluto*** se difunden a través de la ***matriz del solvente*** hacia las regiones más enriquecidas de la misma, y algunos de ellos se convierten en núcleos de una nueva fase. Eventualmente el equilibrio de la fase en exceso, –***soluto***– formada con la misma estructura reticular del solvente, da lugar a una pérdida de coherencia con la matriz; y con ello, también, a una menor distorsión. La dureza y la resistencia disminuirán, y la aleación estará sobremadurada; ver **figura 2.4 e**.

En el diagrama de la **figura 2.7**, están esquematizadas

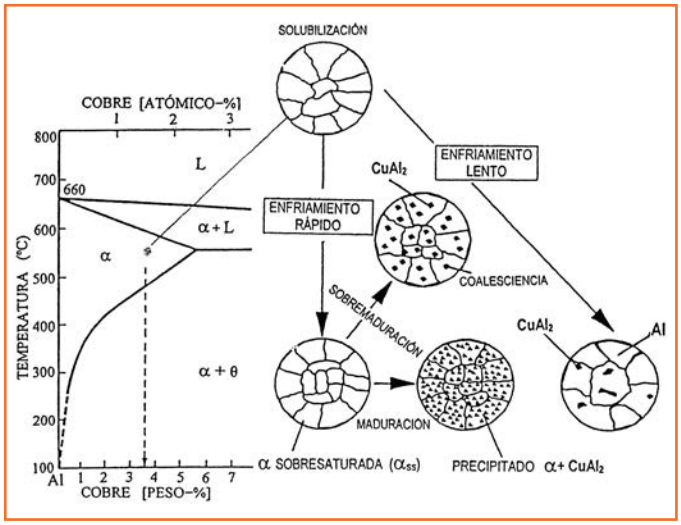


Figura 2.7. Diagrama parcial de equilibrio aluminio-cobre [**Al-Cu**] donde están esquematizadas todas las posibles microestructuras de cada una de las fases que completan el tratamiento de temple y precipitación de las aleaciones aluminio-cobre.

*** Coherencia reticular**. Durante la maduración, los átomos del soluto precipitan en un cierto orden, formando con los átomos del solvente las zonas llamadas **zonas de Guinier-Preston [zonas GP]**. Son diminutas zonas de precipitación de partículas de soluto que tienen una continuidad y total coincidencia –***coherencia***– con los átomos de la matriz del solvente.

**** Zonas GP**. Zonas de precipitación que portan las iniciales de ***Guinier*** y ***Preston***, científicos que las identificaron mediante análisis de difracción de rayos X.

todas las microestructuras correspondientes del ciclo completo de bonificado.

2.1.2. *Secuencias de precipitación durante las fases de maduración de las aleaciones de aluminio*

En el curso del endurecimiento estructural por precipitación de las aleaciones de aluminio, *–caso de la aleación* **96%Al-4%Cu**– la descomposición de la solución alfa (α) se realiza mediante la aparición de precipitados sucesivos con la temperatura de maduración. En un inicio la estructura obtenida se asemeja a la solución sólida alfa (α) ; para luego ir diferenciándose de ella en cada de las nuevas zonas de precipitado, y evolucionando hacia la estructura final de la fase θ [**$CuAl_2$**]. Etapas de precipitación que se ilustran en la **figura 2.7**, y que se resumen en la secuencia de precipitación siguiente:

$$\alpha_{ss} \rightarrow \alpha + \text{zona } \mathbf{GP1} \rightarrow \alpha + \theta'' \text{ [zona } \mathbf{GP2}\text{]} \rightarrow \alpha + \theta' \rightarrow \alpha + \theta$$

En la práctica, la serie completa de fases no se forma a una sola temperatura de maduración: (1) las zonas **GP1** y **GP2** [fase θ''] aparecen a las temperaturas más bajas; (2) las fases θ' y θ se presentan a mayor tiempo y a más alta temperatura; **figura 2.8**.

Las zonas **GP1**, según lo comentado, se presentan a las más bajas temperaturas y están constituidas por átomos de cobre aislados en la solución sólida alfa (α). Las zonas **GP1** son formaciones laminares delgadas de átomos de cobre que se agrupan en forma de diminutos discos, no visibles al microscopio óptico, de varias capas de átomos de espesor –25 *aproximadamente*– y diámetro de mayor dimensión. Dichas zonas son coherentes con la red de la matriz del solvente, ya que los átomos de cobre reemplazan en ella a los átomos de aluminio; el contenido de cobre es elevado, pero todavía no corresponde a la fórmula **$CuAl_2$**.

No obstante, las zonas **GP1**, aunque coherentes con la red del soluto, sus dimensiones son muy pequeñas para que proporcionen un endurecimiento máximo. Las zonas **GP2** (θ''), a temperaturas de 100 °C, y aún a temperatura moderadamente más alta, reemplazan a las desaparecidas zonas **GP1**. Las dimensiones de la fase **GP2**, son de rango mayor a las de las zonas **GP1**, y aumentan a medida que la maduración progresa.

Las zonas **GP2** tienen una coherencia muy fuerte con la

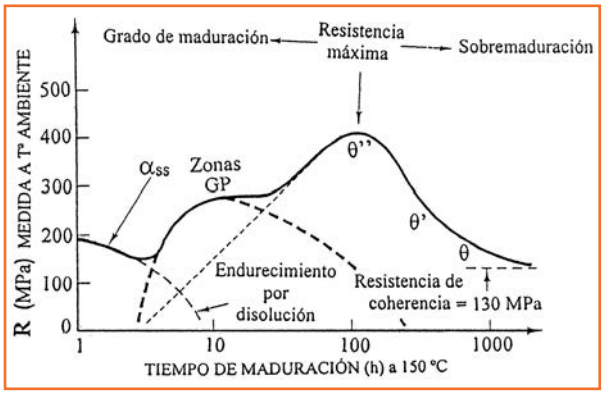


Figura 2.8. Resistencia mecánica, según el tiempo de maduración en horas, que se obtiene a una temperatura de de 150 °C.

red del solvente, ocasionando asimismo importantes distorsiones de la de dicha red *–solución sólida alfa* (α)– en las proximidades de los precipitados. El endurecimiento estructural que proporciona la aparición de la zona de precipitación **GP2** es debido a las dificultades que tienen las dislocaciones producidas en atravesar dicha zona, fuertemente perturbadas; ver **figura 2.6**.

Al elevar la temperatura de maduración por encima de 200 °C, o se prolonga el tiempo de permanencia, aparece por precipitación la fase **θ'**. Fase que coexiste con la zona GP2 (θ'') en un determinado intervalo de temperaturas. La coherencia entre fases es solamente parcial no oponiéndose, prácticamente, al progreso de las dislocaciones del material. Por lo tanto, la aparición de la fase θ' puede ser generadora de ablandamiento; especialmente al disminuir la presencia de la fase θ'' y aumentar la de aquella. Cuando se incrementa la temperatura de maduración por encima de 300 °C, y al mismo tiempo se incrementa el tiempo de maduración, aparece entonces la fase de equilibrio θ (**$CuAl_2$**), que es ya un ***precipitado incoherente**** y de dimensiones mayores: del orden de algunas centésimas de milímetro. La coalescencia de la fase **θ**, así como su engrosamiento, es causa de un ablandamiento general del material en cuestión.

Recordamos que durante la maduración del metal, a una determinada temperatura y un tiempo de mantenimiento, se pueden producir los tipos de precipitados de forma secuencial. Existen, asimismo, un tiempo y una temperatura óptimos de maduración, para obtener en el material tratado la máxima dureza y resistencia. Con tiempos largos y temperaturas relativamente elevadas

* **Precipitado incoherente**. Es aquél cuyas partículas tienen una estructura cristalina diferente de la matriz o red del solvente.

se produce la ***sobremaduración***, con la consiguiente pérdida de dureza y resistencia mecánica.

Cada una de las tres etapas perfectamente definidas del tratamiento térmico de **bonificado** –*solubilización + temple + maduración*–, exige una mecánica de ejecución –ver **figura 2.2**– que describimos a continuación:

2.1.3. *Solubilización*

Con el tratamiento térmico de **solubilización** se consigue alcanzar la máxima concentración práctica y homogénea de constituyentes estructurales endurecedores en la solución sólida alfa (α). Para ello se requiere un calentamiento del material a temperatura próxima a la temperatura eutéctica, manteniéndolo el tiempo necesario para obtener la solución deseada. Un enfriamiento rápido posterior del material –*temple*– retendrá en solución alfa (α) los constituyentes endurecedores.

Hay dos parámetros, como sabemos, particularmente importantes para que la solubilización tenga lugar de una manera correcta y deseada: (1) ***temperatura***; y (2) ***tiempo***. Las temperaturas de solubilización nominales –[Tª = (480 ÷ 540 °C)]–; presentan un intervalo máximo y mínimo de temperatura, muy preciso, que debe siempre respetarse. Intervalo que suele ser de ± 5 °C.

En el caso de piezas forjadas, en algunas de estas aleaciones, es conveniente mantener intervalos de temperatura algo menores; ya que suelen ser particularmente críticos para ciertas aleaciones, en las que la temperatura de comienzo de fusión de la eutéctica es solamente unos pocos grados (°C) más elevada que la temperatura máxima recomendada para la solubilización.

En la **figura 2.9** se representa, de un modo general, la influencia de la temperatura de solubilización sobre la carga de rotura (**R**), límite elástico (**LE**), y el alargamiento (**A**) de una aleación bonificable. En dicha figura se indica también, la zona de temperaturas de inicio de quemado.

Como se puede comprobar, las características mecánicas pasan por un máximo y descienden rápidamente para temperaturas de solubilización superiores o inferiores. De ello se deduce la existencia de una temperatura óptima de solubilización. Para una temperatura inferior a la óptima, las características mecánicas son insuficientes; por el contrario, si la temperatura es demasiado elevada la caída de características mecánicas se explica por el fenómeno de **quemado**.

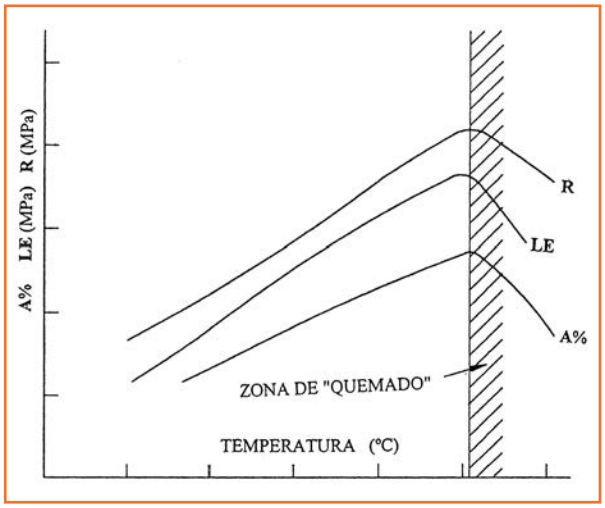


Figura 2.9. Representación esquemática de la influencia de la temperatura de solubilización sobre las características mecánicas.

En la **figura 2.10** se indica la influencia de la temperatura de solubilización sobre las características mecánicas de la aleación EN AW-Al Cu2Mg1,5Ni –*equivalente a la denominación* **L-3171** *de las antiguas normas* UNE–. La observación de esta figura, muestra por sí la existencia de una temperatura óptima de solubilización que se sitúa sobre los 5.205 °C.

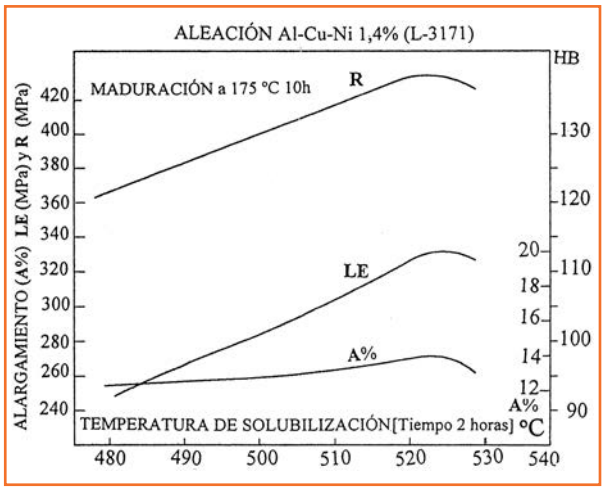


Figura 2.10. Influencia de la temperatura de solubilización sobre las características mecánicas. [Según INTA].

Los tiempos de solubilización no pueden darse con la misma precisión que las temperaturas correspondientes, dado que los tiempos están afectados por diversos factores tales como: (1) la composición química, ya que algunas aleaciones presentan constituyentes endurecedores de más difícil solubilización que otras; y (2) la deforma-

ción plástica, que ha de soportar el material durante su puesta en forma.

Las piezas moldeadas presentan en general estructuras heterogéneas y bastas, por lo que se hace lento y difícil alcanzar el equilibrio de concentración por difusión. La difusión será tanto más rápida cuando los granos del material sean más pequeños. Como consecuencia de esta circunstancia, las piezas coladas en arena requieren tiempos más largos de solubilización que las piezas coladas en coquilla de grano mucho más fino.

En los productos forjados, el trabajo conformado del material y los calentamientos sufridos en el curso de su elaboración, produce la fragmentación de los granos que facilita la migración de los átomos del soluto; eliminando segregaciones a la vez que se homogeneíza la estructura del material o aleación. Debido a ello los productos forjados no necesitan un calentamiento tan prolongado en el proceso de solubilización.

Al aumentar la temperatura de solubilización aumentará notablemente la solubilidad de los constituyentes activos de la aleación. Si observamos la **figura 2.11** que representa los valores de las características mecánicas obtenidas, para tiempos de solubilización crecientes a temperaturas también crecientes. El conjunto de curvas permite deducir que, para el ejemplo supuesto: *la constancia de las características mecánicas se alcanza para un tiempo aproximado de* **60 minutos***, independientemente, de la temperatura de solubilización*. Es decir, el tiempo de saturación está cercano a **una hora** para todas las temperaturas comprendidas entre 375 y 505 °C; pero bien entendido, que el límite de solubilidad crece con la temperatura.

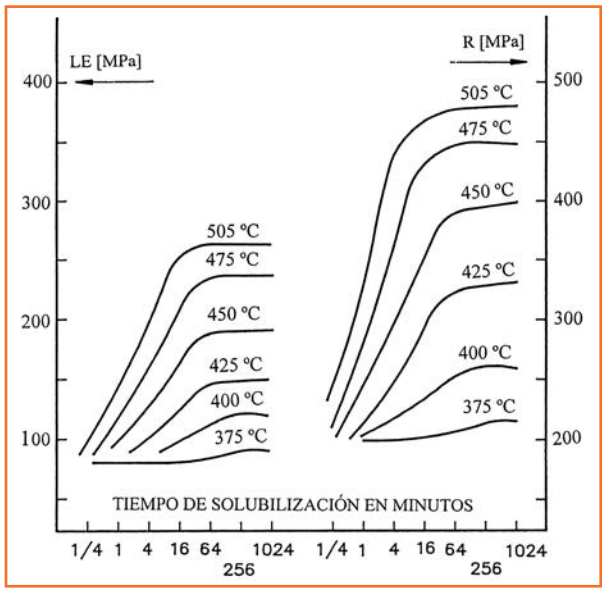


Figura 2.11. Influencia del tiempo de solubilización, a diversas temperaturas, sobre las características mecánicas de las aleaciones de aluminio. [Según Bresson y Renouard].

Los tiempos de solubilización para piezas forjadas son, en general, más prolongados que en productos laminados o extruidos, ya que es necesario asegurar la completa solución y homogeneización en las zonas que hayan recibido poca reducción de forja. No existe unanimidad sobre los tiempos que deben emplearse en este caso, mientras algunas especificaciones recomiendan añadir una hora a los tiempos utilizados en productos laminados y extruidos, otros productos forjados requieren la adición de **una hora** por cada **25** mm de espesor –**1** hora x **25** mm–. A título orientativo se puede indicar que tiempos mínimos de **cuatro horas** son apropiados para piezas forjadas de tipo medio.

Las aleaciones de aluminio para moldeo necesitarán tiempos de solubilización mucho más largos que los recomendados para las aleaciones de forja, debido al hecho de que sus constituyentes microestructurales son más bastos; y necesitan, por lo tanto, tiempos más prolongados a la temperatura correspondiente para conseguir el grado necesario de solubilización homogénea.

2.1.4. *Temple*

Una vez solubilizado el material, a temperatura correcta, debe ser enfriado enérgicamente para que la solución sólida quede sobresaturada a la temperatura ambiente. Esta operación denominada **temple** reviste gran importancia, ya que debe proporcionar las condiciones óptimas en el posterior tratamiento térmico de maduración. Para que después del tratamiento de maduración las características mecánicas del material sean máximas, es preciso que la concentración de solución sólida a temperatura ambiente sea en la práctica, inmediatamente después del temple, la misma que a la temperatura de solubilización. Ello se consigue mediante un enfriamiento rápido de las piezas por inmersión en un medio apropiado que nos proporcione la velocidad crítica de temple necesaria. La velocidad crítica de temple puede definirse como: ***la mínima velocidad de enfriamiento que es capaz de retener los átomos de soluto en solución***.

En la **figura 2.12** se ha representado la influencia de la velocidad de enfriamiento, obtenida por distintos medios, sobre las características mecánicas de una aleación, con posterior maduración artificial. De la observa-

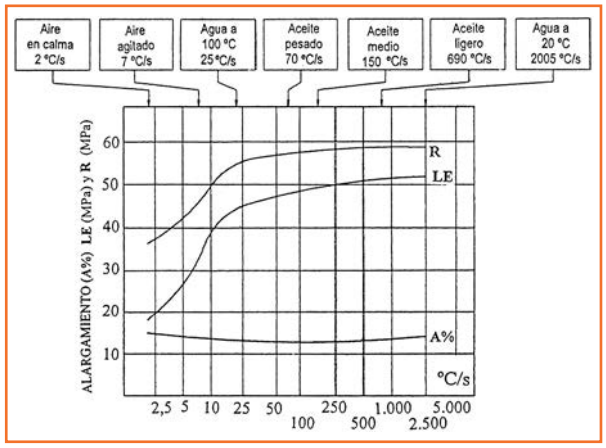


Figura 2.12. Influencia de la velocidad de enfriamiento de temple sobre las características mecánicas de las aleaciones 7075. Tomando como referencia una velocidad media comprendida entre 400 °C y 290 °C. [Según Fink y Willey].

ción de la **figura 2.12**, se deduce que las características mecánicas de la aleación son afectadas de forma sensible cuando la velocidad media de enfriamiento es inferior a 150 °C/s; y, en tanto mayor grado, cuanto menor sea la eficacia del medio de enfriamiento. No obstante, se ha de tener en cuenta que la velocidad crítica de temple varía de unas aleaciones a otras.

La velocidad de enfriamiento, al mismo tiempo que afecta a las características mecánicas del material, tiene una influencia significativa sobre la resistencia a la corrosión de la mayoría de las aleaciones de aluminio. Las consecuencias prácticas del temple dependerán, en un grado muy elevado, del medio de enfriamiento. El medio de temple que se emplea más generalmente es el agua fría –*con menos profusión el agua caliente o hirviendo*–, por inmersión o por aspersión de las piezas de una manera regular y enérgica.

El agua es el medio de enfriamiento más enérgico y económico que puede utilizarse en la industria. Naturalmente, hay que tomar todas las medidas convenientes para evitar la formación de una capa de vapor sobre el material; o de bolsas de vapor sobre la carga de piezas a templar, ya que este vapor reduciría la velocidad de temple. Si se desea aumentar la velocidad de enfriamiento deben agitarse el material a templar, o bien el medio de refrigerante.

Algunas especificaciones para el temple de determinadas productos limitan la temperatura del agua a un máximo de **40 °C**, después de la inmersión de la carga. En tales casos deben tomarse precauciones para que la temperatura del baño de temple no sobrepase la indicada: (1) manteniendo un gran volumen de líquido en relación con las piezas a tratar; (2) renovando el líquido, y/o aumentando la velocidad de refrigeración del mismo.

El temple en medios menos enérgicos tiene la ventaja de reducir los peligros de distorsión, grietas, y tensiones residuales en el material que se templa. Por ello, en aquellas aleaciones que por su naturaleza no requieren un enfriamiento tan rápido y, también, en el caso de piezas y componentes de secciones gruesas, de forma irregular y espesores diferentes –*piezas forjadas y piezas moldeadas*–; es corriente utilizar como medio de temple el agua caliente, el aceite, e incluso corrientes de aire forzado. En la práctica las condiciones de enfriamiento adoptadas deben constituir una solución de compromiso que minimice los peligros de distorsión y de una eventual corrosión.

Como consecuencia de lo anteriormente indicado, se recomienda en general emplear las siguientes temperaturas en los baños de temple:

- ***Productos laminados o extruidos***. Agua a temperatura no superior a **40 °C**.
- **Piezas forjadas o productos de grandes dimensiones**. Agua a temperatura entre **65** y **100 °C**.
- ***Piezas moldeadas***. Agua a temperatura entre **65** y **100 °C**.

Cuando el aspecto final del producto o componente sea un factor importante a considerar, debe controlarse cuidadosamente, la calidad del agua de temple; puesto que aguas duras y/o contaminadas pueden dejar depósitos de materia residual o manchas sobre la superficie, que afectan a la corrosión.

En el caso de emplear como medio de temple el agua caliente o hirviendo, ha de tomarse la elemental precaución de que las piezas no permanezcan sumergidas en dicho medio más tiempo del necesario; ya que, en caso contrario, se iniciará rápidamente la maduración o envejecimiento correspondiente. Se aconsejan los siguientes tiempos máximos de permanencia de los productos en el baño de temple: 5 minutos para temperaturas del agua comprendidas entre 30 y 50 °C; y 1 minuto para temperaturas del agua de 100 °C.

2.1.5. *Maduración*

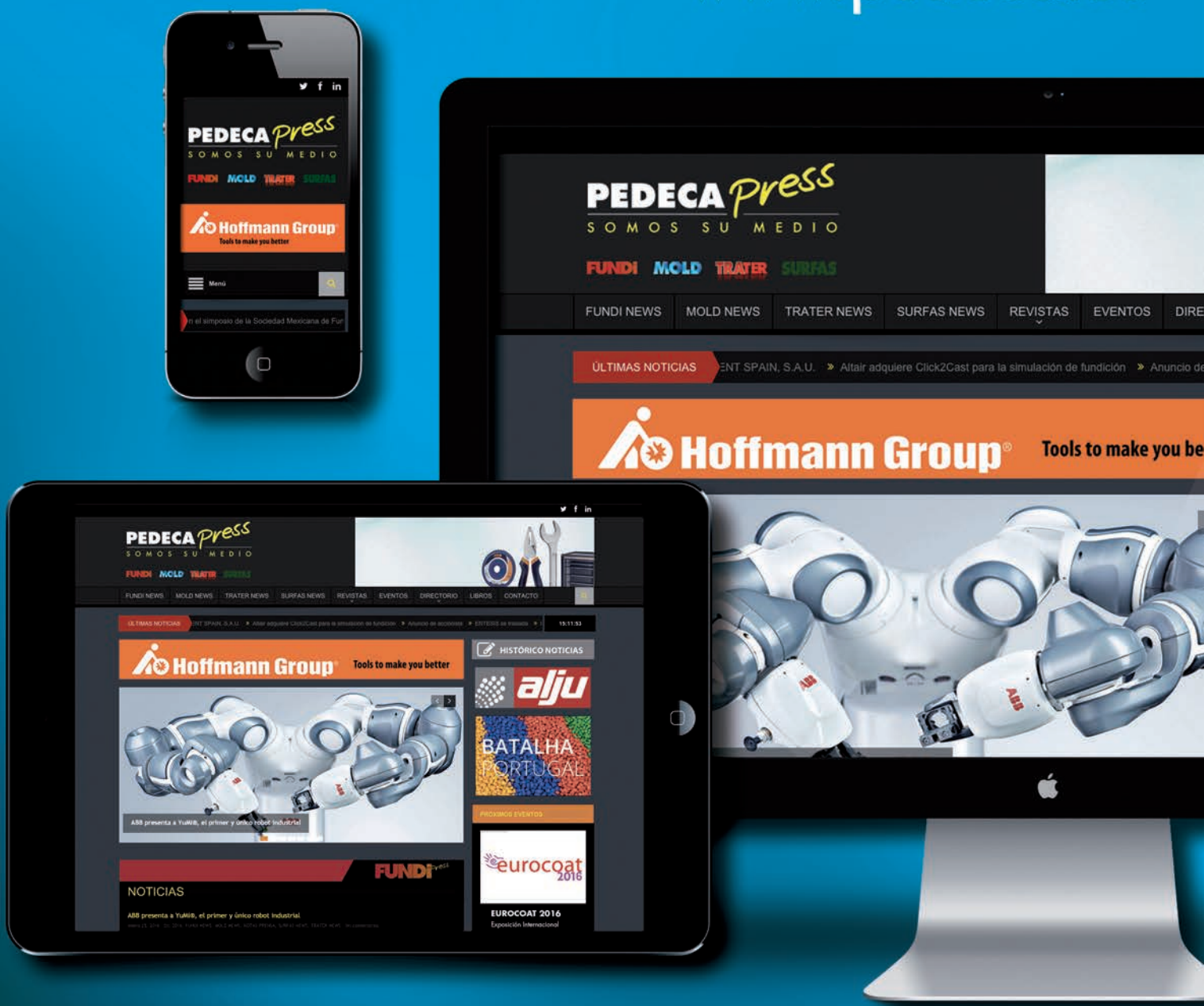
La dureza máxima de las aleaciones de aluminio se obtiene mediante el tratamiento térmico de precipitación,

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

PEDECA Press Publicaciones

SOMOS SU MEDIO

C/ Goya, 20. 1°. • 28001 MADRID

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

pedeca@pedeca.es • www.pedeca.es

en el que la solución sobresaturada alfa (α_{ss}) sufre cambios que conducen a un eventual endurecimiento estructural por precipitación. En algunos casos la precipitación puede producirse en un tiempo razonable a la temperatura ambiente y, entonces, decimos que es una ***maduración natural***. Corrientemente, es necesario realizar un aporte voluntario de temperatura, generalmente entre 100 y 250 °C; a este tratamiento térmico se le denomina ***maduración artificial***.

La elección de una forma determinada de maduración se realiza al considerar diversos factores entre los cuales figuran, con carácter predominante: (1) menor tiempo necesario de los procesos de maduración artificial; (2) con maduración artificial se obtienen características mecánicas más elevadas: excepto el alargamiento; (3) la maduración natural presenta sobre el artificial la ventaja, en algunas aleaciones, de ofrecer mayor resistencia a la corrosión. La maduración natural presenta la particularidad de no estar nunca finalizada de una forma definitiva. Para efectos prácticos de aplicación industrial del material, se considera que la estabilidad de características se logra al cabo de cierto tiempo: **cinco días**.

En la maduración natural los períodos de **incubación**, *–mantenimiento del metal solubilizado y templado por debajo de cero grados* (**–8 ÷ –10 °C**)– y la velocidad de maduración, dependen de la temperatura ambiente y de la composición química de la aleación correspondiente. Mediante la incubación se retarda y, además, se evita el inicio de maduración natural.

Las principales aleaciones para forja se les agrupan bajo un proceso similar de maduración natural, es decir, manteniendo el material a la temperatura ambiente durante un período de 5 días. Tiempo que, como ya hemos antes indicado, industrialmente se considera suficiente para alcanzar la estabilidad de las características mecánicas y dimensionales.

Durante el primer período en que se inicia la maduración, *–en los primeros momentos que siguen al temple–* las características mecánicas de aleación adquieren valores relativamente pequeños, y la ductilidad se aproxima a la que se obtiene en el recocido. En estas condiciones el material puede trabajarse en frío con cierta facilidad y corregir, por tanto, las posibles distorsiones que hayan podido sufrir las piezas en el tratamiento de solubilización + temple.

Para mantener un alto grado de plasticidad del material en el estado de temple, la **incubación** es práctica muy generalizada; y ello se consigue introduciendo las piezas y demás componentes mecánicos, en medios apropiados, a muy bajas temperaturas [**–8 ÷ –10 °C**]: frigorífico, nieve carbónica, etc.

Los remaches utilizados en estructuras y fuselaje de aviones, por ejemplo, se mantienen en condiciones de mayor plasticidad durante largos periodos de tiempo a temperaturas por debajo de cero grados centígrados [**–8 ÷ –10 °C**], normalmente en cámaras frigoríficas; y luego son extraídos de las mismas en el momento en que hayan de ser remachados. Técnica muy habitual en el sector aeronáutico, donde se usan muchos miles de remaches fabricados de la aleación EN AW-AlCu4Mg1, equivalente a la denominación **L-3140** [**DURALUMINIO**] de las antiguas normas UNE.

En el caso de maduración artificial, su efectividad depende de la composición química de la aleación, junto con la temperatura y el tiempo de maduración; **figura 2.13**. Se obtienen mejores características mecánicas con maduraciones prolongadas y a temperaturas relativamente bajas, más que utilizando temperaturas relativamente elevadas y menos tiempo de tratamiento térmico.

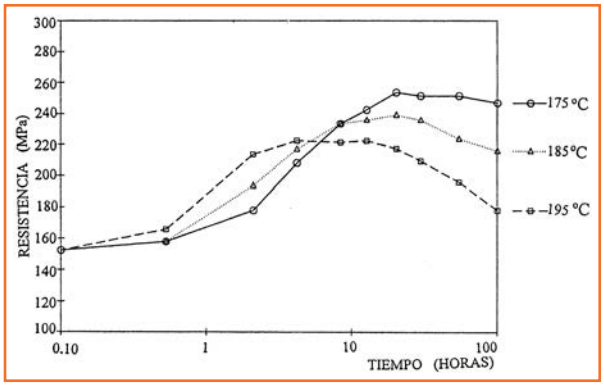


Figura 2.13. Resistencia mecánica, según el tiempo de maduración en horas y de la temperatura de maduración. Aleación EN AW-AlCu4Mg1.

Si bien, en el caso general de maduración artificial, se aplica a productos o piezas que primero han sido sometidos a un tratamiento térmico de solubilización + temple. Existen aleaciones que pueden ser maduradas *–maduración artificial–* sin tener que realizar, previamente, las etapas de solubilización + temple. Ejemplo de ello lo tenemos, y casi de un modo exclusivo, en los perfiles obtenidos por extrusión en caliente. Una vez terminado el proceso de extrusión y el enfriamiento de los perfiles

al aire ambiente; en el material quedan entonces retenidos suficientes elementos activos disueltos en su masa matricial, que pueden provocar un endurecimiento estructural, con sólo realizar la fase de maduración. El ciclo completo consiste, pues, en: (1) extrusión del material + enfriamiento al aire del producto extruido; (2) maduración artificial.

En ciertas aleaciones de moldeo es frecuente, también, utilizar el tratamiento de maduración artificial, sin efectuar las fases solubilización y temple previo; sobre todo, en aquellas piezas moldeadas obtenidas en coquilla. De esta forma se consigue, y mediante un tratamiento térmico sencillo, –***maduración***– mejorar sustancialmente la resistencia mecánica respecto al estado natural bruto de colada; el ejemplo lo tenemos en los émbolos en los motores de vehículos.

Las condiciones en que se efectúa la maduración artificial son, en general, aquéllas que conducen a unas características mecánicas máximas. No obstante, en el caso de piezas destinadas a prestar servicio a elevada temperatura es conveniente sacrificar en parte estas propiedades, a cambio de conseguir una estabilidad estructural que disminuya al máximo las variaciones dimensionales durante el trabajo de las mismas. Esta es la causa de que, algunas veces en determinadas piezas, se les efectúe la maduración a temperaturas superiores a las que normalmente proporcionan las características mecánicas máximas; es decir, cuando se aplican un tratamiento térmico de ***sobremaduración***.

El ejemplo lo tenemos en ciertas aleaciones, sobre todo en aleaciones de moldeo. Una de ellas es la aleación EN AC-AlCu4MgTi –*equivalente a la denominación* **L-2140** *de las antiguas normas* **UNE**–. El calentamiento que se le aplica es a un nivel de temperaturas comprendido entre 330 y 350 °C, y tiempos de mantenimiento entre 1 y 3 horas. La velocidad de enfriamiento, después del tratamiento térmico de maduración artificial, parece ser que no influye sobre las características finales de la aleación.

2.1.6. *Recocidos*

Con el nombre genérico de recocido, se designan una serie de tratamientos térmicos cuya finalidad puede ser muy distinta: (1) eliminar las tensiones internas del material; (2) destruir total o parcialmente un estado de acritud del metal; (3) homogeneizar la aleación y conseguir una estructura estable; y (4) destruir los efectos del bonificado en la aleación, etc.

2.1.6.1. *Recocido de las aleaciones para forja*

El objetivo principal del tratamiento térmico de recocido en las aleaciones de forja, es la de devolver la máxima maleabilidad al material; bien por encontrarse con mayor o menor grado de acritud por un trabajo de deformación plástica –*en frío o en caliente*–, bien por presentar un estado de bonificado defectuoso. Los principales recocidos de forja son: (1) recocido de restauración y recristalización; y (2) recocido de coalescencia.

2.1.6.2. *Recocidos de restauración y recristalización*

Este tipo de tratamiento se realiza sobre un metal o aleación con acritud, con el principal objeto de restituir total o parcialmente sus posibilidades de conformación plástica.

Empezaremos por recordar que acritud es el aumento de resistencia a la deformación producida como consecuencia de todo trabajo de conformación plástica en frío, y que se manifiesta por un aumento de la carga de rotura, del límite elástico y de la dureza; por contra hay una disminución del alargamiento y de la plasticidad. Variaciones que son debidas a transformaciones en las agrupaciones cristalinas del metal o aleación, bajo la acción de la fuerza mecánica exterior que produce todo proceso de conformación plástica en frío. Los cristales se deforman por cizalladura a lo largo de los planos de deslizamiento, llegando incluso a fragmentarse en tanto mayor grado, cuanto más elevada es la deformación y obteniéndose, como consecuencia, una textura alargada en el sentido de la deformación. Esta condición sin embargo, no es verdaderamente estable y tiende a neutralizarse. Si persiste, es debido tan sólo a la escasa difusión atómica que poseen la mayoría de los metales a la temperatura ambiente.

Cuando se calienta un metal en estado de elevada acritud, se obtiene después del enfriamiento un nuevo estado estructural que depende: (1) del grado de acritud del material; (2) de la temperatura de recocido alcanzada; y (3) del tiempo a dicha temperatura. Al efectuar los recocidos a temperaturas crecientes, para una acritud determinada y un tiempo fijo, se presentan diversas etapas esquematizadas en la **figura 2.14**:

- Esta primera etapa se conoce con el nombre de **restauración** y para las aleaciones de aluminio, estas variaciones son ya apreciables por encima de 100 °C. Disminuye ligeramente la resistencia a la tracción, el límite

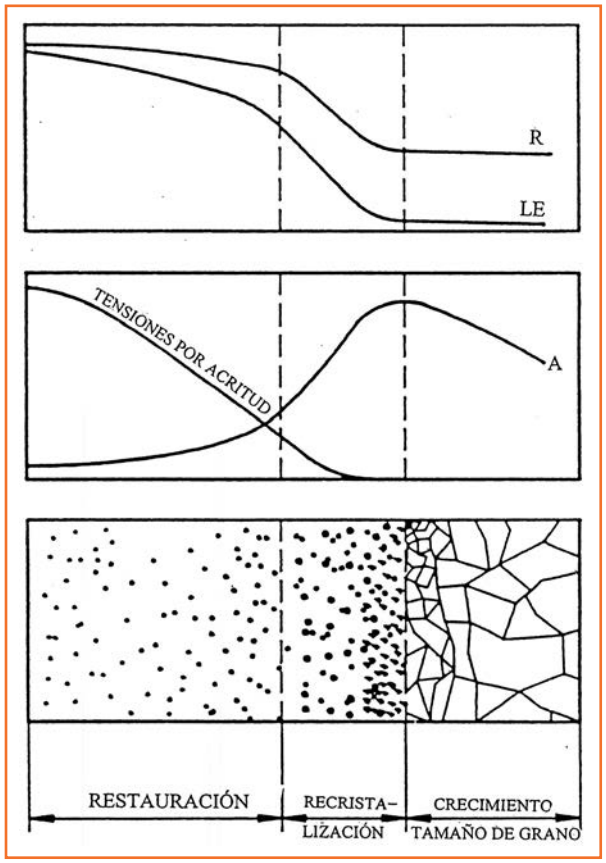


Figura 2.14. Representación esquemática del proceso de recocido en un material con acritud.

elástico y la dureza, y simultáneamente se amortiguan las tensiones internas, aumentando el alargamiento.

- A partir de cierta temperatura la variación de propiedades se hace más acusada y disminuye sensiblemente la relación ***límite elástico/carga de rotura***; y se observa la aparición de nuevos granos cristalinos, adentrándose en la etapa clásica de **recristalización**, que puede ser parcial o total.

- A temperaturas superiores a la recristalización total se produce un lento crecimiento de los granos cristalinos a expensas de sus vecinos; lo que conduce a una disminución de las propiedades mecánicas y en determinadas condiciones, puede producirse una recristalización secundaria caracterizada por la formación de grandes granos, denominados granos gigantes.

2.1.6.3. *Recocido de coalescencia*

Cuando a una aleación que haya sido bonificada y sea necesario devolverle la máxima condición de plasticidad, se practica un proceso de recocido denominado de **coalescencia**. Este tratamiento conduce a la unión o coalescencia de las fases ricas en elementos endurecedores, reduciendo al mínimo la eventualidad de un endurecimiento posterior.

La temperatura para este tipo de recocido varía entre 370 y 430 °C, según el tipo de aleación. El enfriamiento debe realizarse muy lentamente, sobre los 10 a 25 °C/hora, hasta una temperatura aproximada de 250 °C. En este momento se puede enfriar más rápido –*aprox*. 50 °C/hora– hasta la temperatura próxima a los 150 °C; temperatura ésta a la cual se puede extraer el material del horno y dejarlo enfriar al aire ambiente.

2.1.6.4. *Recocido de las aleaciones de moldeo*

El recocido de las piezas moldeadas no modifica, sustancialmente, las características mecánicas correspondientes al estado bruto de colada. En cambio, elimina las tensiones residuales producidas durante la solidificación de las piezas y además, estabiliza su estructura y sus dimensiones. Estas circunstancias tienen especial importancia en el caso de piezas destinadas a prestar servicio a temperaturas elevadas.

El recocido de las piezas moldeadas proporciona a éstas una estructura y dimensiones estables, por lo cual se le suele llamar ***recocido de estabilización***.

Estabilizado se le denomina también, al proceso ya comentado en el apartado de maduración o envejecimiento. Hay aleaciones que durante el enfriamiento relativamente rápido que sufren las piezas en el moldeo, mantienen en solución sólida suficiente cantidad de constituyentes activos, para que posteriormente y una vez extraídas del molde –*coquilla*–, ofrezcan una enérgica respuesta al tratamiento de maduración o envejecimiento artificial; sin que sea necesario un tratamiento de solubilización y temple previo.

Otro caso de estabilizado, antes ya citado, es el de piezas destinadas a prestar servicio a temperaturas elevadas. Piezas que normal y frecuentemente están sometidas a un tratamiento de sobremaduración, a temperaturas que oscilan entre 330 y 350 °C y durante un tiempo de 3 horas. Es decir: es una combinación de tiempo y temperatura que proporciona estabilidad –*estructural y dimensional*– al material, en detrimento evidente de no alcanzar las características mecánicas máximas, correspondientes

al estado de bonificado. Esta forma de tratamiento térmico, que puede emplearse con o sin solubilización y temple previo, según sea el caso. Tratamiento que igualmente se le denomina ***estabilizado***.

En el resumen de este apartado podemos decir: (1) El tratamiento térmico de estabilización de las aleaciones de aluminio, tiene el mérito en común de producir la precipitación de constituyentes activos retenidos en solución sólida; con la consiguiente estabilidad de la estructura y de las dimensiones de la pieza. (2) El estabilizado se caracteriza por conseguir una precipitación de constituyentes activos tal, que las propiedades mecánicas después de dicho tratamiento térmico, se asemejen a las del estado bruto de colada del material en cuestión; independientemente de que la aleación sea o no bonificable. (3) Las distintas formas de estabilización se pueden considerar realmente, como verdaderos tratamientos de sobremaduración, ya que la morfología de las precipitaciones de constituyentes activos, ocasionados durante el estabilizado, no produce un aumento significativo de la resistencia mecánica.

Simulación de las distorsiones de un tratamiento térmico

Por M. Giménez, M. D. Riera y J. M. Prado. Fundació CTM Centre Tecnològic, Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Universidad Politécnica de Cataluña

1. Introducción

Los tratamientos térmicos son procesos industriales utilizados para alterar las propiedades físicas y/o químicas de los materiales a través de ciclos térmicos que implican cambios microestructurales en la pieza. Estos cambios de temperatura vienen implícitos en procesos como la estampación en caliente o la soldadura, por lo que la mayoría de procesos industriales soportan tratamientos térmicos de forma directa o indirecta. El control de estos resulta de vital importancia puesto que son estos cambios microestructurales los que propician la alteración de las propiedades del material. Estas propiedades dependen tanto de la historia térmica como de la composición del propio acero. La simulación de los tratamientos térmicos permite optimizar el diseño de los mismos, ya que se evitan parte de las pruebas y ensayos necesarios para realizarlo de forma experimental.

Para realizar la simulación de un tratamiento térmico se deben tener en cuenta las transformaciones microestructurales que intervienen, así como las distorsiones que éstas conllevan. Por lo tanto, para poder reproducir mediante la simulación estos procesos, se deben conocer los modelos matemáticos que describen estos fenómenos, y también los parámetros propios del material de estudio.

Desde nuestro grupo, se ha estado trabajando en la implementación de los modelos de las transformaciones de fase, así como los que describen las distorsiones que éstas conllevan en el software de simulación por elementos finitos ABAQUS®. Se ha realizado mediante la subrutina UEXPAN. Esta subrutina permite reproducir la evolución microestructural y los coeficientes de expansión térmica en cada punto del material para cada instante de tiempo y temperatura. De esta forma, se evaluarán las distorsiones y las tensiones residuales introducidas en las piezas que han sido tratadas térmicamente.

En trabajos previos al aquí presentado[1], se detectó que al aplicar la Regla de Adición a la etapa de crecimiento, los valores obtenidos para el volumen de fase transformada diferían de los observados experimentalmente. Para las fases ferrita y perlita la diferencia no era importante, pero en el caso de la bainita se observaron diferencias de hasta el 80% entre los valores calculados y los obtenidos experimentalmente. Para solventar estas diferencias, en este trabajo se ha planteado una modificación en el cálculo de los parámetros de la ecuación JMAK y se ha observado que los valores calculados para la bainita se ajustan mejor a los obtenidos experimentalmente, y se presentan en el apartado de validación y resultados.

2. Modelos para las transformaciones de fase

Tal y como se ha presentado anteriormente[1], los modelos utilizados para describir las transformaciones de fase son el de Koistinen y Marburger (Eq.2) para las transformaciones no difusivas, la martensítica, y la ecuación de Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov, JMAK (Eq.1), para las difusivas. La ecuación JMAK se define para describir las transformaciones isotérmicas, y a la hora de aplicarla en un proceso no isotérmico, se hace

uso de la Regla de Adición, tanto para el cálculo del tiempo de incubación en la etapa de incubación, como para calcular la evolución microestructural de las fases ferrítica, perlítica y bainítica, en la etapa de crecimiento.

$$V_i = 1 - e^{-bt^n} \qquad \text{Eq.1}$$

$$V_m = 1 - e^{[-0.011\cdot(M_s - T)]} \qquad \text{Eq.2}$$

El cálculo de los parámetros de la ecuación JMAK se realiza tomando los valores del tiempo al inicio y al final de la transformación isotérmica (la TTT del material) (Fig. 1). En numerosas ocasiones, el final de la transformación bainítica es difícil de determinar de forma experimental y/o la transformación es tan lenta, que el tiempo necesario para observarla no es abarcable experimentalmente. De esta forma, el inicio de la transformación se da a un tiempo determinado, pero para observar el final se ha de esperar un tiempo un orden de magnitud mucho mayor. De esta forma, al aplicar la JMAK a cada incremento de temperatura, la evolución del crecimiento de la fase bainita es muy lenta.

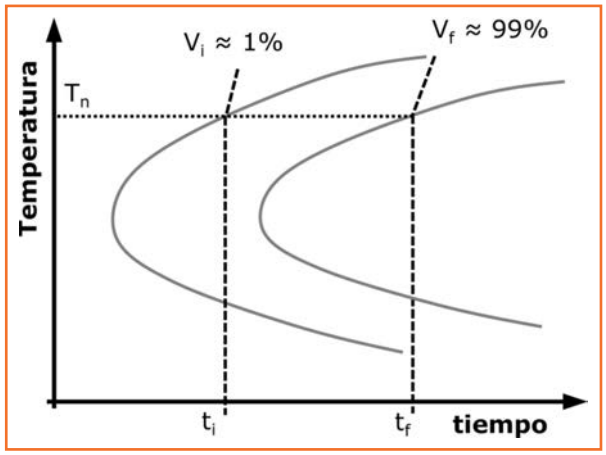


Fig. 1. Esquema de la TTT de un acero. Se indican el tiempo de incubación (t_i) y el tiempo del fin de la transformación (t_f) a una cierta temperatura (T_n).

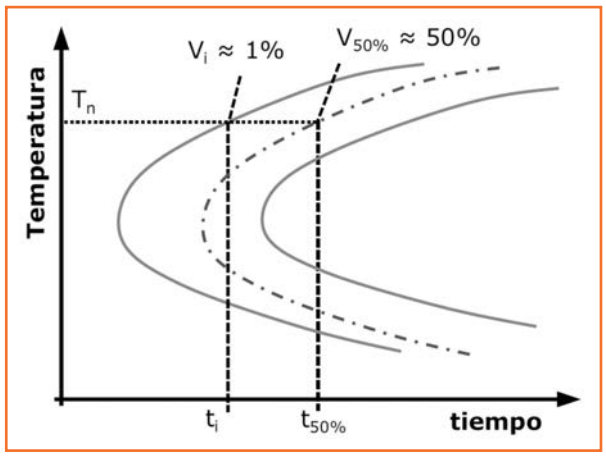


Fig. 2. Tiempo de incubación (t_i) y el tiempo en el que ha transcurrido un 50% de la transformación ($t_{50\%}$) a una cierta temperatura (T_n).

La modificación que se ha aplicado para el cálculo de la fracción transformada de la fase bainita, ha sido tomar el cálculo de la evolución en dos tramos: uno desde el inicio de la transformación hasta el momento en que ha transformado un 50% (Fig. 2), y una vez el volumen transformado ha superado el 50% del total posible, se tomará el tramo desde el mismo 50% hasta el final.

De esta forma, la velocidad de transformación de la fase hasta alcanzar el 50% será mayor y representará mejor los resultados observados experimentalmente.

3. Modelos para las distorsiones introducidas por las transformaciones de fase

A partir de los coeficientes de expansión térmica de cada fase y de la proporción de cada una de ellas se puede asignar a cada punto de la pieza, y en cada instante, un coeficiente de expansión térmica diferente. Con esta información se pueden calcular las distorsiones que se generan a partir de las transformaciones de fase.

Asumiendo que la pieza se deforma de forma isotrópica, la deformación (el cambio en la longitud en función de la longitud inicial), está directamente relacionado con el cambio volumétrico de las redes cristalinas de cada una de las fases. Para variaciones pequeñas:

$$\varepsilon^{th} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{1}{3}\frac{\Delta V}{V_0} \qquad \text{Eq.3}$$

De esta forma, la deformación sufrida, se obtiene a partir de la variación del volumen de la red cristalina en cada temperatura, teniendo en cuenta la fracción de fase transformada para cada una.

Teniendo en cuenta que el volumen de la celda unidad vendrá dado por la multiplicación se sus lados, se puede calcular el volumen en cada instante de tiempo y temperatura, y su variación respecto al volumen inicial, para cada una de las redes cristalinas presentes sabiendo el parámetro de red.

Para obtener el parámetro de red en cada instante de tiempo y por lo tanto de temperatura, se debe tener en cuenta el coeficiente de expansión térmica y el parámetro de red inicial de cada una de ellas[2], [3].

$$a_\gamma = a_{\gamma_0}[1 + \beta_\gamma(1 - A_1)]$$
$$a_\alpha = a_{\alpha_0}[1 + \beta_\alpha(1 - 800)]$$
$$a_{Fe_3C_a} = a_{Fe_3C_{a_0}}[1 + \beta_{Fe_3C}(1 - 293)]$$
$$a_{Fe_3C_b} = a_{Fe_3C_{b_0}}[1 + \beta_{Fe_3C}(1 - 293)]$$
$$a_{Fe_3C_c} = a_{Fe_3C_{c_0}}[1 + \beta_{Fe_3C}(1 - 293)]$$
$$a_{M_a} = a_{M_{a_0}}[1 + \beta_M(1 - 273)]$$
$$a_{M_b} = a_{M_{b_0}}[1 + \beta_M(1 - 273)]$$

Donde β es el coeficiente de expansión térmica de cada una de las redes cristalinas, y se han obtenido de la literatura[2], [3]:

$$\beta_{Austenita} = (24.9 - 0.5 \cdot \%C) \cdot 10^{-6}[K^{-1}]$$
$$\beta_{Ferrita} = 1.75 \cdot 10^{-5}[K^{-1}]$$
$$\beta_{FeC_3} = 5.311 \cdot 10^{-6} + 1.9426 \cdot 10^{-9}T + 9.655 \cdot 10^{-12}T^2[K^{-1}]$$
$$\beta_{Martensita} = (14.9 - 1.9 \cdot \%C) \cdot 10^{-6}[K^{-1}]$$
$$\beta_{Eutéctico} = C_1 \cdot \beta_{Ferrita} + C_2 \cdot \beta_{FeC_3}[K^{-1}]$$

Donde C_1 y C_2 corresponden respectivamente a la fracción de ferrita y de cementita presentes en la mezcla eutéctica. Para el acero utilizado en este trabajo (AFNOR 42C4), $C_1 = 0.94$ y $C_2 = 0.6$.

De esta forma, se obtienen el volumen de la celda unidad para cada una de las fases y por lo tanto se podrá calcular el incremento en el mismo debido a factores térmicos:

$$V_\gamma = a_\gamma{}^3 \text{ (Austenita)}$$
$$V_\alpha = 2 \cdot a_\alpha{}^3 \text{ (Ferrita)}$$
$$V_{Fe_3C} = \frac{1}{3} \cdot (a_{Fe_3C_a} \cdot a_{Fe_3C_b} \cdot a_{Fe_3C_c}) \text{ (Cementita)}$$
$$V_M = 2 \cdot (a_{M_c} \cdot a_{M_a}{}^2) \text{ (Martensita)}$$

Para el cálculo del volumen de la mezcla eutéctica se ha tenido en cuenta también la fracción de ferrita y cementita presentes en la propia mezcla eutéctica.

$$V_P = C_1 \cdot V_{Fe_3C} + C_2 \cdot V_\alpha \qquad \text{Eq.4}$$

Una vez calculado el volumen de cada una de las fases, utilizando la Regla de Mezclas y sabiendo el porcentaje de cada una de las fases, se puede saber el volumen total del material teniendo en cuenta el peso de cada fase (F_1):

$$V = F_A \cdot V_A + F_\alpha \cdot V_\alpha + F_P \cdot V_P + F_B \cdot V_B + F_M \cdot V_M \qquad \text{Eq.5}$$

Para implementar la expansión térmica del material se ha utilizado la subrutina UEXPAN [4] que permite definir el incremento de deformación térmica lineal: $\varepsilon^{th} = \frac{\Delta L}{L}$, y de esta forma, ABAQUS puede calcular los campos de tensiones y deformaciones.

4. Modelo de simulación

Se ha realizado la simulación de tres tratamientos térmicos diferentes a una misma pieza de acero, un cigüeñal. Estas piezas son tratadas térmicamente para dotarlas de las propiedades mecánicas requeridas para sus aplicaciones particulares. Cabe decir que en este proyecto el objetivo principal es la implementación de los modelos en un software de simulación, por lo que la utilización de un cigüeñal para realizar los cálculos ha sido meramente circunstancial debido a su geometría. En la Fig. 3 se muestran algunas de las medidas del cigüeñal para dar una idea de las dimensiones de este. El modelo ha sido realizado en tres dimensiones.

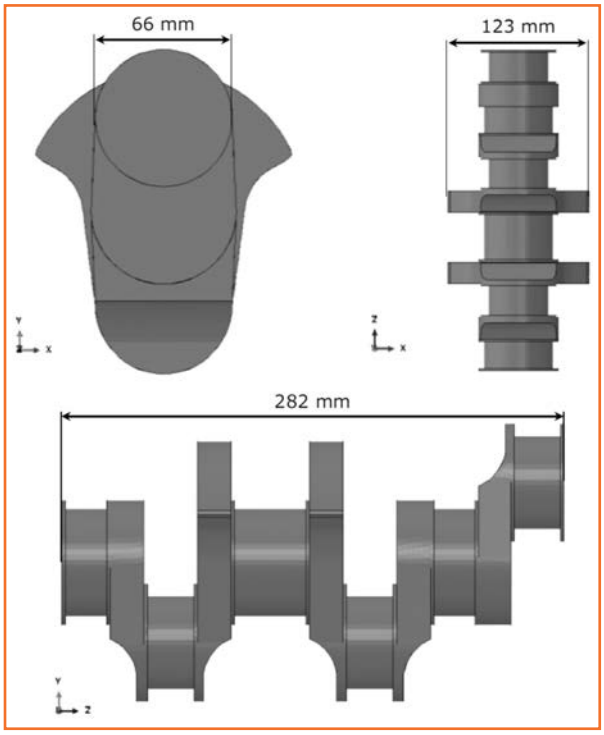


Fig. 3. Geometría del cigüeñal utilizado para la simulación. Se ha escogido esta pieza debido a su geometría.

La geometría ha sido extraída de una librería online con geometrías en 3D y 2D[5], desde donde se ha importado a ABAQUS. El cálculo realizado es un cálculo acoplado temperatura-desplazamiento. Debido a la complejidad de la geometría se han utilizado elementos tetraédricos del tipo C3D4T. En la Fig. 4 se observa el detalle de la malla utilizada para la simulación.

El cálculo ha sido realizado en formulación estándar puesto que la subrutina utilizada, la UEXPAN, no puede ser utilizada en formulación explícita. Para el caso de la simulación de un temple, donde la deformación sufrida

Fig. 4: Malla realizada con tetraedros.

por la pieza no es alta, es posible realizar el cálculo por el método de integración directa implícita, Abaqus/Standard.

Los tratamientos que se han simulado son: un temple en aceite, uno en agua y un enfriamiento al aire. En los tres casos, la pieza se encuentra inicialmente austenizada a 850 °C y tanto el agua como el aceite y el aire con los que se enfría la pieza se encuentran a 25 °C.

Para realizar la simulación de un temple o del enfriamiento al aire, uno de los parámetros a tener en cuenta es el coeficiente de transferencia de calor del fluido que rodea la pieza en el proceso. Los valores de este coeficiente para el agua, el aceite y el aire (Fig. 5) se han obtenido de la literatura.

El material utilizado para realizar la simulación ha sido el acero AFNOR 42C4, tal y como ya se ha comentado antes, y las propiedades que se le han atribuido, que han sido obtenidas de la una base de datos de materiales[8], son las que se muestran en la Fig. 6 (derecha). También se representan las curvas de endurecimiento del material en función de la temperatura.

5. Validación y simulación

5.1 Validación de la implementación

Se ha realizado la validación de la implementación de los modelos tanto para transformaciones isotérmicas como para no isotérmicas. Se ha tomado un tratamiento isotérmico a 400 °C, y cuatro enfriamientos continuos a 0.1, 0.5, 5 y 25 °C/s.

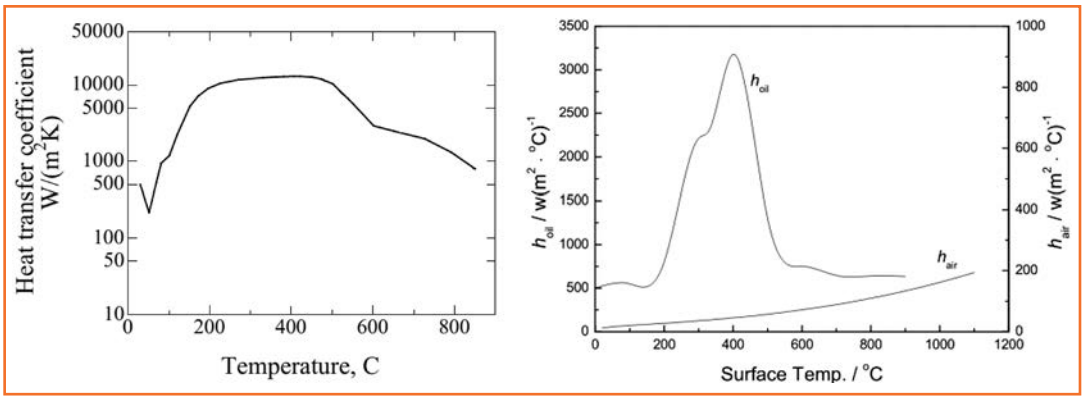


Fig. 5. Coeficientes de convección: Para el agua a la izquierda[6], y para el aceite y el aire a la derecha[7].

Densidad
ρ = 7850 kg/m³

Calor específico
C_p = 473 J/kgK

Conductividad

λ (W/Km)	Temperatura (°C)
44.6	100
43.4	200
37.7	400
31.3	600

Módulo de Young y coeficiente de Poisson

E (MPa)	ν	T (°C)
207000	0.284	20
180000	0.299	400
160000	0.307	600
125000	0.315	800
25000	0.316	1000

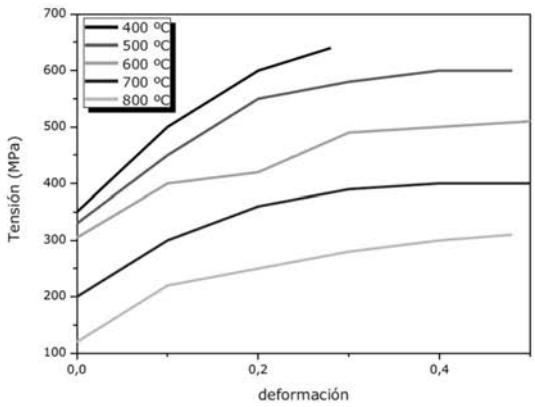


Fig. 6. Propiedades del material y curvas de endurecimiento (derecha).

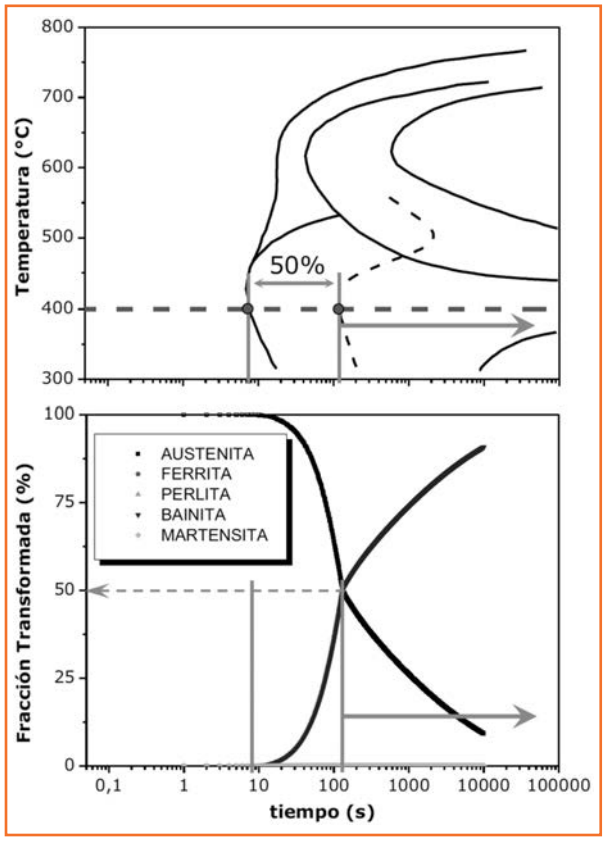


Fig. 7. Tratamiento isotérmico a 400 °C (arriba). Evolución de las fases a lo largo del tratamiento (abajo).

Viendo los resultados obtenidos para el tratamiento isotérmico a 400 °C (Fig. 7), según la TTT se obtendrá exclusivamente fase bainítica, donde se observa el inicio de la transformación, pero no el final. No obstante, sí que se define el momento en que la transformación ha alcanzado el 50%. Esto concuerda también con los resultados del cálculo. En este caso se puede observar la modificación del modelo que se ha realizado, donde se ve que, tal y como se indica en la TTT, el crecimiento de la bainita llega hasta el 50%, y a partir de ahí, la velocidad de crecimiento es menor.

Los resultados de la validación en el caso de tratamientos no isotérmicos aparecen en la Fig. 8. Para la velocidad de enfriamiento más baja (v = 0.1°C/s), la curva cruza la zona ferrítico-perlítica, para v = 0.5°C/s, cruza también la bainítica. La curva de v = 5°C/s, pasa por la zona ferrítica y bainítica, y en el caso de v = 25°C/s es de suponer que no se obtenga más que fase martensítica, ya que esta velocidad, según aparece representada en la gráfica, es mayor a la velocidad crítica del material.

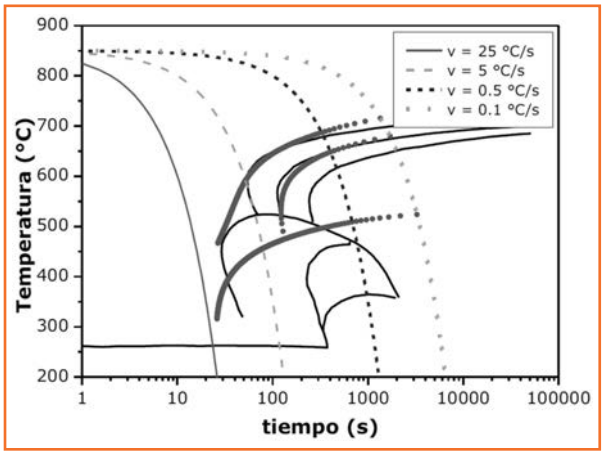


Fig. 8. Curvas de enfriamiento sobre la CCT del material.

Si bien es cierto que los valores obtenidos experimentalmente han sido extraídos de la literatura[9] y no es fácil comparar las curvas de enfriamiento obtenidas de la simulación con las fijadas en la CCT, al hacer la comparativa (Tabla 1), los resultados para todas las velocidades de enfriamiento se ajustan, dentro de un margen de error, a los obtenidos experimentalmente. Se puede observar por lo tanto, la mejora que ha supuesto la modificación de la aplicación de la Regla de Adición en los resultados de la bainita.

También se puede analizar la curva de deformación en función de la temperatura (Fig. 9) y se observará el cambio en la pendiente resultado de las transformaciones. En el caso de velocidad de enfriamiento de 5 o 25 °C/s como las fracciones transformadas de ferrita, perlita o bainita son bajas, o incluso nulas (25 °C/s), no se observa una variación apreciable en la pendiente de la curva hasta que esta alcanza la temperatura de inicio de la transformación martensítica (320 °C), donde la varia-

	FERRITA (%)		PERLITA (%)		BAINITA (%)		MARTENSITA (%)	
v(°C/s)	Experimental	Cálculo	Exp.	Cal.	Exp.	Cal.	Exp.	Cal.
0.1	40	40	60	60	0	**0**	0	0
0.5	15 – 40	40	<40	10	10 - 40	**30**	El resto	20
5	5	0	0	0	7 - 20	**10**	El resto	80
25	0	0	0	0	0	0	100	90

Tabla 1. Valores de la fracción transformada de cada una de las fases para las tres velocidades de enfriamiento. Se observan los valores experimentales y los obtenidos de la simulación.

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

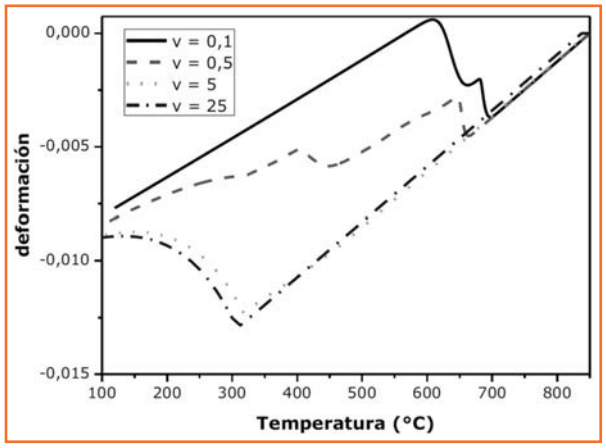


Fig. 9. Dilatometría obtenida a partir de la simulación.

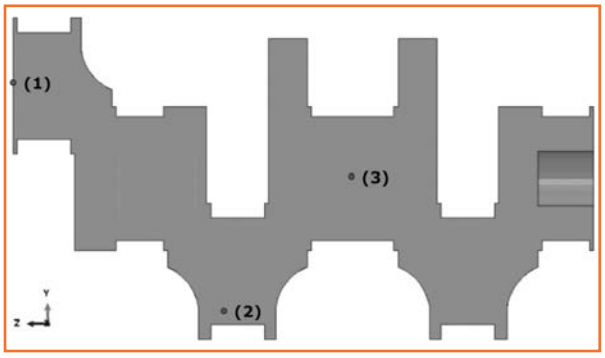


Fig. 10. Puntos de la pieza en los que se estudiará la evolución microestructural.

ción en la pendiente es alta. No obstante, en la simulación del enfriamiento a una velocidad de 0.1 °C/s o 0.5 °C/s, sí que se observan cambios en las pendientes a las temperaturas que corresponden a las regiones ferrítica, perlítica y bainítica.

Una vez comprobado el funcionamiento del programa y su correcta implementación en el software ABAQUS, este está listo para su implementación en un modelo más complejo como puede ser el temple de una pieza real.

5.2 Resultados de la simulación de un tratamiento térmico

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones del temple en agua y aceite y del enfriamiento al aire. Se mostrarán resultados de la distribución microestructural y de las distorsiones provocadas tanto por los cambios de temperatura como por las propias transformaciones de fase.

En la Fig. 10 se muestran los puntos en los que se estudiará el enfriamiento y el crecimiento de fases. Se han intentado escoger tres puntos que tengan un enfriamiento diferente para analizar de forma más representativa todas las zonas de la pieza.

En la Fig. 11, se representan las curvas de enfriamiento para cada uno de los tratamientos térmicos en los tres puntos que se han marcado en la Fig. 10.

En el temple en agua y en aceite, las velocidades de enfriamiento de la mayoría de los puntos son mayores a la velocidad crítica del material, por lo que la microestructura predominante en estos tratamientos será la martensita. En el enfriamiento al aire, tal y como muestra la Fig. 11, las curvas sí que cruzan la región ferrítica y bainítica, y la perlítica ligeramente.

En la Tabla 2 se resumen las distribuciones de fases al final de los tres tratamientos simulados.

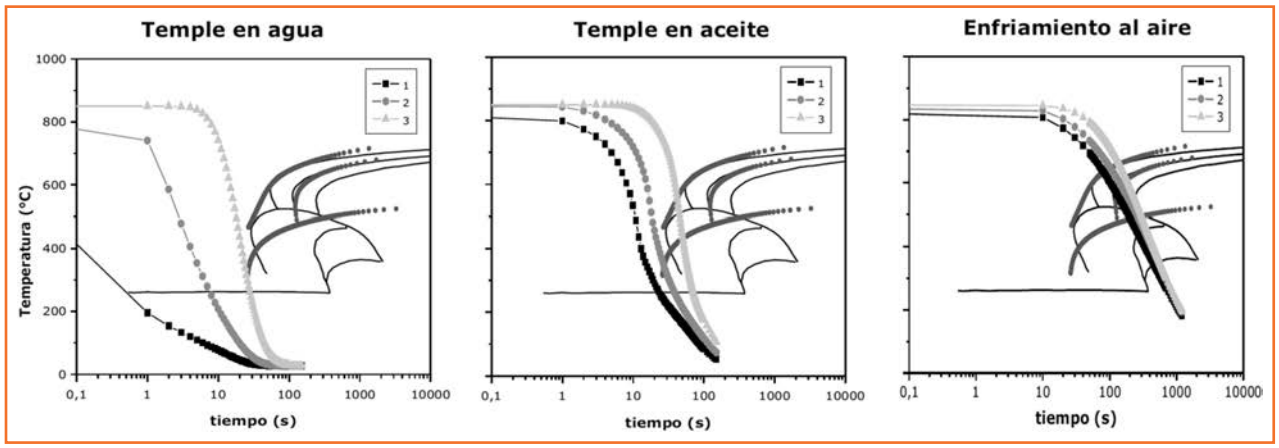


Fig. 11. Curvas de enfriamiento correspondientes al temple en agua de los puntos mostrados en la Fig. 10. Se muestran superpuestas a las CCT teórica y experimental.

Temple en agua					
Punto	F_A(%)	F_F(%)	F_P(%)	F_B(%)	F_M(%)
1	4	0	0	1	96
2	4	0	0	0	96
3	4	0	0	0	96
Temple en aceite					
Punto	F_A(%)	F_F(%)	F_P(%)	F_B(%)	F_M(%)
1	5	0	0	1	95
2	7	0	0	1	93
3	10	0	0	0	90
Enfriamiento al aire					
Punto	F_A(%)	F_F(%)	F_P(%)	F_B(%)	F_M(%)
1	7	28	1	10	54
2	7	28	1	10	54
3	8	11	1	13	67

Tabla 2. Proporciones de fases al final del enfriamiento correspondientes a cada tratamiento térmico para los puntos estudiados.

Como se observa en la tabla, en el temple en agua y en aceite, prácticamente la totalidad de la pieza tendrá una microestructura con un alto porcentaje de martensita, tal y como se preveía de las curvas de enfriamiento (Fig. 11).

Si se analiza también la distorsión provocada por cada uno de los tratamientos, se puede observar también, que ésta es mayor para los enfriamientos que se han realizado a una velocidad más alta, los temples en agua y aceite, y en el caso del enfriamiento al aire, se puede observar que la pieza ha quedado menos distorsionada al final del tratamiento (Fig. 12). También se puede observar que el estado de tensiones es máxima en el temple en agua, y mínima en el enfriamiento al aire.

6. Conclusiones

En este artículo se han presentado los resultados de las simulaciones de las transformaciones de fase y las distorsiones que estas generan al aplicarle a una pieza de acero un tratamiento térmico. Se ha realizado la simulación mediante la implementación de los modelos de las transformaciones de fase en ABAQUS®. Se ha utilizado la subrutina UEXPAN para calcular la distorsión generada teniendo en cuenta los coeficientes de expansión térmica de cada una de las fases transformadas.

Del análisis, se ha podido observar la influencia de los cambios microestructurales en las distorsiones generadas en una pieza real (un cigüeñal). Las simulaciones han sido realizadas utilizando propiedades térmicas y mecánicas obtenidas de la literatura.

Se ha comprobado que la JMAK es una buena herramienta para el cálculo del crecimiento de las fracciones volumétricas transformadas de la ferrita y de la perlita.

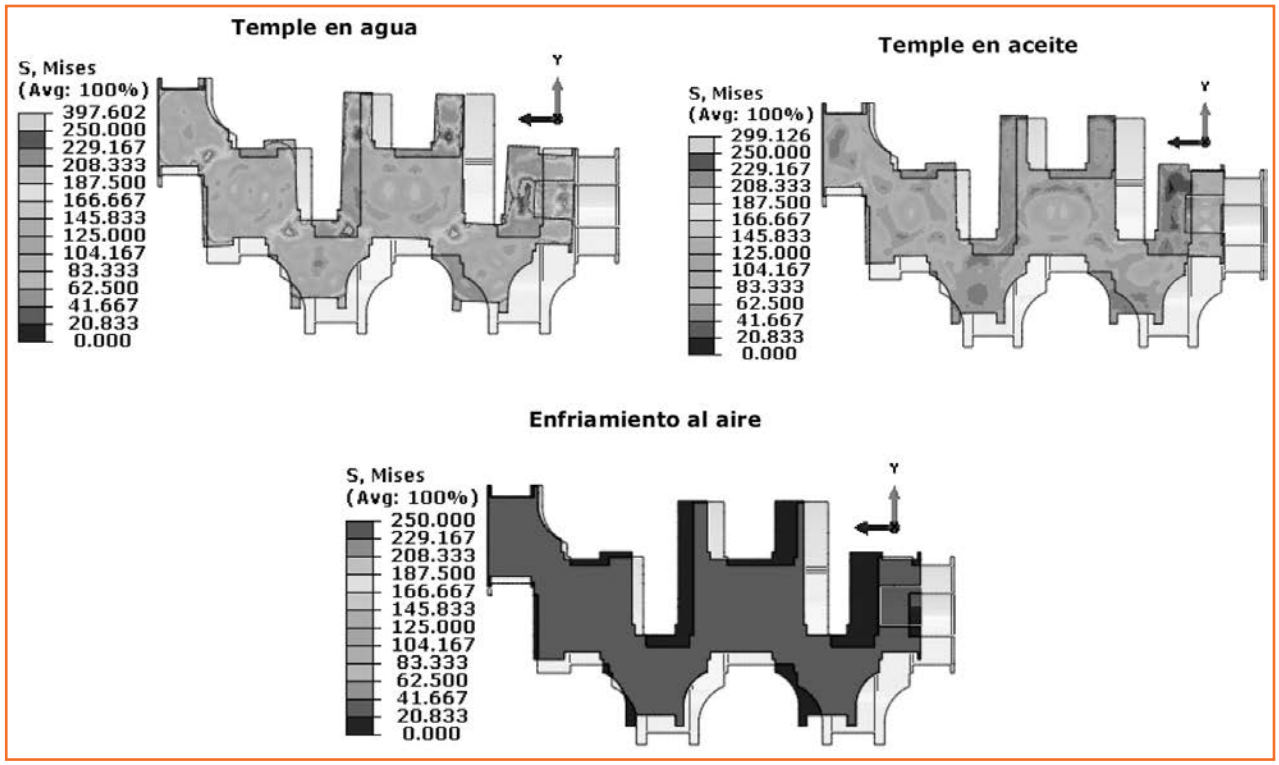


Fig. 12. Estados de deformación de las piezas después de cada uno de los tratamientos (la deformación está multiplicada por un factor 10).

La modificación realizada en la aplicación de la Regla de Adición ha resultado una mejora en la descripción del crecimiento de la fase bainítica, tanto en transformaciones isotérmicas como en las no isotérmicas.

Para el cálculo del tiempo de incubación, en la aplicación al material utilizado en este trabajo, el inicio de la fase ferrítica y perlítica queda bien descrito, no obstante, para el inicio de la fase bainítica, el tiempo calculado queda sobrevalorado con respecto al obtenido experimentalmente.

El cálculo de las distorsiones a partir de la variación del volumen de las celdas unidad de la estructura cristalina de cada una de las fases, ha dejado ver las diferencias entre las distorsiones generadas a partir de tres tratamientos térmicos diferentes y por lo tanto que implican diferencias microestructurales.

Referencias

[1] M. Giménez Guanter, A. Llobet Lorenzo, M. D. Riera Colom y J. M. Prado Pozuelo, "Simulación de un tratamiento térmico mediante elementos finitos", Congreso Nacional de Tratamientos Térmicos y de Superficie, Barcelona 2013.

[2] M. Onink, et al., "Quantitative Analysis of the Dilatation by Decomposition of Fe-C Austenites; Calculation of Volume Change upon Transformation", Z. Metallkd., pp. 24-32, 1996.

[3] S.-J. Lee, M. Lusk y Y.-K. Lee, "Conversional model of transformation strain to phase fraction in low alloy steels", Acta Materialia, vol. 55, nO 3, pp. 875-882, 2007.

[4] "Abaqus User Subroutines Reference Manual", de Abaqus 6.12 Manual.

[5] "3D Content Central", [En línea]. Available: http ://www.3d-contentcentral.com/.

[6] D.Huang et al., "Prediction of Quench Distortion on Steel Shaft with Keyway by Computer Simulation", Heat Treating Conference & Exposition, Sto Louis, Missouri 2000.

[7] e. Lu, L. Zhang, Q. Tai, Q. Zheng y Z. Wang, "Numerical Simulation and Technological Parameter Optimization for Quenching Process of a Gas TUrbine Compressor Disk Based on Metallo-ThermoMechanics", Journal of Material Science and Technology, vol. 22, nO 6, pp. 860-864, 2006.

[8] "MatWeb", Material Property Data. [En línea]. http://www.matweb.com/

[9] A. Constant, G. Henrr y J.-e. Charbonnier, "Principes de base des traitements thermiques, thermomécaniques et thermochimiques des aciers", PYC Editions, 1992.

[10] C. García de Andrés, F. García Caballero, e. Capdevila y H. Bhadeshia, "Modelling of kinetics and dilatometric behavior of non-isothermal pearlite-to-austenite transformation in an eutectoid steel", Scripta Materialia, vol. 39, nº 6, pp. 791-796, 1998.

PERFIL PARA SELECCIÓN OPERARIOS TORNERO / FRESADOR

Se selecciona personal para puestos de tornero/fresador en empresa sita en Cartagena (Murcia).

FUNCIONES

- Preparación de máquinas y herramientas.
- Manejo de máquinas herramientas torno convencional y/o fresadora CNC.
- Producción de piezas según plano o instrucciones.

REQUISITOS NECESARIOS

- Experiencia demostrable como operador de máquina herramienta, preferiblemente torno convencional o fresadora CNC.
- Capacidad de interpretación de planos.

REQUISITOS VALORABLES

- Formación académica relacionada al puesto, FPGM Técnico en Mecanizado, FPGM Fabricación Mecánica, FPGS Producción por Mecanizado, etc.
- Conocimientos en programación CNC (Fagor y Heidenhain) y CAD-CAM.
- Conocimientos de equipos mecánicos, dinámicos y estáticos.
- Conocimientos de mantenimiento industrial.
- Carnet de conducir.

SE OFRECE

- Incorporación a empresa en crecimiento.
- Contrato temporal jornada completa.

Interesados enviar currículum a info@jjceldran.com

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

OPORTUNIDAD TÉCNICO COMERCIAL

Multinacional Herramientas de corte con más de 30 años en el sector del mecanizado.

Precisamos un profesional para incorporase al equipo comercial del norte de España (País Vasco).
Sus funciones serán el asesoramiento y la atención de nuestra cartera de clientes, siendo necesario experiencia práctica en el campo del mecanizado.

Tel.: +34 646 769 970

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

Fabricante de hornos industriales selecciona

un delineante proyectista
y un ingeniero eléctrico y de control.
Experiencia dos años.
Madrid

pedeca@pedeca.es

Ref. 15

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

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

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

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

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

TECRESA®
TECNICAS DE REFRACTARIOS, S.A.U.
SEDE CENTRAL BILBAO
Creciendo Juntos
www.tecresa.com
Ribera de Zorrozaurre 15 2º-48015 Bilbao Vizcaya
Tel: 902 118 947 - Fax: 944 483 732
tecresa@tecresa.com
MONTAJE, MANTENIMIENTO, SUMINISTRO, INGENIERÍA DE:
Revestimientos Refractarios Industriales
Pavimentos Industriales, Protección de Superficies,
Reparación y Refuerzo Estructural, Protección Pasiva contra Incendios,
Estudios de Eficiencia Energética.
DELEGACIONES
Pol. Logrezana, Nave 5 Tf: 902 118 948 33438 CARREÑO asturias@tecresa.com
Pol. La Paz, Nave 16 Tf: 902 118 949 21007 HUELVA huelva@tecresa.com
Avda.Rubine Nº6 Pta 4 Loc.1 Tf: 902 118 950 15004 LA CORUÑA galicia@tecresa.com
Ctra.Astillero-Somo Km 2.5 Tf: 942 106 919 39792 GAJANO cantabria@tecresa.com

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

PYRO® CONTROLE
CHAUVIN ARNOUX GROUP
TKK EREMA
TOKAI KONETSU KOGYO CO., LTD.
SSi SUPER SYSTEMS INC.
HITECH INSTRUMENTS LTD
WINNER TECHNOLOGY CO.,LTD.
주식회사 위너테크
ENTESIS technology
- 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
Guitard 72 baixos, E-08014 Barcelona
Tel. (+34) 93 410 54 54, Fax (+34) 93 419 97 33
www.entesis.net · e-mail:info@entesis.net

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

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
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.

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

Ingeniería y Productos para Hornos y Procesos Térmicos

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

www.interbil.es

ARROLA®
SERVICIO INTEGRAL
PARA INSTALACIONES
DE TRATAMIENTO TERMICO

HORNOS INDUSTRIALES

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

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

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

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.*

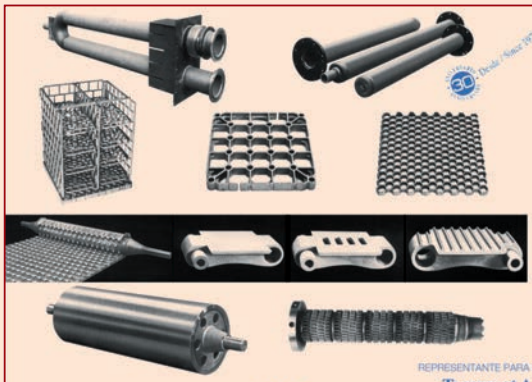
Safe Cronite
L'esprit industriel

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

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



- Gran disponibilidad de modelos.
- Alta variedad de calidades.
- Piezas a medida según plano.
- Tubos radiantes.
- Rodillos.
- Parrillas.
- 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@tecnymat.com

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

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

Especialistas en Tecnologías del Vacío
Leybold
Leybold Hispánica, S.A.
C/ Huelva, 7 · E-08940 Cornellá de Llobregat
T +34 93 666 43 11
F +34 93 666 43 70
info.ba@leybold.com
www.leybold.com

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

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

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

insertec
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

A3TS . . . . . 6 y 7
ACEMSA 48
ADVANCED FACTORIES 13
APLITEC 47
ARROLA 5
B.M.I. 47
BOREL SWISS 49
DEGUISA 47
ENTESIS 47
FERROFORMA . . . . . Contraportada 2
FLEXINOX 47
HEA . . . . . Contraportada 4
HORNOS DEL VALLÉS – TECNOPIRO . . 47
HOT 21
INSERTEC 49
INTERBIL 48
LEYBOLD 49
LIBROS TRATAMIENTOS TÉRMICOS . . 41
METALMADRID 15
ONDARLAN 9
POMETON 48
PROYCOTECME 47
S.A. METALOGRÁFICA 48
SAFE 11
SOLO SWISS . . . . . PORTADA
SPECTRO 49
SUBCONTRATACIÓN . . . . . Contraportada 3
SUMINISTRO Y CALIBRACIÓN 17
TECNYMAT 19
TECRESA 47
WHEELABRATOR 48

Próximo número

ABRIL

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.

SUBCONTRATACIÓN'17

FERIA INTERNACIONAL DE PROCESOS Y EQUIPOS PARA LA FABRICACIÓN

6/8 DE JUNIO DE 2017

IN DUS TRY · SUBCONTRATACIÓN'17 · FERROFORMA · FITMAQ 2017 · maintenance · PUMPS & VALVES · ADDIT3D

BEC 6-8/6 2017

Tel.: (+34) 94 404 00 78/93
mail: subcontratacion@bec.eu
www.subcontratacionbilbao.com

BILBAO EXHIBITION CENTRE

EXPOSSIBLE!

TRATAMIENTO TÉRMICO DE ALEACIONES DE METALES NOBLES EN ATMÓSFERA CONTROLADA

HEA
SINCE 1945

HORNOS INDUSTRIALES

www.alferieff.com • hea@hornoshea.com

Telféfono: +34 91 639 69 11