

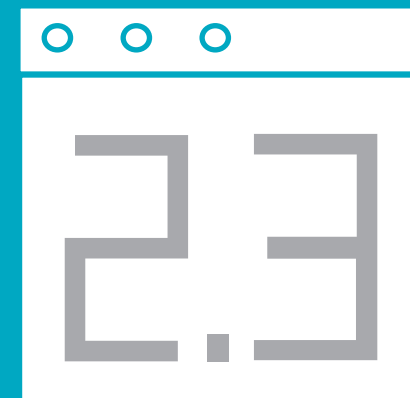
COTEC es una fundación de origen empresarial que tiene como misión contribuir al desarrollo del país mediante el fomento de la innovación tecnológica en la empresa y en la sociedad españolas.

ADER (LA RIOJA)
 AGENCIA DE INVERSIONES Y SERVICIOS (CASTILLA Y LEÓN)
 AGENCIA NAVARRA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA
 ALSTOM ESPAÑA
 ASOCIACIÓN INNOVALIA
 AYUNTAMIENTO DE GIJÓN
 AYUNTAMIENTO DE VALENCIA
 BILBAO BIZKAIA KUTXA
 CAJA DE AHORROS Y MONTE DE PIEDAD DE MADRID
 CAJA DE AHORROS Y PENSIONES DE BARCELONA
 CÁMARA DE COMERCIO E INDUSTRIA DE MADRID
 CENTRO TECNOLÓGICO DE AUTOMOCIÓN DE GALICIA
 CIDEM
 CLARKE, MODET & Co
 CONSEJERÍA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CASTILLA-LA MANCHA)
 CONSEJERÍA DE INNOVACIÓN, CIENCIA Y EMPRESA (JUNTA DE ANDALUCÍA)
 CONSULTRANS
 DELOITTE
 DIRECCIÓN GENERAL DE UNIVERSIDADES E INVESTIGACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MADRID
 DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE LA XUNTA DE GALICIA
 DMR CONSULTING
 EADS ASTRIUM-CRISA
 ELIOP
 ENCOPIM
 ENDESA
 ENRESA
 EUROCONTROL
 EUSKALTEL
 FREIXENET
 FUNDACIÓN AUNA
 FUNDACIÓN BANCO BILBAO-VIZCAYA ARGENTARIA
 FUNDACIÓN BARRIÉ DE LA MAZA
 FUNDACIÓN CAMPOLLANO
 FUNDACIÓ CATALANA PER A LA RECERCA I LA INNOVACIÓ
 FUNDACIÓN FOCUS-ABENGOA

FUNDACIÓN IBIT
 FUNDACIÓN LILLY
 FUNDACIÓN RAMÓN ARECES
 FUNDACIÓN UNIVERSIDAD-EMPRESA
 FUNDACIÓN VODAFONE
 FUNDECYT (EXTREMADURA)
 GRUPO ACS
 GRUPO ANTOLÍN IRAUSA
 GRUPO DURO FELGUERA
 GRUPO LECHE PASCUAL
 GRUPO MRS
 GRUPO PRISA
 GRUPO SPRI
 HIDRO CANTÁBRICO
 HISPASAT
 IBERDROLA
 IBM
 IMADE
 IMPIVA
 INDRA
 INSTITUTO DE FOMENTO DE LA REGIÓN DE MURCIA
 INSTITUTO DE DESARROLLO ECONÓMICO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ARAGÓN
 INTEL CORPORATION IBERIA
 INTELLIGENT DATA
 MERCAPITAL
 META 4
 MIER COMUNICACIONES
 NECSO
 OHL
 O-KYAKU
 PATENTES TALGO
 PROEXCA
 REPSOL YPF
 SADIEL
 SANTANDER CENTRAL HISPANO
 SEPES
 SIDA
 SOCINTEC GRUPO AZERTIA
 SODERCAN (CANTABRIA)
 SOLUTEX
 TECNALIA
 TÉCNICAS REUNIDAS
 TELEFÓNICA
 UNIÓN FENOSA
 ZELTIA

23

ROBÓTICA Y AUTOMATIZACIÓN



ISBN 84-953336-61-8



9 788495 336613

Cotec

Fundación Cotec
 para la Innovación Tecnológica
 Pza. Marqués de Salamanca, 11, 2.º izqda.
 28006 Madrid
 Telf. (34) 91 436 47 74
 Fax. (34) 91 431 12 39
<http://www.cotec.es>

23

**ROBÓTICA Y
AUTOMATIZACIÓN**

**DOCUMENTOS
COTEC SOBRE
OPORTUNIDADES
TECNOLÓGICAS**

Primera edición:
Marzo 2006

Depósito legal: M. 9.489-2006
ISBN: 84-95336-61-8

Imprime:
Gráficas Arias Montano, S.A.

ÍNDICE

1. Presentación	5
2. Introducción	9
3. Beneficios de la Robótica y la Automatización	11
4. Estado del arte y tendencias actuales	17
5. Aplicaciones	23
5.1. Aplicaciones «tradicionales» en los sectores manufactureros	24
5.1.1. Industria de automoción	24
5.1.1.1. Producto	25
5.1.1.2. Proceso	28
5.1.2. Industria química	30
5.1.3. Industria textil	35
5.1.4. Industria cerámica	37
5.1.5. Otras industrias	39
5.2. Aplicaciones innovadoras en nuevos sectores	41
5.2.1. Servicios	42
5.2.2. Industria de la construcción	47
5.2.3. Domótica	51
5.2.4. Agricultura	54
5.2.5. Industria de alimentación	58
5.2.6. Medicina	62
5.2.7. Industria farmacéutica	66
5.2.8. Industria del calzado	69
5.2.9. Industria naval	72
5.2.10. Industria aeroespacial	74
5.2.11. Sector eléctrico	78
5.2.12. Industria nuclear	81
5.2.13. Otras aplicaciones	83

6. Empresas, profesionales y formación	85
7. Consideraciones finales	89
8. Referencias	91
8.1. Páginas en la Red	91
8.2. Revistas	92
8.3. Libros	93
9. Directorio de centros y empresas	95
9.1. Universidades	95
9.2. Centros de investigación y tecnológicos	99
9.3. Empresas e ingenierías	102
Anexo 1. Principales tecnologías	113
A1. Máquinas	113
A2. Sistemas de control	126
A3. Comunicaciones	139
A4. Software	146
A5. Tecnologías de la información en la industria .	155
A6. Microsistemas y nanotecnología	157
Anexo 2. Glosario de términos y acrónimos	159



PRESENTACIÓN

COTEC mantiene, desde hace más de doce años, como una de sus actividades permanentes la búsqueda e identificación de oportunidades tecnológicas que permitan al tejido empresarial y social español incrementar su capital técnico, su capacidad innovadora y su competitividad.

Los Documentos Cotec sobre Oportunidades Tecnológicas conforman una colección orientada al cumplimiento del objetivo estratégico de actuar como motor de sensibilización a la actitud innovadora, tanto en los ámbitos empresarial y académico como en la sociedad en general. Estos documentos se editan después de un proceso de debate que tiene lugar en sesiones de identificación de las oportunidades que ofrece una determinada tecnología o un grupo de tecnologías.

Estas sesiones tienen como finalidad conocer las tecnologías analizadas, sus retos y oportunidades, y las diferentes aplicaciones industriales e infraestructuras que permitan facilitar la transferencia a la industria y a los servicios. En ellas la Fundación Cotec reúne a un cualificado grupo de expertos empresariales y de investigadores de la universidad y de centros de I+D para que analicen las posibilidades de aplicación de esas tecnologías y las oportunidades que ofrecen para los distintos sectores.

Se puede afirmar que la Robótica y la Automatización están estrechamente ligadas entre sí y forman un área tecno-

lógica indivisible y de la máxima actualidad. Esta área destaca por unas tecnologías que aumentan drásticamente la productividad, abaratando los precios de los productos, tanto de alta tecnología como artesanales, haciéndolos accesibles a la gran mayoría de la gente. Por otro lado, la robotización permite mejorar la calidad y las condiciones de trabajo, sustituyendo tareas penosas por otras que se efectúan en condiciones mucho más ventajosas. Pero, además, la irrupción de la automatización en los servicios y el ocio permite mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Esta área se encuentra en la vanguardia de la innovación tecnológica, siendo el motor productivo de muchos sectores económicos tanto en nuestro país como en la mayoría de los países industrializados.

En esta ocasión la Fundación Cotec presenta el resultado de la sesión dedicada a la **Robótica y la Automatización**, que tuvo lugar en su sede de Madrid. El documento empieza con una breve introducción, deteniéndose con más profundidad en la identificación de las tecnologías implicadas (máquinas, controladores, comunicaciones, software, microsistemas y nanotecnologías, etc.), y sobre todo insistiendo en la descripción de aplicaciones en los sectores más tradicionales y en los sectores potencialmente innovadores. El documento se completa con la inclusión de referencias obligadas y un exhaustivo inventario de la capacidad tecnológica (universidades, centros tecnológicos, ingenierías) existente en España, además de un glosario de términos y acrónimos.

La sesión contó con la colaboración de un equipo de investigadores y de expertos empresariales coordinados por el catedrático Carlos Balaguer, que preparó y coordinó el material de esta publicación. La Fundación Cotec quiere dejar constancia de su agradecimiento a él y a los demás participantes en la sesión, sin cuyo trabajo, comentarios y valiosas sugerencias este documento no hubiera sido posible.

SESIÓN COTEC SOBRE ROBÓTICA Y AUTOMTIZACIÓN

Expertos participantes

- Rafael Aracil
Universidad Politécnica de Madrid
- Manuel Armada
Instituto de Automática Industrial (IAI-CSIC)
- Carlos Bosch
Dragados, Obras y Proyectos, S.A.
- Augusto Caramagno
Deimos Space, S.L.
- Alicia Casals
Universidad Politécnica de Cataluña
- Sebastián Dormido
UNED
- Juan Carlos Arenas
ABB Sistemas Industriales, S.A.
- José Francisco Liceaga
INASMET
- Guillermo Ojea
Universidad de Oviedo
- Aníbal Ollero
Universidad de Sevilla
- Valentín Pastor
Peugeot-Citroën (Grupo PSA)
- Jesús Paniagua
Instituto Tecnológico de Aragón

- César de Prada
Universidad de Valladolid
- Manuel Poza
Fundación Cotec
- Rafael Salichs
Thyssen Ingeniería y Sistemas, S.A. (ThyssenKrupp)

Experto coordinador

- Carlos Balaguer
Universidad Carlos III de Madrid

2

INTRODUCCIÓN

Este documento tiene como objetivo presentar, por un lado, el estado del arte y, por otro, las nuevas tendencias y aplicaciones de la Robótica y la Automatización, con el fin de ofrecer al sector productivo los beneficios de la introducción de las tecnologías asociadas. Éstas permiten un sustancial aumento de la productividad y una diversificación de la producción a través de la fabricación flexible, así como una racionalización de todo el negocio. El aumento de la calidad de los productos finales, la alta repetitividad durante la fabricación y el incremento de la seguridad son, entre otros, factores claves para la introducción de estas tecnologías.

El documento se centrará básicamente en la automatización de la producción por lotes (*batch*), en donde los procesos son discretos como, por ejemplo, el ensamblado de las válvulas de un motor, la soldadura de una carrocería, la alimentación de una máquina de estampado, la colocación de ladrillos, etc. No obstante, el texto también aporta soluciones y oportunidades en la producción continua (procesos químicos, metalúrgicos, etc.), en donde las variables físicas del proceso y del producto (temperatura, viscosidad, nivel de pH, etc.) varían en el tiempo y de forma normalmente no lineal.

Las aplicaciones analizadas en este documento no corresponden solamente al sector industrial, sino también a otros

sectores emergentes. El tradicional sector manufacturero (automóvil, textil, transformaciones metálicas, etc.) cuenta con un alto nivel de robotización y automatización, estando en algunos casos cerca de la saturación. No obstante, la innovación continua en estos sectores es posible y muy aconsejable gracias al constante desarrollo de nuevos tipos de robots, de innovadoras tecnologías de automatización y de avanzados sistemas de control.

Por otro lado, existen numerosos sectores productivos con un peso muy importante en la economía de los países industrializados, que cuentan con un bajo nivel de automatización. Los sectores de servicios, construcción, alimentación, agricultura y otros ofrecen enormes posibilidades de expansión. La medicina y la industria farmacéutica son otros de los novedosos campos de aplicación. La Robótica y la Automatización ofrecen a estos sectores un excelente compromiso entre productividad y flexibilidad, una calidad uniforme de los productos, una sistematización de los procesos y la posibilidad de supervisar y/o controlar las plantas según diferentes parámetros y criterios.

El documento, sin pretender ser un texto académico que abarque con profundidad la totalidad de los temas de la materia, permite, sin embargo, descubrir las nuevas oportunidades que estas tecnologías ofrecen a los sectores productivos y de servicios, haciendo especial hincapié en el sector productivo español. Igualmente se presentan de forma sencilla y resumida las pautas y la metodología de introducción de la Robótica y la Automatización en las empresas, así como los criterios más importantes de selección de los equipos y de las tecnologías.

3

BENEFICIOS DE LA ROBÓTICA Y LA AUTOMATIZACIÓN

El sector de la Robótica y la Automatización es uno de los sectores tecnológicos más importantes. Las principales empresas fabricantes del sector invierten grandes cantidades de sus beneficios en el desarrollo tecnológico. Empresas líderes como ABB Automation, Kuka, Siemens, Rockwell Automation obtienen hasta el 30% de los beneficios de sus divisiones de automatización. El sector no solamente produce sistemas, equipos, hardware y software, sino también diseña e integra sistemas para soluciones «llave en mano», y desarrolla numerosas aplicaciones de servicios, tales como el mantenimiento y la actualización.

Este sector es también uno de los más dinámicos que cuenta con un corto período de tiempo para la incorporación de las nuevas tecnologías a los productos en el mercado. De hecho, en muchos casos es el motor del desarrollo de muchas de esas tecnologías. Es también un sector que incorpora de forma muy rápida la experiencia acumulada en el uso de sus sistemas. Una de las mayores diferencias con otros sectores es la personalización de los sistemas a las necesidades de las empresas, que en muchos casos son dinámicas y reconfigurables. La actualización, la diversificación y la continua relación con el usuario son otras de las características importantes del sector.

En este capítulo se resumen los principales beneficios que la Robótica y la Automatización pueden aportar a las em-

presas tanto desde el punto de vista productivo como organizativo y estructural. Se pueden destacar cuatro ventajas principales de los sistemas robotizados: aumento de la productividad, alta flexibilidad, excelente calidad y mejora de la seguridad.

- *Productividad.* Indudablemente la Robótica y la Automatización surgen con el objetivo de incrementar la productividad de las empresas, aumentando la producción y reduciendo costes, sobre todo laborales, de materiales, energéticos y de almacenamiento. La introducción de robots en operaciones tales como soldadura, manipulación de productos, pintura, ensamblado, control de calidad, etc., que hace unas décadas eran totalmente manuales, permite reducir sustancialmente el *tiempo de ciclo* de las operaciones. Este tiempo se define como el tiempo necesario en realizar una operación unitaria (por ejemplo, un punto de soldadura), de tal forma que el robot, después de esta operación, esté preparado para realizar de la misma manera el siguiente punto.

La reducción del tiempo de ciclo, unida a la reducción de los costes laborales y de operación, lleva a la disminución de coste unitario del producto final. En este cálculo hay que tener en cuenta la inversión efectuada en el sistema robotizado y el período de amortización de la misma. Para estimar la amortización de una instalación robotizada, calculada en número de meses de retorno de la inversión (A), hay que tener en cuenta dos factores fundamentales: la inversión inicial (II) y los ahorros anuales (AA). De este modo $A=II/AA$. En la parte de II hay que sumar los costes de los robots, herramientas, equipos auxiliares y demás dispositivos, y restar el coste de los equipos que se liberan por la robotización. En la parte de AA hay que sumar el coste anual por ahorro de los costes salariales, y restar los costes de programación y mantenimiento de los robots, añadien-

do los costes de recolocación del personal excedente, que normalmente se centran en su formación o jubilación; además, hay que tener en cuenta los costes asociados a los impuestos. Si finalmente el plazo de amortización de la robotización de las operaciones en fábrica es aproximadamente de dieciocho meses, ésta es admitida. Esta cifra es bastante común en la mayoría de las compañías multinacionales del sector del automóvil.

El drástico aumento de la productividad transfiere el problema a la venta masiva que en muchos casos es más difícil que la producción masiva. Como señala un conocido experto en automatización, «hoy en día no es sorprendente que se fabrique un coche en 30 segundos; lo que es sorprendente es que se venda un coche cada 30 segundos». Este hecho lleva a que los pedidos deben ser gestionados de forma mucho más eficiente y en tiempos muy cortos para no generar grandes volúmenes de *stocks* (almacenes de productos). Además, disminuyendo el tiempo de los productos inmovilizados en los almacenes y el tamaño de estos últimos, se disminuyen los gastos financieros.

- *Flexibilidad*. La producción masiva de abundantes cantidades de productos iguales es una producción rígida que no se adapta a la cada vez más rápida evolución del mercado actual. Ejemplo de producción rígida es la afirmación de Henry Ford, introductor de la producción en cadena: «Usted puede tener un Modelo T de cualquier color que desee, siempre que sea negro».

Los sistemas robotizados actuales destacan por ser máquinas y sistemas flexibles que pueden adaptarse a la fabricación de una familia de productos sin la necesidad de que se modifique la cadena de producción y, por consiguiente, sin paradas. Si en la cadena de montaje de un sistema rígido se fabrican solamente productos del mismo tipo (por ejemplo, automóviles modelo A), en un sistema flexible se fabrican a la vez varios productos distintos (A, B, C...) con una disminución mí-

nima de la productividad unitaria. Para ello, los sistemas robotizados actuales tienen la capacidad de reconfigurarse de forma automática mediante la carga de los programas de fabricación, el intercambio automático de herramientas y la modificación del flujo de materiales.

En general, se puede decir que la flexibilidad define el número de productos distintos (*lotes*) que se fabrican en función de la productividad. Como casos extremos están los sistemas rígidos, que tienen una alta productividad pero una baja flexibilidad para cambiar de producto, mientras que los sistemas totalmente manuales tienen una baja productividad y una flexibilidad muy alta. Los sistemas robotizados se encuentran en una zona intermedia en la que tanto la flexibilidad como la productividad son buenas, teniendo, por tanto, una buena relación flexibilidad/productividad.

- **Calidad.** El alto nivel de repetitividad de las tareas realizadas por los robots y el control de productividad en todos los ámbitos de la factoría permiten asegurar un alto nivel de calidad del producto final. La calidad del producto actual no suele depender del día ni de la hora de fabricación ni de la partida de materiales utilizados. No obstante, hay que tener en cuenta varios factores determinantes: a) los suministros de materiales y piezas deben pasar los controles pertinentes y tener una calidad uniforme; b) el desgaste de las herramientas debe ser controlado de forma periódica ajustando las máquinas y sus programas a ese desgaste; c) se debe efectuar un control de calidad del producto al final de su fabricación.

Los sistemas robotizados se emplean no solamente para la fabricación, sino también para medir la calidad del producto final mediante sistemas mecánicos (palpadores) u ópticos (láser). De este modo, por ejemplo, se puede realizar una metrología dimensional de las carrocerías de coches, verificando el paralelismo, la axia-

lidad, la nivelación, etc. Así mismo, son necesarios bancos de prueba, por ejemplo de motores, que verifiquen el correcto funcionamiento del sistema en su conjunto. Estos procedimientos de medida y el control de la calidad de fabricación tienen un coste que la empresa debe asumir, así como la obtención del certificado de calidad ISO 9002.

- *Seguridad laboral.* La automatización lleva a que los procesos de fabricación sean realizados por un número mínimo de personas, disminuyendo las posibilidades de accidentes laborales. La introducción de los robots en operaciones tales como soldadura y pintura han permitido también la eliminación de puestos de trabajo nocivos y peligrosos. No obstante, los robots siguen siendo máquinas potencialmente muy peligrosas que se mueven a grandes velocidades y con cargas elevadas. Estadísticamente se confirma que los robots crean un bajo nivel de accidentes durante el funcionamiento continuo, mientras que durante el mantenimiento y la reparación este nivel aumenta.

Por esta razón, la empresa debe adoptar todas las medidas de seguridad conocidas que se pueden resumir así: a) tener zonas de exclusión de entrada de personas mediante barreras ópticas, suelos sensibles o jaulas; b) ajustar los actuadores de los robots para que se paren al detectar obstáculos en su movimiento; c) bloquear, mediante frenos, el movimiento de los ejes del robot al desaparecer la alimentación eléctrica; d) programar el robot con zonas de exclusión de movimientos, de tal forma que solamente pueda moverse en el área donde realiza la tarea; e) programarlo para que durante su programación la velocidad sea sustancialmente menor a la de trabajo; f) programarlo de tal forma que nunca entre en conflicto (colisión) con otras máquinas a su alrededor (prensas, otros robots), etc. En cualquier caso, todas estas medidas deben estar acompañadas de una estricta educación laboral en seguridad.

Quizás uno de los beneficios más importantes de la Robótica y la Automatización es la racionalización de la empresa. La introducción de robots, máquinas automáticas y sistemas controlados de transporte conlleva a un estudio de todo el ciclo de producción, desde el sistema de recepción y agrupación de pedidos hasta la expedición de los mismos, pasando por el control de *stocks*, suministros y el control de calidad. La empresa se informatiza (en el amplio sentido de la palabra), controla todas sus variables de fabricación y conoce en cada instante la evolución de los principales parámetros, teniendo la posibilidad de cambiar sus ciclos productivos y adaptarse a las necesidades del mercado.

4

ESTADO DEL ARTE Y TENDENCIAS ACTUALES

Desde que en 1801 Jacquard desarrolló el primer telar automático utilizando una cinta de papel perforada como un sistema de programación de la máquina, la automatización industrial ha estado en continuo desarrollo. En esa fecha se inició la transición de la producción artesanal a la *producción masiva*, definida por la fabricación de grandes lotes de productos manufacturados a precios muy bajos. La producción, que en principio se realizaba con pocas máquinas y numerosa mano de obra, dio paso a un alto nivel de productividad con una masiva utilización de dispositivos mecánicos.

Desde los años cincuenta del siglo pasado el concepto de producción masiva dio paso a *la producción automatizada*, definida por la introducción de nuevas máquinas automáticas flexibles, principalmente las máquinas-herramientas con control numérico (NC). Más tarde, en los años sesenta, se empezaron a introducir los primeros robots industriales, que aumentaron aún más la flexibilidad del sistema productivo, y posteriormente se desarrollaron las máquinas de control numérico con computador (CNC). De esta forma la producción se realizaba por lotes más pequeños, permitiendo cambios más rápidos en el producto. Se introdujeron los lenguajes de programación estandarizados, tipo ISO y se desarrollaron programas que permitían transformar dibujos y diseños CAD en programas de

control numérico. A partir de los años ochenta se desarrolla el concepto de DNC (*Direct Computer Control*), que permite conectar varias máquinas-herramientas con un computador creando una red.

El aumento de la capacidad de procesamiento de los computadores y su drástico abaratamiento con la llegada del microprocesador, permitieron en los años ochenta crear e introducir posteriormente y de forma masiva el modelo de Fabricación Integrada por Computador (CIM-*Computer Integrated Manufacturing*). Este modelo integra, bajo control de una red jerárquica de computadores, todos los niveles del proceso productivo, desde el diseño hasta la puesta en el mercado. Se crean nuevos métodos de organización de la producción, basados en el desarrollo del producto y el control automático del proceso: Diseño Asistido por Computador (CAD), Ingeniería Asistida por Computador (CAE), Planificación de la Producción Asistida por Computador (CAPP), Fabricación Asistida por Computador (CAM), etc.

Un factor clave de la introducción (total o parcial) de los sistemas CIM fue el desarrollo de la Robótica. Los robots de los años ochenta pasaron de ser meros manipuladores secuenciales a convertirse en máquinas reprogramables con un alto nivel de fiabilidad. Su alta flexibilidad y el abaratamiento de los costes permitieron su masiva introducción en la industria manufacturera. La mayoría de las tediosas operaciones de soldadura y pintura en la industria del automóvil fueron robotizadas. Otro factor importante fue la introducción del *autómata programable* (PLC-*Programmable Logic Computer*), computador de bajo coste y, aunque de limitada capacidad de cómputo, muy fácil de programar y muy adaptable al entorno industrial. Así mismo, la incorporación de microcontroladores de bajo coste permitió informatizar aún más la producción.

La creciente necesidad de las industrias más importantes, sobre todo la del automóvil, de abaratar costes crea, den-

tro del modelo CIM, metodologías de producción cada vez más óptimas. El concepto *Justo a Tiempo* (JIT-*Just in Time*) permite reducir drásticamente el coste de los productos y materias inmovilizados en los almacenes. La comunicación y la sincronización entre el fabricante y el proveedor son clave para que el suministro se produzca justo en el tiempo requerido. La logística también empieza a ser clave en la distribución, abaratando costes de transporte y almacenamiento. Por otro lado, la calidad del suministro es cada vez más importante, sobre todo después de la introducción del estándar ISO 9000 y similares.

Sin embargo, desde mediados de los años noventa se plantea la necesidad de conjugar varios conceptos que en la producción automatizada son contrapuestos: fabricación de muy pequeños lotes de productos con una calidad muy alta (característica que en muchas ocasiones prima sobre el precio), una alta flexibilidad y una rápida respuesta a las nuevas demandas del mercado. El equilibrio entre estas cuatro características permite actuar con cierta garantía en el cada vez más competitivo mercado manufacturero, dando paso a la *producción por encargo* (*customized production*), basada en la satisfacción de las necesidades del cliente. La globalización hace que los factores críticos sean el suministro rápido de un producto nuevo a bajo precio y con el nivel de calidad adaptado al cliente. En este tipo de organización productiva el tiempo que transcurre desde la idea del producto hasta su comercialización se acorta cada vez más.

La producción por encargo es posible, sobre todo, gracias a la introducción del concepto de *fabricación inteligente* y la incorporación de nuevas máquinas, conceptos y estructuras organizativas. En la fase de diseño del producto destacan la introducción de las técnicas de *prototipado rápido* y el uso de nuevos materiales (polímeros, metálicos aligerados, compuestos, fibras de carbono, etc.). La fase de fabricación se hace mucho más flexible debido a las nue-

vas máquinas automáticas (centros de mecanizado, máquinas-herramientas de alta velocidad y herramientas múltiples, almacenes selectivos, etc.) y robots de tercera generación que permiten una realimentación sensorial del entorno y un alto nivel de autonomía. Los sistemas de control están basados cada vez más en arquitectura PC, lo que abarata el hardware y simplifica la programación. Otro factor importante de la automatización industrial moderna son las comunicaciones basadas fundamentalmente en *buses de campo*, dispositivos inalámbricos y un uso masivo de Internet.

En la parte de organización de la producción destacan dos conceptos nuevos. Por un lado, la *fabricación «aligerada» (lean manufacturing)*, consistente en la eliminación de recursos (materiales y humanos), tareas y flujos de información que no mejoran sustancialmente la productividad de la fabricación. Se acude cada vez más a la subcontratación masiva de servicios (*outsourcing*) y a la modularización de las actividades. Este tipo de organización tiene una alta productividad pero peor adaptación a los cambios. Por otro lado, la *fabricación ágil (agile manufacturing)* permite que los procesos de diseño y fabricación sean rápidos y orientados al consumidor mediante: a) una automatización masiva de todos los niveles de la producción, y b) una organización distribuida de todos los procesos (incluido la logística). La estructura interna de la empresa se orienta más al proveedor que al producto. Los proveedores ahora tienen un único interlocutor con la empresa independientemente de los productos que vayan a adquirir. Este tipo de organización tiene peor productividad que el anterior, pero una alta adaptabilidad a los cambios.

Todos estos avances dan lugar a las Tecnologías de la Información Industrial (*Industrial IT*) que permiten integrar en tiempo real el diseño, el proceso productivo, el flujo de información y los sistemas de negocio colaborativo. Para ello, los sistemas deben ser modulares y fácilmente

conectables entre sí (*plug and produce*) para poder fabricar de forma ágil nuevos productos. De esta forma, cada planta de producción es tratada como si fuera un objeto dinámico unido al flujo de información de la empresa con el propósito de optimizar los costes y acercarse al cliente. La producción actual, y la empresa en su conjunto, se orientan cada vez más al cliente final y a sus necesidades.

5

APLICACIONES

Tradicionalmente las aplicaciones de la Robótica y la Automatización estaban centradas en los sectores manufactureros más desarrollados para la producción masiva: industria del automóvil, transformaciones metálicas, industria química, etc.; aunque en la última década el peso de la industria manufacturera ha ido bajando paulatinamente. Según los datos de la agencia europea *Eurostat* el peso de esta industria en la Unión Europea ha bajado de forma importante mientras el peso de los servicios ha crecido.

Por esta razón, en este documento vamos a distinguir dos grandes grupos de aplicaciones: aplicaciones tradicionales, centradas básicamente en la industria manufacturera, y aplicaciones innovadoras, cuya mayoría está centrada en el sector servicios, entendido éste de forma amplia y agrupando sectores no tradicionales. En este sentido no se debe confundir el término «innovador» con la innovación de la aplicación, que en el caso de las aplicaciones y sectores tradicionales también siguen innovándose. Es evidente también que las aplicaciones que se describen en este apartado se dan a modo de ejemplo sin la intención de abarcar todas ellas, dada la limitación de espacio.

5.1. APLICACIONES «TRADICIONALES» EN LOS SECTORES MANUFACTUREROS

Son numerosos los sectores que tradicionalmente han hecho uso masivo de la Robótica y la Automatización. El sector pionero en la robotización industrial ha sido, sin lugar a duda, el de automoción. La robótica industrial, tal y como la conocemos hoy en día, es fruto de las necesidades de las fábricas de automóvil. Otro sector importante, tradicionalmente unido al control de procesos continuos, es el sector químico. El desarrollo de las estrategias de control de complejos sistemas petroquímicos es la clave de muchos controladores existentes hoy día en el mercado. Las limitaciones de espacio de este documento no permiten analizar todos los sectores industriales que tradicionalmente han incorporado la automatización, aunque se pretende proporcionar una amplia panorámica de los mismos.

5.1.1. Industria de automoción

La Robótica y la Automatización ocupan un importante lugar en el sector automovilístico. De hecho, es el primer consumidor de robots y de sistemas de automatización. Es el sector de mayor nivel de automatización y robotización, y motor de la innovación en este campo. La automatización en este sector está orientada a maximizar la productividad, la calidad y la seguridad. A la vez, es el mejor ejemplo de sustitución de trabajos penosos y duros por otros de mejor calidad. La carga de herramientas pesadas y la permanencia en entornos peligrosos han sido sustituidas por trabajos de supervisión y mantenimiento. De hecho, es uno de los sectores con menor grado de siniestralidad.

En este sector se pueden distinguir dos grandes áreas de automatización: a) el diseño del producto (automóvil); b) el

proceso de fabricación de automóviles. En la primera área, las multinacionales del sector fijan el producto, realizándose el diseño en las casas matrices y no permitiendo ningún cambio sustancial, de manera que la automatización del producto es exclusividad de la marca. En la segunda área, el proceso de fabricación, se da más autonomía a los fabricantes. Este hecho, unido a que España es un destacado fabricante de automóviles, permite una mayor introducción de sistemas de automatización en la industria nacional de automoción.

5.1.1.1. *Producto*

En la última década los avances tecnológicos más relevantes se han introducido de forma muy importante en el automóvil. No solamente los sistemas de propulsión, los materiales y el diseño de las plataformas han sido sensiblemente mejorados, sino también muchos aspectos relacionados con el confort, las prestaciones y la seguridad. Por otro lado, el diseño y desarrollo del automóvil moderno han cambiado en los últimos años. Los grandes fabricantes han pasado de ser los que desarrollaban todo el automóvil a convertirse en integradores de subconjuntos. La globalización ha creado una red de proveedores que tienen la responsabilidad del desarrollo de los grandes subconjuntos: inyección, ABS, DSC, sistema de control de tracción, airbag, iluminación, etc.

Uno de los campos de mayor desarrollo e investigación es el de los sensores de nueva generación. El ejemplo más destacado es el de los acelerómetros (tipo MEMS) empleados en los airbags. Por otro lado, en los sistemas de frenado se están empezando a imponer los sensores *capacitivos* sin contacto, que permiten medir las características dinámicas de los discos y tambores de los frenos. También se instalan en los anillos de los pistones sensores de tamaño muy reducido para medir las emisiones en los inyectores.

res, con el objetivo de incrementar la eficacia y disminuir el ruido de los motores diésel. El control de las emisiones de estos motores, basado en sensores electroquímicos de polución, es otro de los innovadores campos de actuación. Las tarjetas de control activo también han sido introducidas recientemente por algunos grupos fabricantes. Un ejemplo es el control activo de la suspensión que se realiza mediante DSP específicos que controlan los servocilindros de la suspensión a través de sensores de desplazamiento. Cada rueda (y su correspondiente amortiguamiento) cuenta con una tarjeta de adquisición y control que se comunica con el dispositivo central, que actúa de forma independiente sobre cada suspensión para aumentar el confort en marcha. Con ello, la oscilación y el movimiento indeseado de la carrocería se reducen sustancialmente. Los coches de tracción trasera cuentan también con un sistema de control de la tracción (sobre todo en las curvas) que, a través de acelerómetros laterales, controla de forma automática tanto la frenada de cada rueda de forma independiente como la aceleración del motor. El sistema de tracción de cuatro ruedas también incluye el sistema de control de estabilidad. Por todo ello, la integración de los múltiples sensores con los controladores de frenado, aceleración, distancia, seguridad, motor, etc., es la clave del automóvil de esta década.

Con la masiva introducción de la electrónica en el automóvil, uno de los problemas principales es el cableado, pues supone un aumento bastante creciente de todos los hilos conductores de la electricidad tanto por su complejidad como por su peso, lo que lleva, cada vez más, a introducir *buses* de campo que disminuyen el cableado. La tendencia actual es introducir sistemas tipo *CAN-bus*, llegando a tener en algunos modelos de coches hasta seis *buses*. De la misma forma, se están eliminando las conexiones mecánicas de muchos de los dispositivos del automóvil. Ello ha dado lugar al concepto «*x-by-wire*», que implica la sustitución de un dispositivo mecánico «*x*» por una cone-

xión cableada. Por ejemplo, en el caso del «*brake-by-wire*» la conexión del sistema de frenado con el pedal de freno es solamente eléctrica.

La seguridad durante la conducción es la mayor preocupación de los fabricantes, pues de hecho casi todos están continuamente desarrollando productos que permitan evitar colisiones y desenlaces fatales. No se trata únicamente de sistemas pasivos como refuerzo de la carrocería, materiales absorbentes de energía o airbags, sino de sistemas activos. Las primeras versiones del sistema de control adaptativo de la conducción (*ACC-Adaptive Cruise Control*) se están empezando a introducir en algunas marcas. Los ACC comerciales están normalmente basados en láser. Permiten controlar las distancias frontales y laterales, con lo que en casos críticos el sistema empieza a frenar automáticamente. El sistema permite «ver» una distancia de hasta 150 metros sobre todo en cualquier condición climatólogica (niebla, lluvia, nieve).

La nueva generación de los ACC está llegando «casi» al control automático de la conducción en condiciones no excesivamente complejas. No se trata solo de conducir automáticamente el coche por carretera a velocidad constante siguiendo las rayas de delimitación de carriles y reconocer algunas señales (existen varias implementaciones de este tipo de sistemas), sino de conducir en condiciones más complejas como, por ejemplo, la conducción en ciudad. Varias compañías están desarrollando sistemas basados en radar (de ondas milimétricas) y cámaras estéreo, que permiten fusionar la información del entorno 3D. La incorporación de los ACC cooperativos (actualmente en la primera fase de desarrollo) permitirá en un futuro próximo comunicarse con otros coches y actuar de forma coordinada.

Los modernos sistemas de monitorización y ayuda al conductor son cada vez más demandados. Los tradicionales relojes del salpicadero han dado paso a sofisticadas pantallas que informan al conductor sobre el punto y lugar en

que se encuentra y cómo llegar al destino (GPS), cómo se está llevando a cabo el aparcamiento (sensores en los parachoques), cuál es el estado de los diferentes dispositivos (ruedas, puertas...), etc. Algunos fabricantes empiezan a introducir sistemas de aviso antisomnolencia o distracción, basados en cámaras que examinan continuamente la posición y el estado de los ojos del conductor.

La tendencia actual es integrar estas ayudas en el vehículo con los apoyos en la infraestructura (carretera, calles, puentes). Se pretende introducir marcas magnéticas y/o reflectantes, radiobalizas y otros dispositivos que transmitan al vehículo en circulación información sobre la carretera en sí, el estado del firme, su posición en la carretera, la situación de otros vehículos, etc. La automatización de las infraestructuras viarias es una de las áreas de negocio que más crecerá en las próximas décadas.

5.1.1.2. Proceso

En el proceso de fabricación de automóviles es en el que más se han volcado tradicionalmente los fabricantes de robots y automatismos. Alrededor del 25% de todos los robots instalados en el sector de automoción se dedica a la soldadura de carrocerías y diversas piezas, bien sea por puntos o por arco. Todos los elementos están coordinados y normalmente controlados desde el mismo armario de control del robot. El control de colisiones del robot permite prevenir los daños al vehículo y el control de la pinza de soldadura permite asegurar una soldadura de buena calidad. En muchos casos se realiza la identificación automática del peso de la pinza de soldadura para calcular con mayor exactitud las trayectorias espaciales del robot. El control de la presión de las pinzas es también una aplicación novedosa que permite mejorar la calidad de la soldadura. En el caso de la soldadura por arco, el seguimiento del surco de soldadura con sistemas de tipo láser o

visión también mejora sensiblemente la calidad de la operación.

Otra aplicación importante es el ensamblado de subconjuntos, tales como motores, lunas, depósitos, ruedas, embellecedores externos, etc. Se estima que por lo menos el 20% de todas las aplicaciones de ensamblado está robotizado en la industria del automóvil. No obstante, un mayor índice de robotización en muchos casos no es rentable, por lo que se adoptan sistemas altamente automatizados pero sin robots. La mayoría de estas aplicaciones necesita sensores de tipo fuerza (para insertar), visión (para reconocer) o tacto (para palpar).

La pintura de las carrocerías está totalmente robotizada en la mayoría de las factorías. En este caso, el control de la velocidad temporal de la trayectoria espacial y de la dirección de la aplicación del cono de pintura son de suma importancia para obtener una buena calidad en la aplicación de pintura. Por ejemplo, si la velocidad es menor de la programada, el exceso de pintura podría llevar a un acabado defectuoso. El ahorro de pintura es otro factor determinante que requiere un control continuo del flujo de la pistola. Esta aplicación es muy similar a otras: sellado de juntas y uniones, aplicación del pegamento para las lunas, corte de piezas de plástico y metálicas, bien sea por láser o por chorro de agua.

Por otro lado, las aplicaciones de transporte y manipulación también están robotizadas casi en su totalidad. Las aplicaciones más típicas son paletización de productos en almacenes y *buffers* (almacenes intermedios), y la alimentación de máquinas (prensas de chapa, máquinas-herramientas, autoclaves, etc.). En algunos casos, los robots deben detectar las fuerzas externas durante la operación y reaccionar en consecuencia para seguir las trayectorias programadas. Así mismo, pueden tener información sobre el entorno 3D en el que se realizan las operaciones para poder reaccionar ante variaciones y cambios del entorno.

La actual tendencia en producción es sustituir las máquinas especializadas por sistemas de propósito general, siendo en algunos casos robots industriales. Las comunicaciones y la integración entre elementos de producción y control fabril, tales como robots, PLC, PID y otros sistemas de control, son también muy importantes. Las demandas tecnológicas del sector son muy altas. De hecho, en España la mayoría de las empresas integradoras e ingenierías de propósito general están centradas en esta temática.

Una de las mayores preocupaciones actuales de los fabricantes es la calidad de sus productos. Para ello, aumentan los controles y las calibraciones de los subconjuntos, tendiendo al concepto de «cero defectos». Para la prueba de los vehículos, todos los fabricantes cuentan con bancos de pruebas, en los que hoy en día no sólo se verifican los motores, sino también otros dispositivos como los sistemas de frenado, dirección, seguridad interior y exterior, etc. En algunos casos, se verifican exhaustivamente los paneles de control, en concreto los dispositivos de iluminación del panel de mando, los medidores de consumo, los interruptores, el reloj y cuentakilómetros, la comunicación CAN-bus, etc.

Durante el proceso de lanzamiento de nuevos modelos, que se produce de media cada tres años, deben instalarse nuevas líneas de ensamblado con nuevos equipos y robots. El diseño de la planta (*lay-out*) requiere de nuevas herramientas software de planificación y simulación de los procesos. Algunas empresas realizan el estudio de la superficie de la planta a través de la simulación virtual, para lo que emplean un sistema de captación de las coordenadas de la planta mediante sistemas láser que permite obtener hasta 11 millones de puntos cartesianos en 90 segundos.

5.1.2. Industria química

La industria química es el exponente de la industria de control de procesos, cuyas variables físicas son casi to-

das continuas. Abarca sectores muy diversos, cada uno con sus propios procesos y sistemas de producción. Los sectores van desde el petroquímico hasta el cementero, pasando por la agroquímica, polímeros, farmaquímica y desalinización. No obstante, sea cual sea el sector, el proceso básicamente consiste en la manipulación de materias primas, la reacción química propiamente dicha, la separación primaria de los productos, la separación posterior de productos líquidos o sólidos y la purificación del producto final.

Debido al número tan alto de variables físicas que hay que controlar y supervisar en un proceso químico, los sistemas de control son distribuidos. Esto implica una arquitectura hardware en la que cada computador se encargue de adquirir, a través de sus sensores, la información necesaria para cerrar el bucle de control local y de comunicarse con otros computadores. En caso de que la topología sea descentralizada, los computadores locales se comunican con otros computadores «semejantes». Existen numerosas topologías de control descentralizado, en línea (*pipeline*), en anillo, en estrella, etc. En el extremo opuesto del concepto descentralizado se encuentra la topología de control jerárquica. En este caso existen varios niveles de computadores con funciones de «responsabilidad» creciente. El computador local se comunica con el de nivel superior que coordina varios computadores locales, que a su vez se comunica con otro de nivel superior, etc.

Cada controlador local maneja múltiples entradas y salidas, dando lugar a los sistemas multivariables MIMO (*Multiple Input & Multiple Output*). Otra peculiaridad importante del control de sistemas químicos es que los tiempos de muestreo son normalmente lentos y existen grandes retardos en las reacciones. Además los sistemas suelen variar sus parámetros durante los procesos, por lo que la necesidad de un control adaptativo frente a uno fijo se hace cada vez más necesaria. Para una buena gestión de este tipo de sistemas la actual tendencia es integrar la identifi-

cación de los parámetros de los procesos que hay que comprobar con el control en sí mismo.

La identificación de procesos puede realizarse con métodos *paramétricos*, en los que el orden del modelo se fija (mínimos cuadrados en sus múltiples variantes) o *no paramétricos* (método frecuenciales, temporales o de correlación), en los que el orden del sistema se adapta según el error de la identificación. En el caso de que el sistema cuente con ruidos en la entrada y/o salida y/o en la perturbación, los procesos se convierten en *estocásticos* y los sistemas deben configurarse mediante modelos ARX (*Auto Regressive with eXogenous input*), ARMA (*Auto Regressive Moving Average*) o ARMAX (variación de los anteriores). En este caso, la identificación se puede realizar con el método estocástico de mínimos cuadrados o con el método de la máxima verosimilitud. La mayoría de las herramientas de simulación, como el *Matlab*, cuentan con módulos de identificación de fácil uso e implementación. Una vez obtenidos los datos de las entradas, salidas, variables de estado, etc., éstos se introducen en los programas correspondientes (por ejemplo, *System Identification Toolbox*) y se elige el método de identificación deseado, que es el que proporcionará el modelo del sistema.

En la parte de control se suelen utilizar técnicas de control adaptativo. Éstas se pueden dividir en: a) control mediante modelo de referencia (*MRAC-Model Reference Adaptive Control*), en el que se pretende que la salida o los estados sigan el comportamiento de un modelo fijado a priori; b) control mediante reguladores autoajustables (*self-tuning*) en el que el control identifica la variación del modelo del sistema y en función de ello se ajustan automáticamente los parámetros del regulador; y c) mediante tabla de ganancia de los reguladores (*gain scheduling*) en el que están tabulados los valores de las variaciones de las variables o salida/entrada y los valores de los parámetros de los reguladores. En algunos de estos controles hace falta estimar, y en algunos casos predecir (a varios pasos), la

evolución de algunas variables que no pueden ser medibles o no son accesibles. Para ello, se implementan diversos observadores del orden necesario.

Ejemplos de utilización de los tipos de control descritos son las aplicaciones de: a) separación fraccional del petróleo pesado; b) control de pureza en la columna de destilación. En la primera aplicación, se utiliza un esquema de control descentralizado basado en PID autoajustables. El sistema es multivariable de dos dimensiones, el tiempo de muestreo del sistema es de 4 minutos y la identificación se realiza cada 175 minutos. El ruido en la salida se estima que es Gaussiano de varianza ≈ 3 . Los modelos ARX identificados son de orden 15 y sus parámetros se obtienen mediante la técnica OE (*Output Error*). Todo ello permite el ajuste en tiempo real de los reguladores. Las respuestas temporales y frecuenciales son de muy buena calidad, inclusive ante variaciones bruscas en el modelo del sistema. En la segunda aplicación, se trata de un sistema de destilación metanol etanol de 27 secciones, controlándose las temperaturas en los puntos 21 y 7. La columna presenta no linealidades en la medida de la temperatura de las secciones y acoplamiento entre variables, un tiempo de muestreo de 2 minutos y un tiempo de identificación de 762 minutos. El esquema de control es de tipo predictivo MPC (*Model Predictive Control*) con un horizonte de predicción de 100 pasos. Los modelos ARX identificados son de orden 4. El controlador empleado es de tipo realimentación de estado, presentando unas buenas respuestas y, sobre todo, un buen régimen permanente.

El diseño de reguladores seguros (robustos) es otro de los objetivos de los modernos sistemas de control de sistemas químicos. El objetivo principal es mantener las salidas y los estados del sistema en una banda de seguridad, asegurando siempre la estabilidad global. Para ello, se emplean complejas técnicas basadas en la respuesta frecuencial, como puede ser el método de H_{∞} , o en la respuesta temporal, como el criterio de *Liapunov*.

Uno de los aspectos más importantes en las instalaciones químicas es la seguridad. En este campo la automatización está jugando un papel fundamental. El estándar IEC 61508 (para fabricantes de equipos) y el IEC 61511, todavía en desarrollo (para usuarios finales e integradores), permiten detectar y, si es posible, corregir los fallos en los sistemas. Los parámetros que intervienen en la seguridad, sobre todo en los sistemas químicos, son los siguientes: uso de hardware fiable con autochequeos periódicos, posibilidad de exclusión de los sistemas de control de los elementos degradados, la reconfiguración automática de los sistemas y la redundancia en el control. En la mayoría de las plantas químicas los dispositivos de control (PC, PLC o tarjetas dedicadas) y la instrumentación están equipados con el sistema SIS (*Safety Instrumented System*) que cuenta con dos niveles básicos: a) tolerancia a fallo; b) seguridad ante fallo.

Una buena instrumentación de las plantas químicas es la base del buen funcionamiento de la misma. Entre los múltiples sensores que intervienen en el control de una planta química destacan los sensores de temperatura (termopares, termorresistencias, termistores, pirómetros), de presión (con membranas, galgas, piezoeléctricos), de nivel (ultrasonidos, capacitivos), de caudal (de presión diferencial, de impacto, caudalímetros electromagnéticos, medidores volumétricos, caudal másico) y lumínicos (fotodiodos, CCD). Debido a que el acceso a las muchas variables físicas que hay que medir no siempre es posible, se necesitan estimadores en línea que calculen, a partir de otras mediciones, el valor de las variables no accesibles. Por otro lado, se están desarrollando nuevos dispositivos que permiten realizar mediciones directas de las variables que hay que controlar en sitios poco accesibles. La utilización de la fibra óptica que se introduce en cristalizadores y fermentadores es la tendencia actual.

Las bombas y sus válvulas son elementos básicos en el control de las plantas químicas. En una planta media de pro-

ceso químico se encuentran miles de válvulas y bombas de control. Existen válvulas que trabajan por todo-nada, proporcionales y servoválvulas. Estas últimas son las más adecuadas para efectuar un control preciso de una instalación química o similar. La verificación y monitorización de éstas es uno de los objetivos para obtener una buena robustez de la planta.

5.1.3. Industria textil

La industria textil fue una de las primeras industrias que introdujo sistemas automatizados de producción. Se han ido aplicando todos los avances tecnológicos existentes en el mercado para conseguir que las máquinas sean más versátiles y más eficaces. El proceso de fabricación textil se inicia con el dibujo de los diferentes artículos que hay que producir (telas, alfombras, etc.). Estos dibujos son normalmente bocetos hechos a mano, que posteriormente se convierten en complejos esquemas donde se especifica el trabajo que cada elemento de tisaje debe realizar. Con esta información se generan los datos para las máquinas que son las que en último lugar fabricarán el producto.

En todo este proceso es muy importante automatizar al máximo el diseño, puesto que la fabricación cuenta ya con un alto nivel de automatización. Los actuales sistemas CAD orientados al diseño artístico manejan muy bien los colores, los aspectos, el acabado superficial y la representación 3D. Algunos sistemas CAD permiten simular y visualizar las prendas en 3D, pero debido a la gran variedad de tejidos, no se han podido unificar ni los sistemas ni los ficheros de intercambio de datos. Por otro lado, y a diferencia del sector de transformaciones metálicas, sólo algunos sistemas CAD ofrecen la posibilidad de generar automáticamente los programas para las máquinas textiles.

Otra área importante es el patronaje y corte. En este caso existen potentes sistemas CAD que permiten generar de

forma automática los patrones de las prendas, tallarlos y distribuirlos en las telas para minimizar la pérdida de material. Los fabricantes, algunos de ellos españoles, cuentan con potentes sistemas no sólo de patronaje, sino también de corte. Los plotters 2D de corte, que permiten cortar con cuchillas especiales varias telas a la vez, son de uso frecuente en la industria nacional. Los controles de estos equipos están basados directamente en controles numéricos. No obstante, el futuro está en el cosido de los patrones, operación totalmente manual hoy en día.

Desde el punto de vista de las máquinas, existen varios problemas abiertos. En primer lugar, la productividad que sigue siendo un problema clave. En el caso del tejido con dibujo, que se realiza mediante un sistema imán-bobina que permite seleccionar el color de los hilos y el paso de éstos para crear la malla del dibujo, se está investigando en acelerar el proceso. Otra problemática asociada a las máquinas es la sincronización de las velocidades de los diferentes rodillos de hilos. Para aumentar la calidad del tejido, la velocidad de todos los rodillos debe estar perfectamente sincronizada para aportar la misma cantidad de hilo en el mismo espacio de tiempo. Los variadores electrónicos de velocidad para los motores de los rodillos, que incorporan reguladores PID, permiten controlar las velocidades de forma precisa.

Una de las características más importantes es el control de la calidad. Una máquina textil puede producir defectos que no son detectables a priori. Por ello, en la empresa textil se tiende a verificar el 100% de la producción, tanto en tisaje como en tinte y acabado. Todas las tintas pasan por un control de color, incluida la aprobación del cliente. Los actuales equipos de colorimetría permiten medir con gran precisión las longitudes de onda de las fibras, lo que ha permitido fijar estándares. Mediante sistemas ópticos de infrarrojos o barreras láser se comprueban las roturas, que al ser detectadas devuelven esa información a la máquina para una rápida recuperación del hilo.

Desde el punto de vista de gestión de la fábrica y de la producción, se están empleando novedosas tendencias. La gestión de almacenes es una de las partes de este proceso. Se gestiona tanto la materia prima como el producto en crudo y el acabado mediante códigos de barras impresos en etiquetas de tela termoadhesivas con tintas especiales que persisten tras el proceso de tintado. De esta forma, se puede conseguir la trazabilidad de las diferentes piezas, es decir, saber en qué máquina fue tintada y tejida, y qué partida de hilo se utilizó para una pieza concreta.

La utilización de robots en la industria textil es muy limitada, centrándose casi exclusivamente en aplicaciones de paletizado y manipulado. Una de las aplicaciones robóticas más novedosas es el manipulado de telas para su posterior cosido automático. La principal dificultad está en desarrollar pinzas capaces de manipular telas. Existen prototipos de pinzas que generan un chorro de aire en una dirección determinada, levantando la tela para posteriormente cogerla. Este problema de manipular y colocar la tela en posición correcta es sumamente complejo. Para ello se hace uso de la inercia del movimiento del robot para dejarla caer y estirla de una forma determinada.

5.1.4. Industria cerámica

La industria cerámica es una industria bien establecida en nuestro país. El término «cerámica» es un genérico y se refiere a una amplia variedad de productos que pueden ser clasificados en tres grupos: a) cerámica fina (porcelana); b) cerámica convencional (gres); c) cerámica refractaria (ladrillos). España es uno de los líderes mundiales en la producción de azulejos, pavimentos cerámicos y gres. Según la Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos (ASCER), España ocupa el segundo puesto de productores de baldosas cerámicas en el mun-

do, estando concentrado el 75% de la producción en las empresas de la Comunidad Valenciana.

Las principales aplicaciones de la automatización de la producción en la industria cerámica (muchas veces también asociada a la industria del vidrio) se centran en la automatización de máquinas y procesos. Una de las áreas es el transporte y almacenamiento de piezas delicadas, para lo que se necesitan equipos de paletización termoventilados basados en robots de pórtico con ruedas, que permiten el llenado de las cajas, el etiquetado, la aplicación de flejes y el paletizado final.

La automatización de la maquinaria de producción es una de las áreas más tradicionales. Los equipos existentes cuentan con un buen nivel de autonomía, productividad y reprogramación. Los hornos de cocción de cerámica son uno de los equipos clave. Los desarrollos se centran en un buen circuito de refrigeración, un aislamiento integral del horno, la programación de la evolución temporal de la temperatura de cocción según el llenado del mismo, el tamaño y tipo de piezas, las arcillas, etc. Otro aspecto relacionado con los hornos es la optimización del consumo energético, sobre todo durante las etapas de cocción inicial donde se concentra la mayoría del consumo energético. En este caso, es necesaria una selección de las materias primas lo más uniforme posible. Para ello, se han desarrollado sistemas que añaden a la masa de arcilla sustancias de naturaleza orgánica que sirven para mejorar alguna característica del producto final y además contribuir a la cocción.

El control de calidad del gres es una de las áreas de mayor desarrollo en los últimos años. Los desarrollos han sido orientados a efectuar las operaciones de inspección y clasificación de baldosas de gres de forma automática. Estas operaciones son muy intensas en mano de obra y el control es muy subjetivo, ya que depende de la iluminación y de la percepción del operario. La técnica más utilizada es la visión artificial. Las claves en este tipo de operaciones

son: a) un buen sistema de iluminación que permita ver toda la superficie de la baldosa que es fuertemente brillante; b) un buen algoritmo de procesamiento de imágenes en línea, que permita identificar los defectos y comparar con los patrones previamente almacenados. Las características que se intentan medir son los posibles defectos, tanto en color como en forma, la clasificación de las tonalidades, la medición superficial de los dibujos, etc.

Una de las nuevas aplicaciones en el área de las cerámicas es la utilización de sistemas automáticos de obtención de información para arqueología. La tecnología utilizada es también visión artificial. Las piezas cerámicas encontradas deben ser documentadas y clasificadas. Para cumplir el primer objetivo éstas se escanean en color en 2D y se miden sus dimensiones con precisión. Para el segundo objetivo, el escaneo se realiza en 3D. Esta información es almacenada en un sistema CAD en donde las piezas se «unen» formando un conjunto. Así mismo, se pueden interpolar los «huecos» existentes en la cerámica y estimar el color original (mediante una base de datos de tiempos y tierras del yacimiento arqueológico) con el propósito de una restauración completa.

5.1.5. Otras industrias

Son numerosas las industrias que tradicionalmente han incorporado de forma masiva la Robótica y la Automatización. En este apartado nos limitaremos a analizar someramente algunas de ellas orientadas a los productos de consumo. Estas producciones están asociadas tradicionalmente con la automatización rígida, pero cada vez los sistemas son más flexibles. La producción está basada en células de fabricación flexibles (CFF) unidas entre sí por sistemas de transporte flexible que, de esta manera, forman los Sistemas de Fabricación Flexible (FMS). La coordinación, sincronización y gestión de estos sistemas se lleva a

cabo utilizando los planteamientos CIM descritos anteriormente.

Las típicas CFF en la industria electrónica son las de fabricación de las tarjetas de circuitos impresos; el ensamblado de componentes electrónicos o eléctricos (mediante robots cartesianos); la soldadura por ola, SMT selectiva u otro procedimiento de las tarjetas de circuitos impresos; prensas servocontroladas de inserción de conectores; el test de las tarjetas; etc. Para la carga/descarga y alimentación de componentes de este tipo de máquinas también se suelen utilizar robots, normalmente cartesianos suspendidos (tipo *gantry*). En el caso de producción de series cortas se suelen utilizar robots más sofisticados como los de ensamblado tipo *Scara*. Las diferentes CFF están unidas por un sistema de transporte de tipo cinta. Los circuitos impresos circulan en palés equipados con lectores de código que deciden el camino que se ha de seguir y los componentes que se deben ensamblar en las tarjetas.

La industria de transformaciones metálicas está estrechamente ligada al sector de máquina-herramienta, normalmente gobernada por controles CNC. La carga y descarga de estas máquinas se realiza por robots industriales que están sincronizados con éstas (mediante entradas/salidas). Los programas de control numérico, así como los programas de los robots, suelen generarse y cargarse automáticamente desde paquetes de diseño mecánico. La integración de estos dispositivos en una red local de comunicaciones es uno de los objetivos de la automatización en este sector. No obstante, este objetivo cuenta con numerosos problemas de implementación práctica, dado que los lenguajes de programación de los diversos dispositivos (máquinas, CNC, robots, PLC, *buses* de campo, etc.) son normalmente incompatibles.

La automatización de la industria de plásticos pasa por mejorar sus numerosos equipos. Las modernas máquinas de fabricación de piezas plásticas se pueden dividir en: fabricación de moldes (mediante máquinas de control numé-

rico a base de diseños 3D), granuladoras, secadoras (a base de aire caliente o seco), dosificadoras, máquinas de inyección de gran velocidad, moldeadoras de grandes piezas (en donde la evacuación del aire y la presión uniforme deben ser cuidadas para una buena calidad de las piezas), manipuladores para carga y descarga de máquinas (normalmente neumáticos), etc. La mayoría de estas máquinas están controladas por PLC que cierran varios bucles de control, entre los cuales se puede destacar control de temperatura basado en PID realimentados por termopares analógicos, control proporcional de la presión del sistema hidráulico y servocontrol de la compensación de la viscosidad del material plástico.

Otro sector tradicionalmente automatizado en algunas ramas es el de la siderurgia. El control de los trenes de laminado, tanto en caliente como en frío, es una de las aplicaciones más estudiadas. El control de los parámetros de las cajas de control (fundamentalmente velocidad y fuerza), la sincronización temporal de éstas, la calidad superficial de la chapa y el correcto enrollamiento de las bobinas se efectúa mediante controladores adaptativos, que últimamente se implementan con tecnologías digitales. Por otro lado, la correcta dosificación y el control distribuido de temperatura de los hornos de fundición es otra de las aplicaciones tradicionales.

5.2. APLICACIONES INNOVADORAS EN NUEVOS SECTORES

Tal y como se ha visto anteriormente, el sector fabril tradicional de producción de equipos (manufacturero) cuenta con un alto nivel de robotización y automatización, estando en algunos casos cerca de la saturación. No obstante, existen numerosos sectores productivos, con un peso muy importante en la economía de los países industrializados, que tienen un nivel de automatización muy bajo o prácti-

camente nulo. Sectores como la construcción, alimentación, agricultura, medicina y otros ofrecen enormes posibilidades de expansión. La Robótica y la Automatización ofrecen a estos sectores un excelente compromiso entre productividad y flexibilidad, una calidad uniforme de los productos, una sistematización de los procesos y la posibilidad de supervisar y/o controlar las plantas según diferentes parámetros. Un campo emergente de aplicaciones de la Robótica y la Automatización es el sector de servicios. El aumento de la calidad de vida en los hogares, el cuidado de las personas mayores y niños, la educación y el entretenimiento, el control de la calidad de las infraestructuras y muchas otras aplicaciones son de suma importancia en la sociedad moderna. Con el aumento del tiempo dedicado al descanso y recreo, el sector servicios es cada vez más demandado y emplea un volumen importante de mano de obra, en muchos casos muy especializada. Por razones de espacio, la aplicación medioambiental no cuenta con un apartado independiente, sino que está integrado en diversas aplicaciones.

5.2.1. Servicios

Según la definición del Comité Técnico de Robots de Servicios del Instituto Americano IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), «los robots de servicios son aquellos que de forma semiautomática o totalmente automática realizan servicios en beneficio de los humanos o para el mantenimiento de infraestructuras y equipos, excluidas las operaciones de fabricación». De esta forma, este tipo de robots pueden ser clasificados como *robots de servicios personales* (asistentes, cuidadores, educadores, etc.) o como *robots de servicios a infraestructuras* (limpieza, mantenimiento, inspección, etc.).

Sin caer en el tópico de «La Guerra de la Galaxias», se puede afirmar que las características más importantes de los robots de servicios deben ser:

- *Movilidad.* Permite al robot moverse libremente en el entorno común, emulando el comportamiento de los humanos. Para ello el robot debe estar provisto de un sistema de propulsión basado en ruedas, orugas, patas, etcétera, o una combinación de éstas.
- *Manipulabilidad.* La capacidad de manipular diestramente objetos y piezas en entornos comunes es de gran importancia. Esta habilidad debe incluir operaciones tales como coger objetos complejos, abrir y cerrar puertas, apoyarse, balancearse, etc.
- *Percepción.* Deben estar provistos de un potente sistema sensorial, que interprete en lo posible el entorno de los humanos. La obtención de la información visual, espacial, táctil, de fuerza, etc., debe producirse de forma rápida y precisa.
- *Inteligencia.* Los robots de servicio deben estar provistos de un índice de inteligencia superior al de los actuales robots industriales. Su comportamiento debe estar basado en habilidades de todo tipo: motrices, afectivas, autoaprendizaje, etc. La toma de decisiones en línea, el control por impulsos (reactivo) y la planificación son partes indispensables.
- *Interfase amigable.* La interacción con el robot y su programación deben ser muy amigables a través de interfaces gráficas o por voz. Deben ser excluidos todos los tecnicismos posibles, con el objeto de convertir al robot en un dispositivo común y, si es posible, gobernado a distancia de forma sencilla e intuitiva mediante voz o gestos.
- *Relativamente bajo coste.* El éxito de los robots personales depende de su precio. Su uso debe permitir mejorar sustancialmente el nivel de vida de los ciudadanos. Pero estas prestaciones deben ser a un coste asequible: en el caso de robots de asistencia personal, el coste debe ser comparable a un electrodoméstico caro, mientras en el caso de un robot de mantenimiento de infraestructuras, debe ser del orden de un coche barato.

Según previsiones de la ONU, en las dos próximas décadas, en los países occidentales se duplicará el número de personas mayores de ochenta años y el número de pensionistas aumentará un 50%. Por ello serán muy importantes los robots de asistencia personal en el hogar. Su aplicación principal es la de acompañar a las personas de avanzada edad o con ligeros problemas de movilidad, mejorando su condición de vida dentro de la casa. El robot ofrece una comunicación multimedia con el usuario, controla los electrodomésticos de la casa, lleva el plan de compras, lavados, reparaciones y visitas, y sirve de guía en la casa. En la actualidad existen pocos productos comerciales que puedan realizar estas operaciones, teniendo la mayoría de ellos un aspecto de un robot móvil con una consola embarcada.

Respecto al cuidado de personas discapacitadas, ya sea por dificultades de movilidad o por problemas mentales, han sido realizados numerosos robots asistenciales. Uno de los más conocidos es un manipulador situado sobre una plataforma con ruedas, que permite al paciente realizar sencillas operaciones, tales como comer, afeitarse y maquillarse. Una simple interfase mediante un *joy-stick* hace muy cómoda la interacción paciente-robot. Existen soluciones más avanzadas consistentes en una silla de ruedas servocontrolada desde un computador instalado en ella y un brazo muy ligero de 6 GDL. La combinación de la silla de ruedas y el manipulador dota al paciente de una gran movilidad y le permite realizar tareas simples casi en cualquier punto de la casa (abrir la puerta, dar de comer a los peces, limpiarse los dientes, etc.).

Un paso más hacia la asistencia autónoma de personas mayores o discapacitadas lo constituyen los robots denominados «híbridos», en los que el manipulador no solamente puede moverse conjuntamente con la silla de ruedas, sino también por el entorno doméstico de forma independiente, escalando por las paredes y techos. De esta forma, podrá incluso hacer recados para el discapacitado:

traerle el libro o las gafas, apagar el microondas, etc. La interfase con el usuario a través del *joy-stick* puede realizarse por voz o por movimiento de cabeza. Con ayuda de estos robots las personas discapacitadas podrán ser mucho más autónomas las veinticuatro horas del día sin necesidad de un excesivo coste de personal asistencial y con una mayor intimidad.

En entornos interiores más grandes, como por ejemplo hospitales, se necesitan robots móviles que transporten medicamentos, correspondencia, instrumental, etc. Los primeros robots de este tipo se introdujeron en Norteamérica en la época de los años noventa. Consiste en un robot móvil que se desliza por pasillos de hospitales con la capacidad de abrir las puertas de las habitaciones. Además, está sincronizado con el ascensor, pudiendo, de esta forma, subir y bajar de planta. Se usa también para distribuir medicamentos en las habitaciones de los pacientes.

Uno de los campos de aplicación con mayor potencial de crecimiento en el sector de robots de servicios personales es el de la educación y el del entretenimiento. El interés en estas aplicaciones es tan grande que ha dado lugar a un nuevo término anglosajón: *edutainment*. Sus aplicaciones potenciales son enormes: cuidado y vigilancia de niños, revisión de deberes escolares, juegos educativos, consultas didácticas, juego con «mascotas», etc. En este último caso, la movilidad del robot no es lo más decisivo, pero sí su aspecto y realismo de actuación. Ejemplo destacado de este tipo de robots son las diferentes mascotas: perros, gatos, loros, focas. Sus ventas han sobrepasado todas las expectativas, como es el caso del perro AIBO de Sony, del que se han vendido miles de unidades en los dos últimos años. Los modelos más recientes cuentan con sistemas de reconocimiento de voz, caras y signos, y tienen comportamiento emocional (tristeza, euforia, etc.).

En el apartado de robots de servicios a infraestructuras y equipos, la aplicación de limpieza es una de las más demandadas. La limpieza de grandes superficies interiores

(hipermercados, metro, aeropuertos, ferias) se efectúa con robots móviles autónomos equipados con las herramientas de limpieza necesarias y con el mapa del local. Normalmente por razones de seguridad la limpieza se efectúa cuando el establecimiento está cerrado y vacío. No obstante, algunos robots funcionan en entornos con personas por lo que requieren unas medidas de seguridad muy altas. Un ejemplo de este tipo de robots son los robots móviles recientemente introducidos en Alemania en algunas cadenas de supermercados. Para su funcionamiento lo único que necesitan es realizar un *tour* para aprender el mapa de la superficie. En el caso de limpieza doméstica varias empresas están desarrollando aspiradoras inteligentes autónomas que detectan automáticamente (vía cámara de visión y sensores específicos) el polvo y la suciedad, moviéndose en esa dirección para su limpieza. Es el concepto de «olvídense de la limpieza». Una aplicación similar es el guiado en museos mediante robots móviles. En este caso, el robot debe acercarse con bastante precisión a los cuadros y esculturas, y estar seguro de que los visitantes le sigan. Para ello los robots están equipados con sensores de infrarrojos, ultrasonidos y parachoques mecánicos.

En el caso de limpieza de grandes superficies de gran valor añadido, es obligado citar los ejemplos de los robots de limpieza exterior de los aviones. Con su ayuda el tiempo de limpieza se reduce a la mitad. Uno de estos robots es de más de 15 metros de alcance y tiene 11 GDL, integrando sensores de localización 3D, sensores táctiles, modelado 3D de superficies y pregeneración automática de trayectorias. Sin embargo, dado que el precio del robot es muy elevado, sus ventas son muy limitadas. Otra alternativa para el mismo problema ha sido desarrollada por algunas compañías aéreas. En este caso se han empleado múltiples robots manipuladores convencionales situados en raíles móviles, que permiten la limpieza de un *Boeing 747* en un tiempo inferior a cuatro horas.

El sector servicios, tanto personal como colectivo, es una de las áreas de aplicación más novedosa. Se estima que en los próximos diez años el sector pueda requerir necesidades en robótica con un volumen de negocio comparable con el del sector industrial.

5.2.2. Industria de la construcción

La industria de la construcción representa un importante papel en la economía de los países industrializados. El nivel de empleo de esta industria es altísimo, con una tasa de ocupación de 2,7 millones de personas en la UE. No obstante, el nivel de automatización sigue siendo uno de los más bajos entre los sectores productivos. La automatización llega fundamentalmente a algunas máquinas, siendo todo el proceso muy convencional y manual.

En la última década se han hecho importantes esfuerzos, sobre todo en Japón, para elevar el nivel de automatización de la industria de la construcción. Se pretende acercar la construcción a la industria manufacturera, sobre todo a la del automóvil. La idea fundamental es tratar las obras, sobre todo los edificios, no como singulares, sino como elementos fabricados (o prefabricados) en serie. En este sentido, los desarrollos actuales están encaminados a la integración de todos los actores que participan en la construcción: arquitectos, estructuralistas, interioristas, empresas constructoras, suministradores, empresas de transporte, etc.

Se puede decir que los esfuerzos de modernización de los últimos años han estado centrados fundamentalmente en dos campos: obra civil y edificación. Por lo que respecta a la obra civil destaca la automatización de la construcción de carreteras, túneles, puentes, movimiento de tierras, etc. En la construcción de carreteras en los últimos años se ha alcanzado un alto nivel de automatización. Las apisonadoras y asfaltadoras están gobernadas por GPS y sensores

de densidad y compactación, lo que les permite efectuar las operaciones con una gran precisión. De hecho, estas máquinas se convierten en robots móviles autónomos con guiado sensorial.

Otras aplicaciones de gran importancia en la ingeniería civil son la construcción de túneles y puentes. El guiado automático de las tuneladoras (mediante láser y giróscopos), el manipulado y ensamblado robotizado de los revestimientos interiores del túnel, y la proyección de cemento con brazos robotizados son unas de las posibles aplicaciones de construcción de túneles. El posicionamiento automático de los segmentos de los puentes, el control correcto del posicionamiento vertical de los pilares, los robots de proyección de cemento o asfalto de grandes dimensiones (tipo *Scara*) son otras de las posibles aplicaciones.

A la automatización de las máquinas de movimiento de tierras se le está prestando cada vez más atención. Las modernas excavadoras tienen cada vez más sistemas automáticos y de asistencia. Mediante el control cinemático y dinámico de las mismas, con realimentación de sensores de fuerza en los cilindros de las articulaciones, se puede realizar una excavación automática o asistida. En este tipo de control tiene una gran importancia el modelado correcto del suelo, tanto desde el punto de vista geométrico como de textura y densidad. Los actuales sensores tipo LADAR (Láser Radar) permiten realizar modelos 3D de gran precisión con medidas de hasta 50.000 puntos a distancias de hasta 1.000 metros. El control automático de fuerza y su monitorización en dragadoras de gran tamaño (de hasta 100 metros) también ha mejorado sustancialmente la calidad de la excavación y su productividad. El guiado de flotas de grandes camiones y de *bulldozers* que se encargan de transportar la tierra removida mediante guiado automático basado en GPS, es una de las aplicaciones que está en fase de implementación masiva.

Otra aplicación interesante relacionada con la construcción y el mantenimiento de grandes infraestructuras es la

de inspección de las mismas. La inspección de puentes de estructura metálica u hormigón puede ser realizada con robots, algunos de ellos fabricados en España. Son robots escaladores de 6 ó 5 GDL con estructura simétrica y con una movilidad por el puente tipo oruga, encogiendo y estirando el cuerpo. De esta manera, el robot recorre toda la superficie enviando a «tierra» la información que adquiere mediante los sensores instalados en él: visión y láser. Alguno de estos robots permite analizar y clasificar las muestras de los puentes de hormigón, con el fin de poder efectuar un rápido y seguro control de calidad; otros robots escaladores pueden inspeccionar la superficie de los tanques de almacenamiento de líquido, las superficies de los reactores nucleares u otras estructuras similares.

Otro gran campo de aplicaciones es la edificación. El impulso definitivo a la automatización de este sector lo dio el proyecto japonés SMART de la empresa Shimizu. Se trata de una factoría automatizada cubierta, situada en la última planta del edificio, que cuenta con grúas robotizadas para el transporte y ensamblado de pilares y vigas de estructura metálica, con robots de soldadura y de reparto y compactación del cemento de los forjados. Una vez terminada la construcción de la planta, toda la factoría se eleva y se continúa con la construcción de la siguiente. Este sistema, que hoy ha sido adoptado y modificado por numerosas empresas, permite reducir sustancialmente el tiempo de la construcción, sobre todo en edificios de cierta altura tipo oficinas.

Para edificios residenciales de menor altura, construidos normalmente con ladrillos, bloques o piezas prefabricadas, han sido desarrollados varios robots de ensamblado. Estos robots pueden construir paredes de bloques silicocalcáreos de hasta 500 kilos de peso. Las dimensiones de los robots, de hasta 10 metros de largo, permiten que se puedan construir paredes de gran tamaño y altura, sobre todo para naves industriales. La mayoría de estos robots cuentan con una flexión estructural importante, lo que hace di-

fcil que puedan tener un buen posicionamiento. Para corregir este error algunos robots cuentan con sensores que miden las deformaciones en los eslabones (galgas extensiométricas) o con un sistema externo (láser telémetro con autoseguimiento del extremo-*autotracking*) que permite medir la flecha en el extremo. Otro aspecto importante de este tipo de robots es la programación y la interfase hombre-máquina, que debe ser lo más sencilla posible.

Para los acabados interiores de las casas se utilizan robots de menores dimensiones, la inmensa mayoría de ellos teleoperadores. Estos robots suelen ser manipuladores móviles que permiten realizar la mayoría de las operaciones de acabado: colocación desde dentro de paneles exteriores de la fachada, de paneles separadores interiores y de paneles de falso techo; de pintura, de proyección de la protección ignífuga (sobre todo en los edificios de estructura metálica), etc. Una de las aplicaciones más demandadas es la colocación y compactación de los forjados de cemento. Numerosas compañías japonesas disponen de robots móviles que compactan, teniendo en cuenta el mapa de la planta. La colocación de muros interiores de ladrillos es otra aplicación interesante.

La automatización en la construcción pasa por la necesidad de estandarización. En este sentido la prefabricación juega un papel muy importante. La construcción de edificios modulares de alta calidad y bajo coste es uno de los objetivos prioritarios de la investigación en este campo. Por razones de transportabilidad, la mayoría de los sistemas existentes de prefabricación son de estructura de acero ligero con recubrimiento de madera, paneles de material compuesto o cemento ligero. Varias empresas europeas ofrecen sistemas que permiten construir viviendas unifamiliares en solo unos días. El diseño de la vivienda es elegido por el cliente y los módulos son fabricados por encargo, por lo que se consigue una gran flexibilidad de formas. Para la construcción de oficinas y viviendas de pisos se utilizan bloques estructuralmente más resistentes. Uno

de los ejemplos más destacados es un edificio de apartamentos de cinco plantas en Londres. Los 35 apartamentos y las zonas comunes están formados por bloques tipo contenedor de 8 x 2,2 metros. El proceso de colocación de todos los módulos se realizó sólo en cinco días.

La construcción modular implica una fuerte automatización de las factorías de pre-fabricados donde se hacen los módulos. Las compañías japonesas son líderes en esta tecnología. Ofrecen sistemas que permiten elegir el acabado exterior (ladrillo, piedra, madera) e interior (color de pintura, alicatado, suelo), al igual que los elementos interiores (sanitarios, alumbrado, muebles) que ya vienen montados de fábrica. Pero la prefabricación no sólo se centra en módulos 3D, sino también en paneles 2D. Algunos fabricantes españoles fabrican de forma automática distintos tipos de paneles, sobre todo de hormigón y GRC (*Glass Reinforced Concrete*). La producción de paneles de gran tamaño (de hasta 6 x 3 metros) de forma flexible, variando la geometría y, si hace falta, el material en cada nuevo panel, se efectúa mediante proyección robotizada.

La incorporación de sensores inteligentes (*smart sensors*) embebidos en la estructura de los edificios permitirá monitorizar el edificio con vistas a detectar anomalías, efectuar mantenimientos periódicos y mejorar la calidad de vida. Estos sensores podrán adquirir información estructural del edificio (deformación, humedad, etc.), orientada sobre todo a la seguridad de las personas que lo habitan, así como información relacionada con el confort, consumo, satisfacción con el producto, etc.

5.2.3. Domótica

El término domótica (del latín *domus* y de *informática*) fue introducido a principios de los años ochenta y define el concepto de vivienda que integra todos los automatismos en materia de seguridad, confort, ahorro energético, co-

municaciones, etc. La domótica es sinónimo de automatización de la vivienda (*home automation*), casa inteligente o casa bioclimática. En los países de la UE, incluida España, se han desarrollado numerosas experiencias y casas piloto (*Green House, Smart House*) que permiten la experimentación en este campo.

Teniendo en cuenta el grado de confort, este tipo de casas permiten un control continuo de la temperatura ambiental en cada habitación según las preferencias de los habitantes; control de la humedad; control de la intensidad de la iluminación según habitaciones, horas del día, tipo de actividad en las habitaciones, número de personas, etc.; control de la temperatura del agua caliente y fría según las preferencias y necesidades de los habitantes, etc. Otra forma del confort es contar con electrodomésticos «inteligentes» que permitan al inquilino olvidarse de muchas de las tareas domésticas: lavadoras que se ponen en marcha de forma automática al estar llenas, frigoríficos que controlan la fecha de caducidad, despensas que avisan de los niveles críticos de *stock*, etc.

La seguridad es otra de las características importantes de la domótica. Podemos destacar tres niveles de seguridad: 1) seguridad de los bienes, que controla selectivamente las diferentes zonas de la casa según la presencia de personas; 2) seguridad de las personas, especialmente las mayores, que con un simple gesto o postura pueden conectar de forma automática con los sistemas de seguridad ciudadana o enfermería; 3) seguridad ante incidencias y averías, que permite mediante sensores embebidos detectar humo, fuego, inundaciones e, inclusive, el mal funcionamiento del propio sistema domótico que finalmente conecta de forma automática con los correspondientes servicios.

El ahorro energético es muy importante y constituye una de las mayores fuentes de posible ahorro doméstico. Normalmente se divide en dos subsistemas: ahorro eléctrico y ahorro de calefacción/aire acondicionado. El primer caso se describe en el apartado 5.2.11. Respecto al ahorro de la

calefacción/aire acondicionado existen varias estrategias. Una de ellas es controlar la calefacción de forma individual en cada habitación, modelando la casa como un sistema multivariable y muy bien acoplado. Además, se controlan las persianas, generando sistemas de control de sombras según la orientación. Otra estrategia es desarrollar casas bioclimáticas, cuyo diseño crea capas de aislamiento exterior a base de bolsas de aire entre la fachada y el exterior. Estos diseños utilizan de forma natural espacios interiores del edificio (huecos del ascensor, escaleras) para que el aire circule de forma adecuada permitiendo calentar/enfriar todo el edificio. Además, permiten captar y almacenar la energía solar utilizándola durante las horas con tarifas eléctricas más caras. Por supuesto, en el diseño se utilizan materiales con bajo coeficiente térmico.

Todo ello es posible si la vivienda cuenta con un potente sistema sensorial, una adecuada arquitectura informática de control y unas potentes comunicaciones. Los diferentes sensores (temperatura, luminosidad, presencia, identificación) permiten que el confort, la seguridad y el ahorro energético sean posibles. Se deben utilizar sensores de bajo coste y, si es posible, embebidos en la estructura o en los aparatos (electrodomésticos, calderas, etc.). Las arquitecturas hardware pueden ser centralizadas o distribuidas, tendiéndose en la actualidad a estas últimas, aunque se sigue contando con un sistema central de gestión. Como características importantes destacan la monitorización y el acceso a todos los lugares de la casa, la comunicación remota a través de módem o teléfono móvil, la telepresencia a través de *web-cam*, el control remoto, el acceso a Internet, etc. El hardware consta de pequeños concentradores de señales y tarjetas dedicadas, llegando en algunos casos a nanoPLC. Todo ello puede estar sincronizado con el PC doméstico a través de la agenda (vacaciones, cenas, cumpleaños). Es importante contar con una interfase hombre-máquina amigable y fácil de usar, tipo mando a distancia, PDA o similar.

Las comunicaciones domésticas son otro de los aspectos importantes. Básicamente existen dos posibilidades: usar la propia red eléctrica o las comunicaciones inalámbricas. Existen varios estándares de comunicación por la red eléctrica que permiten una comunicación serie de hasta 2.400 baudios. Respecto a las comunicaciones inalámbricas, en auge actualmente, la principal característica es que puedan ser empleadas en cualquier rincón de la casa. Tecnologías tipo *bluetooth* o IEEE-802.11b son las más adecuadas.

El reciclado de basuras y desechos domésticos es uno de los problemas medioambientales más serios que tiene una comunidad sostenible. El reciclado del agua se efectúa mediante sistemas de separación y filtrado de las diversas líneas (normal, sucia, residual, fecal) o bien mediante tratamientos biológicos o físico-químicos, con objeto de minimizar vertidos. Respecto a la basura, las estrategias se centran, por un lado, en la clasificación de la misma y su posterior reciclado y, por otro, en el desarrollo de trituradoras selectivas de basura domésticas. Desde el punto de vista de la comunidad de viviendas sostenible, se están desarrollando camiones de recogida de basuras que durante el transporte efectúan de forma automática la clasificación de la basura en su interior.

Entre las empresas interesadas en el desarrollo de productos domóticos están principalmente las empresas de informática y electrodomésticos, así como empresas de seguridad. Este mismo interés muestran las empresas de generación y transporte de energía eléctrica. No se quedan atrás las empresas constructoras que están interesadas en incorporar en la estructura de los edificios la mayoría de los subsistemas para poder darle a la vivienda un mayor valor añadido.

5.2.4. Agricultura

La agricultura tiene en general un aceptable nivel de automatización, sobre todo en lo relacionado a los cultivos de

grano. Se usan masivamente tractores, cosechadoras, trailers de transporte, etc. No obstante, el nivel de automatización es bajo en cultivos de frutas y verduras al aire libre o en invernaderos. En estas aplicaciones la mayoría de las operaciones necesitan el uso masivo de mano de obra. Atendiendo a este análisis, podemos dividir de forma general las aplicaciones de automatización en el sector en tres grandes grupos: 1) siembra de cultivos; 2) gestión de riegos y, en general, control de las condiciones de desarrollo de los cultivos; 3) recolección de frutas y verduras. De la precisa siembra de semillas depende el rendimiento de cultivos. Por ello, no basta con un sistema de siembra aparentemente uniforme, que lo único que controla es la velocidad de vertido de las semillas. Las modernas máquinas permiten obtener una siembra uniforme en toda la parcela mediante varios sistemas de control: el control de la velocidad de la máquina, el sistema GPS para el control preciso de la posición de la máquina en la parcela, el control del flujo de deposición de las semillas y el control de la distribución uniforme de las semillas al penetrar en la tierra. Todos estos sistemas deben ser de gran robustez y funcionar correctamente en condiciones de extrema vibración de la máquina al transitar por el terreno. Este tipo de máquinas han sido probadas en Bélgica, Alemania y Holanda en parcelas de entre 2.000 m² y 6 hectáreas, cometiendo un error máximo en la distribución uniforme de semillas de 1,8%.

El control eficiente del riego permite un rápido y armónico crecimiento de los cultivos. Pero no sólo permite maximizar el rendimiento de la cosecha, sino también ahorrar agua, que en países como España es muy escasa. La peculiaridad de nuestro país que, en general, cuenta con numerosas parcelas con superficie mediana, requiere de soluciones que permitan controlar y supervisar el riego según las normas establecidas por las Comunidades de Regantes. Además, al tratarse de numerosos usuarios pequeños y medios, el coste del sistema debe ser asequible. Para ellos, es

necesario, por un lado, implementar una red de comunicaciones barata y a muy larga distancia (hasta decenas de kilómetros) y, por otro, unos eficaces actuadores y sistemas de medición. Adicionalmente, la red de comunicaciones debe servir de red de alimentación a los actuadores y sensores o bien utilizar, por ejemplo, energía solar para alimentar los diferentes sectores de riego. Un sistema de este tipo permite controlar, mediante PLC, un área de 1.500 hectáreas con 1.650 puntos de riego distribuidos en siete sectores independientes.

Pero el riego es solamente una de las características que hay que tener en cuenta. El control del abono y de la fumigación son otros factores importantes. Debido a las plagas de insectos y diversas infecciones, se necesita una monitorización continua de los cultivos y una actuación acorde. La fumigación uniforme, varias veces durante el ciclo de crecimiento, es una de las técnicas habituales. No obstante, el uso excesivo de pesticida es perjudicial y produce el efecto contrario, pues las plantas dejan de crecer y están demasiado contaminadas. Para resolver este problema, en Japón han empezado un amplio programa de investigación orientado a la fumigación selectiva. Está basado en sistemas ópticos (cámaras) montadas en los vehículos de fumigación que en tiempo real clasifican las plantas según su altura y color, y deciden la cantidad y el tipo de pesticida que se necesita. El control que decide la actuación del pesticida está basado en algoritmos genéticos y en redes neuronales. De una forma similar, pero con otros sensores, se realiza el control de la temperatura y humedad de los invernaderos, así como el sistema de riego gota a gota selectivo. En los invernaderos de flores en Holanda también se controla la iluminación para optimizar el crecimiento y consumo de energía eléctrica.

En el caso de fumigación y control del crecimiento de las plantas en invernaderos se pueden utilizar robots móviles. El entorno es muy estructurado y por tanto apto para este tipo de robots. El robot cuenta con el plano del invernade-

ro e incorpora varios sensores (cámaras de visión y sensores de ultrasonidos) para una navegación topológica mediante marcas naturales (por ejemplo, columnas pintadas de un color determinado). Para examinar las condiciones de crecimiento de las plantas y detectar la necesidad de fumigación, se estira un brazo telescópico que permite efectuar la operación.

Los procesos de sembrado, riego, abonado, fumigación y recolección pueden estar coordinados mediante un sistema centralizado. Las diferentes máquinas que intervienen pueden estar equipadas con diversos sensores y sistemas GPS que les permitan generar amplios mapas de estado de las plantaciones durante todo el ciclo de la cosecha. De esta forma, se pueden realimentar las diferentes variables del proceso según las horas del día, el tiempo y la predicción de éste e, incluso, en función de los precios de mercado de los productos. Además, se pueden construir modelos mucho más complejos que los de tipo todo/nada: si la humedad está por debajo del umbral, regar. Si se analiza la composición de la tierra en cada punto, la orientación solar de las plantas, la velocidad y dirección del viento, etc., se puede actuar selectivamente sobre la plantación para obtener la mejor cosecha posible y de calidad uniforme.

La recolección de frutas y verduras es el segundo gran grupo de aplicaciones. Se pueden distinguir la recolección al aire libre, donde el entorno es menos estructurado, y en invernaderos, donde el entorno es muy estructurado. En el primer caso, fueron varios los proyectos desarrollados en las dos últimas décadas, fundamentalmente robots de recolección automática de cítricos. La plantación debía estar adaptada al ancho del minicamión que portaba un brazo con un sistema de visión artificial, que incorporaba un filtro de color naranja para la localización y posterior manipulado de la fruta. Se detectaron varios problemas: en primer lugar, solamente un porcentaje pequeño de frutos es visible desde el exterior, por lo que el rendimiento de estos sistemas es bajo; por otro lado, el corte de la naranja se

realizaba a tirones (mediante un sistema neumático) lo que estropeaba las ramas y movía en exceso el árbol, cambiando todas las referencias. Un sistema más avanzado de corte incluye una tijera específica que minimiza el efecto negativo de la recolección automática sobre el árbol.

La recolección de cereales totalmente automática es también una de las áreas de aplicación de la robótica. Las cosechadoras modernas están dotadas de sistemas de navegación automática en las parcelas y guiadas por GPS. Como sistema de ayuda cuentan con un telémetro láser con autoseguimiento, que también guía a la máquina en distancias de hasta 500 metros. Las primeras pruebas en Japón dieron como resultado que un área de 50 x 100 metros fue completada en dos horas y quince minutos con una velocidad media de 0,45 metros por segundo. La precisión de posicionamiento de la cosechadora durante las pasadas pruebas fue extremadamente alta, por debajo de los 15 centímetros.

5.2.5. Industria de alimentación

La industria de alimentación emplea una cantidad importante de mano de obra en operaciones bastante repetitivas. Una de las características más destacables de la automatización de procesos discretos en la industria de alimentación es su gran velocidad de operación. Según la Federación de Industrias de Alimentación y Bebidas (FIAB), mientras el típico ciclo de operación en la industria del automóvil es del orden de 45-90 segundos, en la industria de alimentación este ciclo es de solamente 1-10 segundos. Este hecho hace que, en general, la industria de alimentación use sistemas de automatización rígida (máquinas embotelladoras, sistemas de clasificación fija, etc.), donde la productividad es muy alta. Sin embargo, estos sistemas tienen una pobre adaptación a la cada día más creciente demanda de cambios rápidos de productos. La introducción

de sistemas automatizados con un alto grado de flexibilidad y una continua adaptación a la demanda (que actualmente se centra en productos frescos) son requisitos básicos para la actual industria de alimentación. Una posible clasificación de las áreas de aplicación de la Robótica y la Automatización en la industria de alimentación es: a) cárnica, b) aves, c) piscifactorías, d) bebidas y lácteos, e) pastelera y dulces, f) conservera, g) *catering*.

En la industria cárnica una de las principales operaciones es el despiece. Esta operación necesita de una constante adaptación debido a los diferentes tamaños y geometrías de las piezas. Los sistemas automáticos de despiece más avanzados utilizan sistemas de visión 3D con iluminación estructurada. Con estos datos se obtiene el modelo 3D del animal o porción que se va a despiezar y se determina, mediante un sistema experto, dónde hay que efectuar los cortes para que las piezas resultantes sean de un tamaño y peso parecido. Durante este último proceso uno de los problemas más complejos es identificar la posición del hueso para separarlo de los cortes. Con ayuda de una pequeña base de datos, que define las geometrías estándar de las piezas, el problema del deshuesado se resuelve con bastante eficacia. Otra operación importante es el corte en sí mismo, que se efectúa mediante robots industriales de 7 GDL con realimentación de fuerza en el cuchillo situado en su extremo. Otros sistemas similares se utilizan de forma experimental para el vaciado de vísceras mediante robots y para el corte automático de jamones de york.

El sector avícola es uno de los más automatizados en la parte de producción de huevos, pero en menor medida en la parte de control y selección de las aves, y de producción de carne avícola. Para el control, movimiento y clasificación *on-line* de las aves, se ha desarrollado un sistema de cintas transportadoras que mediante palés-jaulas mueven las aves y, utilizando sistemas de visión, las clasifican e incluso detectan defunciones. El mismo sistema se utiliza

para el transporte de aves al matadero. Dentro del programa estadounidense de investigación *Agricultural Technology Research Program* se ha desarrollado un sistema de visión que detecta la posición de las patas de los pollos vivos que están en la cinta transportadora para su posterior manipulación y transporte mediante robots al área de despiece. Las operaciones de despiece y empaquetado también pueden ser automatizadas.

Dada la disminución de los caladeros de pesca y el aumento de la demanda de pescado fresco, el sector piscícola tiene una imperiosa necesidad de automatización y aumento de su productividad. Varias empresas nacionales han implementado recientemente sistemas de control y monitorización de varios parámetros de la cría intensiva de peces (doradas sobre todo). Los parámetros que hay que controlar son la temperatura, el oxígeno, el pH, el caudal y el nivel de agua. Los actuadores son bombas de tipo proporcional que se ponen en marcha mediante válvulas neumáticas. Un caso especial es el control del sistema de alimentación de la *nursey* (primera fase de la cría) formada por numerosos estanques con filtros sólidos y biológicos. Todo el sistema está controlado por PLC conectados a bases de datos. La alimentación también puede ser automatizada mediante robots móviles que transportan una tolva que reparte pienso a los diferentes estanques.

Sistemas similares se han implantado en las fases de pre-engorde y engorde. Todos los subsistemas están integrados a través de un sistema SCADA que permiten la supervisión global, incluyendo la obtención de datos históricos.

El sector de lácteos y bebidas cuenta con un alto nivel de automatización mediante sistemas rígidos. Su productividad es muy alta, pero en los últimos años crece la necesidad de un mayor nivel de flexibilidad. Se desea utilizar al máximo las instalaciones, sin efectuar paradas innecesarias y producir más productos distintos en la misma factoría. Los factores fundamentales que llevan a la flexibilidad en este sector son las comunicaciones industriales y la ges-

ción global. La conectividad de las células de recepción, mezcla, pasteurización, esterilización, fermentación, embotellado, empaquetado y etiquetado es clave en la gestión global. Los procesos de fermentación en este caso son muy lentos (entre quince y veinte días) y necesitan de un histórico.

El sector pastelero necesita innovación en las comunicaciones y en la gestión más que en el desarrollo de maquinaria automatizada. Las plantas actuales están excesivamente centralizadas, por lo que se plantea el problema de descentralización del control. De esta forma, las grandes empresas de pastelería han cambiado su forma de producción, centrándose en pequeños lotes de diferentes productos. La complejidad del proceso de producción de chocolate y bombonería es alta: requiere formas y rellenos diferentes, precalentamiento de los moldes, control de la velocidad de las cintas, etc. Por ello, la robótica, con las ventajas que representa, puede solucionar muchos de estos problemas.

Una de las aplicaciones que requiere más mano de obra es la operación de *picking* (empaquetado selectivo). Este tipo de operaciones se distingue por un manipulado de piezas para formar el correspondiente lote en envases de cartón o plástico. Ejemplo de este tipo de operaciones es el llenado de cajas de bombones con diferentes chocolates que circulan por varias cintas transportadoras. El manipulado selectivo se realiza con robots de tipo *Scara*. Una operación similar es la de manipulado de porciones de queso mediante el robot. Para la formación de bandejas de *catering* se utiliza un manipulado selectivo con ayuda de un sistema de visión que monitoriza y calcula en tiempo real la posición y la orientación de las piezas, enviando posteriormente órdenes de movimiento al robot. Mediante sistemas robotizados de *catering* algunas empresas producen comidas para 75.000 aviones cada año.

Otros sectores de la industria alimenticia que por problemas de espacio no pueden ser desarrollados en este do-

cumento, pero tienen muchos puntos en común con los sectores descritos anteriormente, son la producción de conservas, la de azúcar y cereales, productos congelados, etc. Todos ellos necesitan un alto nivel de automatización, flexibilización y control de calidad en línea.

5.2.6. Medicina

La medicina y las infraestructuras médicas suelen tener un peso aproximado al 10% en el PIB de los países industrializados, lo que unido a que se trata de la salud, convierte la medicina en uno de los sectores estratégicos. La característica más destacada de la automatización de la medicina es la necesidad de una alta seguridad en las operaciones a realizar. Por esta razón, la mayoría de los nuevos sistemas son total o parcialmente teleoperados. Se requiere contar con una realimentación sensorial rápida y fiable, tanto visual como de tacto y fuerza en las manos del cirujano. Se pueden destacar cuatro grandes áreas de actuación: a) intervención o asistencias quirúrgicas; b) rehabilitación y terapia de pacientes; c) fabricación de útiles o piezas ortopédicas; d) diagnóstico.

La laparoscopia y la endoscopia son las áreas más activas de la robotización médica, pues permiten evitar la cirugía tradicional, que normalmente necesita incisiones de diez a cuarenta centímetros, y examinar o incluso operar al paciente con una mínima intervención a través de incisiones de tres a doce milímetros. La laparoscopia tradicional se realiza normalmente mediante dos varillas con pinzas en el extremo, siendo el sistema total normalmente de 5GDL. La automatización de los movimientos con gran precisión y libertad es el objetivo principal de la robotización. La endoscopia asistida por robots permite un considerable aumento de la precisión de la cirugía, evita el posible temblor del cirujano y consigue un importante ahorro de tiempo en la intervención, que indudablemente beneficia al paciente.

Durante la intervención tradicional el cirujano cuenta con una visión directa de la zona de operación, mientras que con los modernos sistemas de intervención el cirujano tiene que estar pendiente de una pantalla, teniendo una vista indirecta del área de intervención. Por otro lado, las acciones del cirujano pueden producirse no solamente por movimiento de manos, sino también por accionamiento de pedales, voz, movimiento de cabeza y ojos. Esto exige al cirujano y a sus asistentes estar entrenados en los nuevos hábitos.

El primer robot manipulador de intervención quirúrgica fue aprobado por la administración norteamericana en 1994. En este tipo de robots el cirujano puede accionar el robot de forma directa a través de *joy-sticks* convencionales o instalados en el dedo, pedales e inclusive mediante órdenes de voz. De la misma forma, el cirujano tiene que tener una clara visión de la zona de intervención a través de cámaras externas y/o internas movidas igualmente por *joy-sticks* o pedales. Algunos robots quirúrgicos mueven la cámara en el extremo del instrumento sincrónicamente con el movimiento de la cabeza del cirujano. De esta forma, se consigue una actuación más intuitiva del sistema de visión.

Los robots de laparoscopia más recientes tienen una estructura maestro central y varios (normalmente tres) manipuladores esclavos, similares a las varillas tradicionales que portan los instrumentos quirúrgicos. Los manipuladores llevan varias cámaras para generar imágenes 3D. El cirujano está sentado frente a la consola del maestro, en donde, mediante el movimiento de sus brazos y dedos, controla los movimientos de los esclavos. La visión que obtiene el cirujano se produce gracias a un sistema binocular 3D. El movimiento de las cámaras está igualmente sincronizado y es gobernado por el movimiento de los ojos del cirujano. Como medida de seguridad, se pueden definir zonas prohibidas de actuación, lo que permite realizar operaciones cardiacas muy delicadas, tales como implantes de *bypass* de arterias coronarias con diámetros muy

pequeños, hasta uno o dos milímetros. Para estas precisiones el robot tiene que tener una interfase *háptica* con una extrema sensibilidad al tacto. De forma similar funcionan los tan exitosos hoy en día robots de cirugía ocular de corte por láser.

Otro campo de aplicación de los robots quirúrgicos es el de la traumatología. Las operaciones de rodilla, fémur y otras necesitan una precisión mantenida que a menudo no puede ser suministrada por el cirujano. Uno de los principales problemas de este tipo de intervenciones es la precisión de los modelos óseos 3D y su concordancia y sincronización con los movimientos del robot. Los huesos del paciente son «escaneados» y posteriormente sus modelos 3D almacenados en un sistema CAD. Con esta información se puede diseñar y ajustar automáticamente el tipo y el tamaño de la prótesis (por ejemplo, el fémur). A continuación, y con técnicas de tipo CAM, se generan de forma automática los movimientos del robot y de las herramientas que éste porta (broca) para implantar la prótesis.

Todos estos desarrollos llevan a replantearse el concepto del quirófano. Los quirófanos más avanzados incorporan varios monitores, tanto de imágenes reales como sintéticas, así como un puesto maestro central del cirujano donde no solamente se controla el movimiento de los robots, sino también se tiene información de todas las características del paciente y de los equipos que intervienen en la operación. Además, existen varios puestos para los asistentes que se encuentran cerca del paciente y permiten supervisar e incluso intervenir localmente en la cirugía. En el caso de las UCI (Unidad de Cuidados Intensivos), las tareas de monitorización y supervisión de pacientes mediante la conexión en red de todos los equipos de vigilancia y adquisición de datos son de suma importancia. Para ello, hay que contar con una o varias redes locales que visualizan y almacenan el estado de cada uno de los pacientes. Según el historial clínico de cada paciente, se pueden producir alarmas o prealarmas de su estado, e in-

clusive hacer predicciones de su estado futuro mediante sistemas expertos.

Dentro del área de rehabilitación existen actualmente dos grandes tendencias: la introducción de prótesis activas controladas por computador y la colocación de sensores internos de estimulación del paciente. En el primer caso, se han desarrollado exoesqueletos en forma de brazos, piernas y columnas vertebrales que son incorporados al paciente para iniciar unos movimientos programados por el fisioterapeuta según el plan de rehabilitación. En el segundo caso, en el cuerpo humano se colocan varios electroestimuladores en los músculos del paciente para efectuar una terapia activa. El único problema es que las conexiones de los cables a la fuente de alimentación y al sistema de control deben ser externas.

Respecto a los sensores implantados a los pacientes, los desarrollos son numerosos. Son bien conocidos los marcapasos tradicionales que permiten controlar la carencia cardíaca. Las tendencias actuales empiezan a desarrollar sensores y sistemas de estimulación activa conectados al cerebro, sobre todo para pacientes con Parkinson. El implante de los electrodos se realiza mediante técnicas de visualización 3D. Otra aplicación para pacientes con extremidades paralizadas es el implante de diversos electrodos en los músculos del brazo y de la mano. Los sensores de referencia para el movimiento del brazo-mano discapacitados se encuentran en el hombro opuesto. De esta forma, mediante el movimiento del hombro, las referencias de posición son transmitidas al brazo-mano discapacitados, que generan los correspondientes impulsos eléctricos para su movimiento.

Dentro del concepto de sensores activos en el cuerpo humano se encuentran las cápsulas inteligentes que navegan por el sistema sanguíneo del paciente como auténticos submarinos. Las modernas técnicas de microsistemas permiten tener sistemas de propulsión hidráulica de tamaño de un pelo humano. De la misma forma, se incorporan sistemas de comunicación radio y algunos sensores, sobre todo una

nanocámara que permite transmitir imágenes aunque sean de poca resolución. Así mismo, pueden llevar nanodosis de medicamento para inyectarlo en el sitio y momento apropiado. Uno de los problemas no resueltos es el control de la posición de las cápsulas y de la correspondencia de sus imágenes.

La tercera área de aplicación corresponde a la automatización de la producción de prótesis personalizadas. La producción de prótesis dentales es uno de los mercados más florecientes. Desde principio de los años noventa se introdujeron, de forma experimental, los primeros sistemas CAD para el modelado de la dentadura humana. Pero solo recientemente han sido aplicadas estas técnicas a la fabricación de dentaduras completas o parciales. Estos sistemas están formados por un sistema CAD 3D conectado a robots manipuladores que se encargan de: a) mecanizar el diente (a partir de una pieza estándar) mediante el desbarbado en una fresadora; b) modificar la curvatura del soporte de la prótesis para que coincida con la curvatura dental del paciente; c) dar a los dientes la posición y orientación requeridas.

El diseño de productos personalizados para gente discapacitada o enferma es otro de los campos de actuación. Existen sistemas de visión ultrarrápidos que filman la actividad de una persona para después producir, por ejemplo, prótesis de extremidades, sillas que se adapten a la columna vertebral del paciente, ropa que no genere demasiada presión superficial, etc. Otra de las tendencias novedosas es el diseño de plantillas para personas diabéticas que pierden la sensibilidad en los pies y pueden padecer ulceraciones podológicas.

5.2.7. Industria farmacéutica

Cerca de 1,25 millones de personas en el mundo trabajan en la industria farmacéutica. Es un sector muy consoli-

do, controlado por grandes multinacionales, con un valor añadido muy alto y un componente muy importante de I+D. No obstante, en los últimos años varios factores están cambiando la industria farmacéutica: aumento de la esperanza de vida en los países industrializados, espectacular crecimiento de la población del tercer mundo, aparición de nuevas enfermedades como el SIDA, el SARS y la gripe aviar, cambios sociales relacionados con la crisis de la familia tradicional, las nuevas tecnologías y la globalización. Todo esto lleva a la creación de una nueva industria que incorpore la automatización, las comunicaciones y las tecnologías de la información en todas sus etapas: investigación, producción y reciclaje.

La automatización integral de la instrumentación de experimentación farmacéutica es una de las áreas de desarrollo más novedosas. Los equipos de experimentación y medida existentes están concebidos como sistemas aislados y son difícilmente integrables en un laboratorio totalmente automatizado. Sin embargo, la demanda de una experimentación rápida y ágil es cada vez más alta, sobre todo con la aparición de nuevas enfermedades. Algunas empresas punteras del sector han desarrollado laboratorios totalmente computerizados, en donde la transferencia de sustancias y datos está integrada con un potente sistema informático de gran velocidad de procesamiento que incluye un intensivo cálculo paralelo. Un ejemplo de estas técnicas son los laboratorios dedicados al genoma humano.

Uno de los elementos esenciales para una automatización integral en la investigación farmacéutica es el sistema de manipulación. Estos sistemas necesitan tener una gran velocidad de transferencia de productos tales como probetas, platos, reactivos, etc., y una gran precisión de posicionamiento para manipular microdispositivos. Los robots convencionales no están suficientemente bien adaptados a este tipo de operación, por lo que varias empresas han desarrollado una serie de robots específicos para la industria farmacéutica. Estos robots son de tipo cilíndrico con un raíl

lineal de desplazamiento, fácilmente integrables en las estaciones automáticas de experimentación farmacéutica. Pueden manipular hasta cien platos con cultivos a la hora con una pinza que incluye piezosensores de presencia.

Las factorías automatizadas de producción de medicamentos tienen grandes similitudes con otras industrias. Los procesos y equipos están orientados, por ejemplo, a una producción masiva de comprimidos. Sin embargo, la integración sigue siendo el caballo de batalla. Son pocas las factorías que cuentan con un control del ciclo completo de la producción. Se necesita una mayor integración de la elaboración controlada de recetas (un conjunto de tareas elementales, tales como pesaje de un componente, activación de un reactivo a una temperatura y velocidad de agitación, granulación, prensado de pastillas, etc.), control de la producción, gestión de las analíticas de laboratorio y de los procedimientos normalizados.

El reciclaje de los medicamentos es actualmente un importante problema medioambiental, especialmente en España, donde una gran parte de los medicamentos no se consumen en su totalidad y son eliminados con los desechos comunes. El proceso de clasificación y separación del papel y plástico, por un lado, y de fármacos, por otro, es en la actualidad una operación que se efectúa manualmente. No obstante, puede ser robotizada mediante un sistema compuesto por tres células flexibles: a) robot industrial, que separa y abre las cajas de los medicamentos; b) sistema de visión por computador, que identifica los fármacos; c) segundo robot industrial, que manipula y separa los productos.

La industria farmacéutica europea invierte cerca del 1% de sus gastos en ventas en las e-tecnologías. Según las consultoras más prestigiosas se van a crear nuevos hábitos en la industria, uno de los cuales es la captación electrónica de datos (EDC) para el análisis y recetación a través de la Red. De esta forma, se reduce drásticamente el tiempo de ciclo entre la dolencia del paciente y la toma del medica-

mento. También son ampliamente utilizadas las técnicas de encargo de medicamentos por la Red. Algunas empresas españolas de distribución farmacéutica cuentan con un sistema que permite el encargo electrónico que posteriormente es procesado en sus almacenes automatizados con miles de referencias. El proceso de *picking* (formación del pedido individualizado) se efectúa normalmente mediante rampas que deslizan los productos (medicamentos) en unas cestas de plástico que son las que se entregan a las farmacias y hospitales.

5.2.8. Industria del calzado

La industria del calzado es tradicionalmente una de las más artesanas. Sin embargo, en las dos últimas décadas la automatización de algunos procesos y máquinas ha ido calando poco a poco en el sector, aunque los avances tecnológicos significativos han llegado solamente en los últimos años. Una de las barreras para la masiva introducción de la Robótica y la Automatización en el sector es el hecho de que está formado mayoritariamente por pequeñas y medianas empresas con escasos recursos para la innovación y con una brutal competencia con los países asiáticos. De aquí, la gran importancia de las asociaciones sectoriales, de los centros de I+D y del apoyo gubernamental. Son muchos los campos de innovación potencial en la industria del calzado: materiales, productos, procesos, suministros y logística. Las innovaciones más significativas se pueden dividir en dos grandes grupos: a) desarrollo de procedimientos y sistemas orientados al diseño automático del calzado; b) automatización y robotización de los procesos productivos.

El campo de diseño del calzado ha sido tradicionalmente uno de los más artesanos. La creación del primer prototipo y de la primera preserie consume mucho tiempo y esfuerzo. Para ello se han desarrollado técnicas de digitaliza-

ción 3D de hormas. En primer lugar, el artesano crea manualmente el primer patrón de un solo pie. A continuación la horma es introducida en un sistema en el que se gira a velocidad constante y mediante visión artificial (con iluminación controlada) y/o telémetro láser se obtiene un modelo 3D de la horma. Finalmente, esta información es transformada a formato CAD 3D y visualizada. Mediante software avanzado se puede crear el patrón espejo (la horma del otro pie) y escalar las hormas para diferentes números. En algunos casos (sobre todo para calzado deportivo) las hormas son ligeramente deformadas para crear patrones masculinos y femeninos.

El diseño de las hormas es solamente una de las partes del lanzamiento de nuevos productos. Otros dos pasos importantes son el diseño del tacón (para calzado femenino) y la creación de los patrones de corte de cuero (u otro material) para el revestimiento de las hormas. Los tacones normalmente están prediseñados y almacenados en bibliotecas de modelos 3D. Su ajuste y adaptación al nuevo diseño también se hace con herramientas informáticas. De mayor complejidad es el problema del patronaje. Esta labor, hasta ahora totalmente artesana, se puede realizar con modernas técnicas que trazan superficies envolventes a la horma.

Las tendencias actuales apuntan a un diseño y a una producción personalizada y orientada al usuario (*customized production*). En este caso, el modelo del futuro zapato no es la horma, sino el propio pie del usuario. Para ello se han desarrollado nuevas técnicas de modelado en línea de pies mediante la digitalización de huellas de los pies en diferentes condiciones del andar. La digitalización proporciona tanto información geométrica como de los esfuerzos en cada uno de los pixels de las huellas. La personalización del calzado abarca otros muchos aspectos, tales como forma de andar, superficie en la cual se usará el zapato (asfalto, adoquines, tierra) y las preferencias del usuario (color, textura, tipo). De esta forma, se pretende

crear una nueva industria del calzado en la cual los zapatos se fabrican de forma personalizada y en un tiempo aceptable.

Otro de los aspectos de la automatización de la industria del calzado es la industrialización de la misma. Se pueden distinguir tres áreas fundamentales: a) las operaciones sobre los elementos básicos del calzado; b) el cosido y ensamblado de los elementos; c) el manipulado de piezas. La mayoría de la maquinaria existente necesita de un operario para cargar/descargar la máquina o para hacer la operación en sí (con las herramientas que suministra la máquina). Algunos de los fabricantes más avanzados comercializan máquinas que realizan las tareas de forma automática para un número considerable de piezas. Este es el caso del cardado de suelas donde algunas máquinas admiten centenares de suelas. En el puesto más alto de automatización se encuentran los carruseles, que tienen hasta sesenta puestos de inyección de suelas de poliuretano.

Dado que el consumo medio en los países industrializados es de tres pares de zapatos al año, la producción del calzado se debe efectuar a gran escala, pero las series que hay que producir son extremadamente cortas (dada la gran diversidad del producto, tallas y colores). Esta es la razón por la que los sistemas automatizados deben ser muy flexibles y reconfigurables. Existen plantas experimentales con *lay-out* reconfigurable según el producto que haya que fabricar. Este proceso se efectúa mediante cambios en el flujo del transporte de piezas y el suministro de componentes.

Las aplicaciones en donde se manipulan los elementos del calzado son menores. La manipulación de objetos rígidos, tales como suelas, tacones, etc., se efectúa mediante manipuladores neumáticos o sistemas de transferencia convencionales. Sin embargo, en el caso de manipulación de elementos flexibles, sobre todo cortes de cuero o tela, el procedimiento es más complicado. Varias universidades

han desarrollando herramientas y garras específicas para extender las telas sobre las hormas con robots.

5.2.9. Industria naval

Esta industria, que agrupa a varias grandes empresas y a centenares de PYME, se caracteriza por una sobrecapacidad de producción y una gran competencia, sobre todo con los países asiáticos (Japón y Corea), que reducen los precios hasta un 30%. Otro factor importante, según los analistas, está en el cambio de las actividades de diseño. Otro cambio drástico es la reducción del tiempo de fabricación, que en algunos casos se reduce a treinta meses. Los astilleros modernos se están transformando en «factorías de ensamblado», en donde la producción de la mayoría de las piezas se efectúa por empresas subcontratadas.

Tal y como se ha mencionado, el proceso de diseño de buques es cada vez más importante. El coste del diseño puede ascender hasta el 10% del coste total del buque. En la parte del diseño se pueden distinguir tres fases fundamentales: a) prediseño, donde se efectúa el diseño conceptual del buque según las especificaciones del cliente; b) diseño básico, donde se calcula la estructura y la maquinaria necesaria; c) diseño de detalle, última etapa de diseño. Como herramientas informáticas de diseño se utilizan múltiples paquetes, entre los que se pueden destacar las siguientes aplicaciones: a) hidrodinámica; b) estructuras; c) diseño CAD/CAM; d) diseño 3D y realidad virtual; e) gestión de la producción naval.

La construcción de un buque consta de muchos y complejos procesos que pueden resumirse en cuatro grandes áreas: tratamiento de planchas y columnas metálicas (acondicionamiento, marcado, corte), ensamblado (normalmente soldadura), manipulación (movimiento y manejo de subconjuntos) e inspección. La automatización y robotización de estos grandes grupos de procesos es el objetivo de los mo-

ernos astilleros. Se estima que el 40-50% de los astilleros tienen automatizadas las operaciones de tratamiento de planchas y columnas mediante modernos dispositivos de posicionamiento y corte basados en sistemas tipo CNC.

En el caso de corte y mecanizado de chapas de acero, que normalmente se suministran en dimensiones de 12 x 0,5 metros, el problema de la deformación, que puede llegar a ser de hasta 50 milímetros, es muy importante. Para un corte de calidad de estas chapas deformadas, algunos astilleros utilizan un sistema de modificación de los programas de corte por soldadura de plasma efectuados mediante robots. Estas modificaciones se realizan mediante la realimentación sensorial basada en palpadores muy precisos a la entrada de las chapas.

La importancia de la soldadura de un buque reside en el hecho de que el peso del material soldado puede llegar a ser el 2-3% del peso total del buque. Los últimos desarrollos en robótica permiten reducir sustancialmente el peso, mejorar la calidad, disminuir el tiempo y mejorar las condiciones de trabajo. Los astilleros más avanzados tienen instaladas líneas de soldadura por una sola cara de hasta 12 metros de largo y dos puentes grúa trabajando en paralelo. Por otro lado, para la fabricación de subconjuntos 3D (módulos) se necesitan sistemas que puedan efectuar la soldadura tanto desde fuera como desde dentro del módulo. Robots de desarrollo experimental permiten introducirse en el interior del módulo del buque por una pequeña apertura donde se montan y se efectúa la soldadura. Una vez finalizada ésta, el robot se desmonta y se evacua de la misma forma que fue introducido.

El transporte y manipulado de subconjuntos 2D y 3D muy pesados, desde el taller de prefabricación al dique seco, es otro de los procesos delicados. Los sistemas más avanzados se basan en dos tecnologías: grúas y colchones de aire. Las grúas autónomas más avanzadas pueden manejar hasta 400 toneladas y son controladas por un único operario. Éstas pueden trabajar en conjunto, previa pre-

carga y, de esta forma, transportar piezas muy grandes y mucho más pesadas. El récord actual es el transporte de un submarino entero desde la factoría al lugar de botadura, con un peso total de 12.000 toneladas. La otra tecnología empleada es la de transporte de piezas mediante la generación de un colchón de aire o fluido entre la pieza y la superficie de transporte, que actualmente permiten transportar piezas desde 0,9 y hasta 400 toneladas.

La inspección automática de los cascos es otra de las aplicaciones más demandadas en los últimos tiempos. Se pueden distinguir dos tipos de inspección: en dique seco, normalmente durante el plazo de construcción del buque, y submarina durante los plazos de inspección periódica del casco. En el primer caso, se han desarrollado robots escaladores que se deslizan por la superficie vertical casi plana del casco mediante patas con electroimanes. En el segundo caso, los robots escaladores tienen que poder ser sumergidos y poder escalar el casco pintado con un cordón umbilical, por el cual se alimenta al robot y se transmiten/reciben las órdenes/datos.

5.2.10. Industria aeroespacial

La industria aeronáutica cuenta con los niveles tecnológicos más altos. Se distingue por unas elevadas inversiones en I+D y el uso masivo de la automatización. Aunque los sectores aeronáutico y espacial están normalmente integrados en las mismas empresas (lo que facilita muchísimo la transferencia de tecnología), éstas cuentan con divisiones separadas que inciden en la especificidad de cada una de las dos áreas. Sin embargo, el factor común entre ambas es el alto nivel de seguridad de los productos desarrollados y la elevada dificultad de las pruebas en el aire o en el espacio.

Una de las líneas de investigación más importantes en la robótica aeronáutica son los Vehículos Aéreos No-tripula-

dos (UAV). El objetivo principal es desarrollar aeronaves (aviones, helicópteros, cohetes) que puedan realizar diferentes misiones de forma autónoma, semiautónoma o sin tripulación. Los UAV de aplicación militar pueden proporcionar información en tiempo real de las misiones de reconocimiento, vigilancia, selección de blancos y análisis posterior. Estas aeronaves tienen normalmente una envergadura de 3 metros, una longitud de 1,75 metros y un peso máximo de 25 kilos. La coordinación de múltiples UAV es una de las misiones más complejas. Los mismos dispositivos aéreos se pueden emplear también para aplicaciones civiles, como, por ejemplo, inspección de líneas eléctricas desde el aire, control de fuegos y plagas. Los UAV pueden estar equipados con sensores de visión (visibles o infrarrojos), sistema de navegación inercial (IMU) y GPS diferencial.

En la parte de fabricación de aeronaves, la tendencia más moderna es la utilización de piezas de materiales compuestos, sobre todo fibra de carbono. El proceso de fabricación de estas piezas es tradicionalmente manual. Consiste en el forrado de los ladrillos de aluminio con telas de fibra de carbono para posteriormente ensamblarlos y formar la estructura de la pieza de la nave. En algunas factorías estas operaciones están robotizadas. Otra aplicación robotizada es la inspección de piezas de fibra de carbono, que deben contar con un certificado de inspección por ultrasonidos según procedimientos muy estrictos. El sistema de inspección está formado por dos robots industriales, entre los cuales se encuentra la pieza de fibra de carbono que se va a inspeccionar. La inspección se efectúa mediante la emisión de un haz ultrasónico portado por uno de los robots: dicho haz se propaga mediante un chorro de agua a presión para que no se disperse, atravesando la pieza que se está inspeccionando y es captado por el otro robot al otro lado de la pieza. El análisis de la atenuación de los puntos de medida según la geometría de la pieza se efectúa en línea por computadores de control de calidad.

Otra aplicación de gran importancia y complejidad en el sector aeroespacial es el control del tráfico aéreo, que se basa en tres claves: seguridad aérea, eficacia del servicio y gran densidad del tráfico en algunas zonas. Por ejemplo, en el área de San Francisco existen 17 pasillos aéreos de salida y 10 de entrada, con una densidad media de un avión por minuto. Las estrategias de control del tráfico están basadas en un concepto mixto, por ejemplo, automático con supervisión manual o manual con asistencia automática. En cualquier caso, el sistema de control incluye a la persona en el bucle de control, dando paso al concepto *Man-in-the-Loop* (hombre en el bucle).

En el caso del espacio, una de las importantes áreas de aplicaciones es la automatización integral de las instalaciones terrestres. Un ejemplo de este tipo de aplicaciones es el de los centros de control de satélites. Estos centros, que cada vez son más demandados bajo la modalidad «llave en mano», tienen por objetivo controlar, supervisar e integrar todos los parámetros, fases y procedimientos de un vuelo espacial. La integración de todas las actividades de estos centros es una de las claves de su buen y eficaz funcionamiento.

Otra de las importantes actividades espaciales en tierra es el entrenamiento de los astronautas (cosmonautas). Dadas sus extremas condiciones de trabajo tanto en las fases de despegue y aterrizaje como en la fase de vuelo, se necesita simular en tierra todas estas condiciones y efectuar los correspondientes entrenamientos. La Agencia Espacial Rusa (RKA) ha desarrollado una cápsula incorporada al sistema centrífugo con 3 GDL que, programando adecuadamente las velocidades y aceleraciones en cada eje, permite emular todas las fases del vuelo. Así mismo, el cosmonauta lleva un traje que controla la presión en sus miembros superiores e inferiores, con lo que se emula transitoriamente la sensación de la ingravidez.

Una de las operaciones terrestres más ligadas a la robótica es la teleoperación y telepresencia tanto de naves como

de robots espaciales. El famoso experimento ETS-VII (*Engineering Test Satellite*) de la Agencia Espacial Japonesa (NASDA), que se llevó a cabo durante 1998-2002, tenía por objeto experimentar en órbita las operaciones de ensamblado y manipulación mediante un brazo robotizado. El sistema experimentó también el ensamblado en órbita (*rendez-vous*) de módulos autónomos voladores (denominados *Orihime* y *Hikobosh*). Todas estas tareas se efectuaban normalmente desde tierra mediante avanzados sistemas de teleoperación que incluían módulos de control de colisiones, control de fuerza/par, teleoperación bilateral y teleoperación con retardo.

La robótica espacial tiene su máximo exponente en la exploración planetaria mediante robots móviles (*rovers*). El precursor de esta exploración fue el robot soviético *Lunod* que trazó los primeros surcos en la Luna en 1970 y recorrió cerca de 10,5 kilómetros en la superficie lunar. La robótica móvil espacial moderna está asociada a los robots *Sojourner* y *Spirit & Opportunity* de la NASA. Lanzados en 1996 y 2003 los robots estuvieron operativos durante varios meses enviando miles de imágenes y datos. Estas misiones tienen mucha dificultad, debido principalmente al gran retardo en las comunicaciones, que oscila entre nueve y cincuenta minutos para una comunicación de ida y vuelta. Por ésta y otras razones, la velocidad de estos robots es bastante baja; tienen normalmente seis ruedas y unas dimensiones similares a un «cochecito de niños» y un peso en tierra ligeramente superior a los 10 kilos.

Los manipuladores espaciales son otra importante área de la robótica espacial. El robot manipulador de la lanzadera espacial tuvo su bautismo en 1981. El manipulador, de 15 metros de largo y 480 kilos de peso en tierra, puede manipular en el espacio cargas de hasta 30.000 kilos. Sus misiones más importantes fueron el acoplamiento de las naves rusa y americana en 1995 (formando así un verdadero puente espacial) y las dos reparaciones del telescopio *Hubble*, capturado por el robot en 1993 y 1997. Más

recientemente la construcción de la Estación Espacial Internacional (ISS) ha llevado a la creación de un nuevo brazo robótico de 17,6 metros de alcance y de base móvil.

5.2.11. Sector eléctrico

El sector eléctrico es uno de los motores de la economía moderna y es estratégico para el país tanto en generación y distribución como en el consumo. En España, como en otros países, la producción eléctrica se divide en la generación por parte del régimen ordinario y por parte de las energías del régimen especial (renovables y de cogeneración). Este sector tiene un alto nivel de automatización en las áreas de generación y distribución. No obstante, los últimos apagones en Estados Unidos y Europa han demostrado que la robustez del sistema de distribución de energía eléctrica debe ser reforzada. El sistema de control de las líneas debe incluir estrategias predictivas con modelos de la red actualizados en tiempo real.

Las aplicaciones de la robótica en el sector eléctrico son pocas y muy recientes. Las más destacadas se refieren a la supervisión, mantenimiento y realización de operaciones básicas sobre las líneas de transporte de energía eléctrica. En la actualidad, la totalidad de estas operaciones se realiza de forma manual. En caso de que se realicen en tensión (sin cortar el suministro) el riesgo para los operarios aumenta considerablemente. Por ello, en España (y en otros países) se han desarrollado sistemas robotizados para el mantenimiento de líneas eléctricas de distribución de hasta 46 kV. Son sistemas telerrobóticos semiautomáticos que normalmente están formados por dos robots, un mástil auxiliar y varias cámaras, encontrándose todo ello sobre una plataforma en el extremo superior de un brazo aislado de 15 metros situado sobre un camión. El sistema es controlado por un operador situado en la cabina del camión. Las operaciones que pueden realizar estos sistemas

son inspección, limpieza e intercambio de aisladores, realización de derivaciones, etc.

Otro posible grupo de aplicaciones de la robótica es la inspección de las líneas de tensión desde el aire mediante sistemas de tipo UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*). En este caso se trata de minihelicópteros autónomos equipados con sensores tanto para la navegación como para la inspección desde el aire de las líneas y los apoyos. Los sensores de inspección más utilizados son sistemas de visión conectados al altímetro, sistema de navegación inercial y GPS diferencial. El procesamiento de las imágenes aéreas se puede realizar en línea durante el vuelo o a posteriori en la base.

Otra aplicación importante de la automatización en el sector eléctrico es el ahorro de energía eléctrica en las casas. Con ello se pretende controlar el consumo medio y de pico, con lo que se puede conseguir una tarifa eléctrica más barata (por ejemplo, nocturna) y no superar los picos de potencia contratados, cosa que en algunos países se penaliza. Para ello hay que tener acceso a los electrodomésticos que más energía consumen (calderas, planchas, secadores, calentadores de agua) y a la vez a los contadores de energía eléctrica. De esta forma se puede controlar selectivamente el funcionamiento de los dispositivos domésticos y optimizar el consumo.

Las energías renovables son uno de los aspectos más interesantes de la automatización del sector eléctrico. Éstas contribuyen a la protección del medio ambiente en tanto que la generación de electricidad con estas fuentes de energía (térmica, eólica, solar y fotovoltaica) tiene un menor impacto medioambiental que la generación con fuentes convencionales (carbón, fueloil, gas natural). En el caso de la energía eólica, las actuaciones más inmediatas son: a) incremento progresivo del tamaño unitario de los aerogeneradores de potencia superior a 1 MW; b) mejora de la calidad de la energía e incremento de la capacidad de integración en la red; c) incorporación de sistemas de con-

trol de autodiagnóstico en los aerogeneradores con el objeto de asegurar la operación no asistida bajo todas las condiciones; d) modelos de previsión de la producción, dirigidos a la mejora de la predicción del potencial eólico a corto plazo, con el fin de facilitar su integración en la red. En el caso de la energía solar térmica, las aplicaciones innovadoras se centran en: a) mejora de la fiabilidad de equipos, mediante innovación en materiales o el desarrollo de sistemas de telemonitorización; b) desarrollo de recubrimientos selectivos y espejos, para los que se han desarrollado nuevos métodos de deposición alcanzando reflectividades del 96%; c) mejoras del control de seguimiento solar, juntas rotativas, etc. En el caso de energía solar fotovoltaica, las aplicaciones son: a) desarrollo de células más eficientes y baratas; b) introducción de módulos con un número de células cada vez mayor, basándose en los avances de la nanotecnología; c) la integración de la energía fotovoltaica en edificios buscando un equilibrio entre estética y funcionalidad.

Otro de los problemas medioambientales relacionado con el sector eléctrico es la célula biológica de combustible. Por ejemplo, en Finlandia están desarrollando una célula de combustible que transforma, con ayuda de las bacterias, los sustratos biológicos directamente en señales eléctricas. La reacción utilizada es de tipo oxidación-reducción en su fase metabólica. Este tipo de células serán mucho más respetuosas con el medio ambiente y podrán ser utilizadas en ambientes domésticos a temperatura normal y pH neutro. Las investigaciones se centran, por un lado, en la parte teórica de desarrollo de un modelo matemático de reacción maximizando la producción de electricidad y, por otro lado, en la parte práctica de desarrollo de una microbacteria biológica para ser utilizada en robots autónomos.

Otro campo importantísimo dentro del sector eléctrico es el desarrollo de nuevos motores eléctricos (como el caso de los motores de par y motores lineales) y de nuevos tipos de

accionamientos. En este último caso, la introducción del control vectorial para motores de AC permite que el rendimiento del motor sea muy elevado. Estos controladores son muy adecuados para accionamientos de sistemas con un par variable, como es el caso de los sistemas de bombeo de fluidos; si se utiliza un control vectorial sin sensores de posición, se deben implementar observadores muy precisos y en tiempo real.

En todas estas aplicaciones, la automatización, conjuntamente con otras disciplinas, juega un papel muy importante. Las técnicas y tecnologías de control óptimo, adaptativo y robusto, la instrumentación y el tratamiento de la información sensorial, la identificación y la obtención de modelos dinámicos, y la simulación son solamente algunos de los posibles ejemplos.

5.2.12. Industria nuclear

La industria nuclear se caracteriza por un elevado nivel de seguridad, por lo que la automatización, unida a una supervisión activa, son las claves de su buen funcionamiento. Los accidentes en las plantas nucleares de Tres Millas en Pennsylvania en 1979 y sobre todo de Chernobil en Ucrania en 1986, estimularon el desarrollo y aplicación de los robots en la industria nuclear. En el primer caso, el reactor perdió su enfriamiento y provocó su destrucción parcial, mientras en el segundo se produjo una detonación que contaminó grandes áreas pobladas. Debido a los altos niveles de radiación, las tareas de limpieza e inspección sólo son posibles por medios remotos.

Varios robots y vehículos controlados remotamente han sido utilizados para tal fin en los lugares donde ha ocurrido una catástrofe de este tipo. Esta clase de robots móviles (algunos de ellos con manipuladores) son equipados en su mayoría con sofisticados equipos para detectar niveles de radiación, van con cámaras e, incluso, llevan a bordo

un minilaboratorio para realizar pruebas. No obstante, los éxitos de estos robots fueron muy escasos por la nociva influencia de la radiación sobre su sistema de control y los sensores. Otra tendencia actual es desarrollar robots voladores para la inspección aérea de las centrales accidentadas y la recolección de datos para su posterior transmisión «a tierra».

La inspección periódica de las centrales nucleares es una de las aplicaciones prioritarias. Estas inspecciones centran principalmente su atención a los métodos de ensayos no destructivos de componentes tales como intercambiadores de calor, generadores de vapor, vasijas del reactor, etc. Las inspecciones de las zonas más contaminadas de una central nuclear de producción de energía eléctrica son por su naturaleza largas y costosas. De realizarse manualmente, el tiempo de exposición de los operarios a la radiación es un factor crítico y supone una costosa parada temporal de la central.

Una de las operaciones más robotizadas es la inspección de los tubos del generador de vapor en un reactor nuclear. En el caso de que algunos tubos se encuentren dañados, hay que inutilizarlos poniendo en funcionamiento alguno de los tubos de reserva (que a tal fin se han dispuesto en el generador). Para realizar esta labor se utilizan robots de desarrollo específico que, introducidos en la vasija, posicionan una sonda de inspección en la boca de cada tubo y, en función de los resultados, taponan el tubo defectuoso. Normalmente los sistemas robotizados que efectúan este tipo de operaciones son teleoperados desde fuera de la zona contaminada, pudiendo realizar sólo un mínimo necesario de operaciones de forma automática (apertura, repliegue, etc.). Muchos de estos robots suelen ser modulares de 4, 6 y 7 GDL que pueden estar anclados al suelo o suspendidos del «techo». Algunos robots pueden funcionar en configuración dual, es decir, dos robots trabajando sobre el mismo entorno y desde el mismo controlador.

Otra de las aplicaciones de la robótica en el sector nuclear es la manipulación de residuos radiactivos. La industria nuclear genera una cantidad considerable de residuos radioactivos de baja contaminación (vestimentas, envases de plástico, papel, etc.) y de alta contaminación (restos de las células del reactor, materiales en contacto directo prolongado con las zonas radioactivas, etc.). La forma, tamaño y peso de estos desechos es variable y su manipulación tiene por objeto final su envase en contenedores especiales. Para manipular remotamente estos residuos se hace uso de los telemanipuladores con unión eléctrica y seguimiento directo del proceso por parte del operador a través de una cámara. Otra aplicación importante de residuos es el caso del desmantelamiento de armamento nuclear (bombas atómicas). Algunos laboratorios norteamericanos usan robots industriales para el desmantelamiento de bombas en polvorines diseñados especialmente para tal fin.

5.2.13. Otras aplicaciones

Tal y como se ha señalado, son muchas las aplicaciones de la Robótica y la Automatización en sectores potencialmente novedosos. Para finalizar este capítulo se mencionarán brevemente algunos sectores importantes. Las aplicaciones de la robótica en aplicaciones marinas están aumentando en los últimos años. Los robots marinos son unos pequeños sumergibles, tipo submarinos, que pueden navegar de forma autónoma y cuentan con varios sensores tipo visión, sonares, etc. Sus aplicaciones más importantes son la inspección de cables submarinos de comunicación y transmisión de energía eléctrica, inspección de plataformas petrolíferas marinas, búsqueda de restos de naufragios (caso del *Titanic*), reconocimiento de fondos marinos para estudios medioambientales y búsqueda de las «cajas negras» en los siniestros aéreos. Recientemente, con el tris-

te hundimiento del *Prestige*, ha aumentado la importancia de los robots submarinos.

También hay aplicaciones en el sector forestal. La mayor necesidad de robots en este campo es la tala automática de árboles y su posterior limpieza, corte y transporte. Para ello, se necesita disponer, por un lado, de equipos de tala automatizados con posibilidad de ser gobernados tanto de forma remota como autónoma, y, por otro, de robots móviles (tractores) autónomos que puedan transportar los troncos a través del bosque, mediante sistemas de navegación y localización basados en GPS, sistemas de visión, reconocimiento de marcas tanto naturales como artificiales, etc. De la misma forma, los vehículos autónomos pueden obtener mapas 3D del entorno para su posterior análisis. En la parte de protección del medio ambiente forestal han sido desarrollados varios helicópteros autónomos equipados con sensores de infrarrojos y cámaras para prevención y detección de incendios desde el aire.

Otra área importante de aplicaciones es la industria de la minería. Las aplicaciones se pueden dividir en tres grandes grupos: a) excavación de túneles; b) trabajos en las minas; c) evacuación en caso de catástrofes. En el primer caso, las máquinas excavadoras («topos») de gran diámetro (hasta 9 metros y con una velocidad aceptable de avance (aproximadamente 200 metros/día) permiten a la vez excavar y colocar los revestimientos internos (dovelas). En algunos casos, se usan robots manipuladores para atornillar las dovelas. En el segundo tipo de aplicaciones, han sido desarrollados robots móviles de exteriores para la inspección de la calidad del revestimiento del túnel, la búsqueda de piedras sueltas y fugas de agua en el techo. Por último, en las aplicaciones de rescate en túneles en caso de incendios, se están desarrollando robots con locomoción mixta patas/ruedas para acceder al interior del túnel.



EMPRESAS, PROFESIONALES Y FORMACIÓN

En las aplicaciones descritas de la Robótica y la Automatización son necesarios dos actores principales: las empresas y los profesionales. De ellos depende la correcta introducción de las tecnologías asociadas y, en definitiva, la competitividad y la calidad de los puestos de trabajo. Ambos actores deben estar en sintonía no solamente entre sí, sino también «hablar el mismo idioma» de los proveedores, ingenieros y clientes.

Uno de los primeros y grandes problemas con el que se encuentran las empresas que quieren modernizarse introduciendo las tecnologías robóticas y de automatización es saber a quién acudir. En este caso, se pueden distinguir dos grupos: a) grandes empresas, que normalmente cuentan con departamentos propios de I+D con la capacidad de formar su propio personal en las tecnologías necesarias o subcontratar grandes ingenierías; b) pequeñas y medianas empresas (PYME), que, dados sus limitados recursos, deben acudir a pequeñas ingenierías o centros tecnológicos y universidades. En el primer caso, la correcta selección de los nuevos ingenieros, el *know-how* acumulado y la formación continua son las claves del éxito. En el segundo caso, la correcta selección de los interlocutores, la formación de los directivos y la voluntad y capacidad de absorber las innovaciones son igualmente esenciales.

En cualquier caso, las empresas que quieran introducir o mejorar su nivel de robotización y automatización tienen que cumplir una serie de condiciones mínimas. En primer lugar, la empresa debe estar bien estructurada, con una clara definición de la relación entre los diferentes departamentos. Por otro lado, deben estar exactamente definidos los procesos (normalmente manuales o semiautomáticos) que se quieran automatizar; si esto no es así, se debe proceder a su definición antes de la automatización. También se debe tener en cuenta que al automatizar los procesos probablemente se rediseñe el producto y, en consecuencia, se cambie el proceso de producción. Además, hay que iniciar una formación técnica del personal de los departamentos receptores de las innovaciones. Este aspecto es de gran importancia, ya que, en algunas ocasiones, los receptores se oponen a la innovación al no conocer las tecnologías. La introducción de la automatización no puede hacerse con el esquema *top-down* (desde arriba hacia abajo de la empresa), sino con un esquema iterativo, *top-down-top*. Así mismo, hay que planificar la reinserción y formación del personal desplazado por la automatización. En cualquier caso, es aconsejable que todas las empresas cuenten con un consultor en Automática.

Como se ha señalado, la elección adecuada de la ingeniería que desarrolle la automatización es importante. Ésta tiene que contar con una experiencia demostrada en el campo y con personal cualificado. Conjuntamente con la empresa, la ingeniería debe definir desde el principio, y si es posible en la fase de preproyecto, los objetivos de la actuación: productividad deseada, inversión estimada, superficie disponible, duración y fechas de la reestructuración de la factoría y personal implicado. Es deseable que también se aborde todo lo referente a salud e higiene, que mejorarán sustancialmente con la automatización, y que posibilitarán la supresión de los trabajos más duros.

Otro aspecto fundamental es el mantenimiento de las nuevas instalaciones. En este caso, hay dos posibles líneas de actuación: a) formación del propio personal de la empresa para tal fin, actuación deseada pero en muchos casos costosa y difícil; b) subcontratación, si es posible, de la misma ingeniería que desarrolló el sistema. Esta última opción es cada vez más la elegida por las propias ingenierías que se plantean el mantenimiento como una nueva línea de negocio.

Es indudable que la correcta introducción de la Robótica y la Automatización en la empresa depende de los profesionales del sector. Es evidente que los ingenieros en general y algunos licenciados en ciencias son los profesionales más adecuados para acometer proyectos de este tipo. No obstante, el perfil multidisciplinar de estas actuaciones hace que la formación del profesional deba incluir tanto aspectos generales como de especialización. En este sentido la formación que se da a los ingenieros industriales es, por un lado, generalista, abarcando múltiples campos que van desde la mecánica hasta la electrónica, y, por otro lado, existen varias especializaciones. Dentro de éstas, las especialidades relacionadas con la Automática abarcan la mayoría de los conocimientos necesarios: teoría de sistemas, simulación y modelado de sistemas dinámicos, ingeniería de control, control por computador, robótica industrial y de servicios, percepción sensorial, automatización industrial, informática industrial, mecatrónica, etc. El carácter horizontal de estos conocimientos hace que estos profesionales estén bien preparados para abarcar la mayoría de los problemas de la Robótica y la Automatización.

El inminente cambio del sector educativo universitario español para adaptarse al espacio único de enseñanza europea, el denominado Tratado de Bolonia, requiere un profundo análisis de nuestras posibilidades y necesidades. Sin entrar en el análisis de las consecuencias de esta nueva reforma, lo que sí está claro es que el sector de la Robótica y la Automatización necesita profesionales con una

formación más específica. La creación de un título orientado a las tecnologías y aplicaciones expuestas en este documento se hace muy necesaria y será sin ninguna duda muy demandada por los sectores productivos.



CONSIDERACIONES FINALES

Sin perder la objetividad del análisis, se puede afirmar que la Robótica y la Automatización están estrechamente ligadas y forman un área tecnológica indivisible y de la máxima actualidad. Esta área destaca por unas tecnologías que aumentan drásticamente la productividad, abaratando los precios de los productos tanto de alta tecnología como artesanales, haciéndolos accesibles a la gran mayoría de la gente. Por otro lado, la robotización permite mejorar la calidad y las condiciones del trabajo, sustituyendo trabajos penosos por otros que se efectúan en condiciones mucho más ventajosas. Pero además, la irrupción de la automatización en los servicios y el ocio permiten mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Esta área se encuentra en la vanguardia de la innovación tecnológica, siendo el motor productivo de muchos sectores económicos tanto en nuestro país como en la mayoría de los países industrializados. La peculiaridad de ser un área horizontal, no dependiente de ningún sector productivo en concreto, hace que las sinergias sean muy grandes. Los desarrollos y planteamientos de la robotización y automatización en una industria o sector pueden ser fácilmente trasladables a otros, respetando las peculiaridades de las mismas.

Como se ha podido ver a lo largo de este documento, el área de Robótica y Automatización se encuentra en la encrucijada de varias tecnologías, tales como informática, te-

lemática, electrónica, mecánica y organización industrial, por lo que sus sinergias son aún mayores, siendo un área multidisciplinar. Por otro lado, las empresas e ingenierías importantes existentes en la zona hacen que sea un sector independiente con un peso macroeconómico importante. Uno de los retos de este sector para la presente década es la integración de las máquinas, la informática, las comunicaciones, los sensores y algoritmos de control.

Con este documento se ha intentado presentar una panorámica amplia y general del sector, sabiendo que es imposible abarcar todas las tecnologías, aplicaciones e industrias implicadas. De la misma forma, las entidades citadas en el directorio de centros y empresas se dan solamente a título informativo sin pretender abarcar la totalidad de las mismas, que se pueden complementar fácilmente en las páginas indicadas de la Red.

España es uno de los países industrializados que más está apostando por la Robótica y la Automatización. Nuestro nivel de robotización es comparable con el de los países de nuestro entorno y de nuestro peso específico. No obstante, el atraso en muchos aspectos todavía existe y debe ser superado lo antes posible. Los factores principales de este relativo atraso son, entre otros, la insuficiente inversión en I+D (tanto gubernamental como privada), la relativamente pequeña aportación de las empresas a la innovación en esta área, la relativamente insuficiente profesionalidad de los centros de I+D, el conservadurismo de muchos sectores productivos, la poca incentivación y tradición para crear empresas de alta tecnología, y la insuficiencia de ingenieros cualificados en esta área. Una gran parte de las empresas e ingenierías son multinacionales que realizan I+D fuera de nuestras fronteras, o son meros importadores. El fomento de la cultura tecnológica y la adecuada formación para la innovación, conjuntamente con el aumento de las subvenciones (europeas, nacionales, regionales), permitirán que la tendencia del relativo atraso se invierta en un futuro próximo.

8

REFERENCIAS

8.1. PÁGINAS EN LA RED

standards.ieee.org
www.2becom.com
www.abb.com
www.afm.es
www.anfac.com
www.bluetooth.com
www.bosch.com
www.caci.com
www.can-cia.de
www.cea-ifac.es
www.comau.com
www.deltatau.com
www.dinasim.se
www.dspace.de
www.fanucrobotics.com
www.fieldbus.org
www.iaarc.org
www.icr-sa.com
www.ieee.org
www.ifac-control.org
www.ifr.org
www.iso.org
www.kukarobotics.com

www.lanner.com
www.linux.com
www.mathworks.com
www.meau.com
www.medtronic.com
www.microsoft.com
www.modicon.com
www.ncsu.edu/IEEE-RAS
www.nexus-emsto.com
www.odva.org
www.omron.com
www.pc104.org
www.profibus.com
www.rockwell.com
www.siemens.com
www.ss.narc.go.jp
www.staubli.com
www.symbol.com/wireless
www.trimble.com/gps
www.weca.net
www.wolfram.com
www.xbow.com

8.2. REVISTAS

Automática e instrumentación
Manutención y almacenaje
Mundo electrónico
IEEE Robotics & Automation magazine
IEEE Spectrum
IEEE Control systems
Industrial Robot
Vision systems design

8.3. LIBROS

Robótica

- [1] A. BARRIENTOS, L. F. PEÑIN, C. BALAGUER, R. ARACIL, *Fundamentos de robótica*, McGraw Hill, 1997.
- [2] A. OLLERO, *Robótica: Manipuladores y robots móviles*, Marcombo-Boixareu, 2001.
- [3] F. TORRES, J. POMARES, P. GIL, S. T. PUENTE, R. ARACIL, «*Robots y sistemas sensoriales*», Prentice Hall, 2002.
- [4] *World robotics 2003*, United Nations-Economic Commission for Europe (UN/ECE), 2003.

Automatización

- [5] W. BOYES, *Instrumentation Reference Book*, Butterworth-Heinemann, 2002.
- [6] M. P. GROOVER, *Automation, production planning, and computer-Integrated manufacturing*, Prentice Hall, 2000.
- [7] J. P. ROMERO, J. A. LORITE, S. MONTOSO, *Automatización*, Paraninfo, 2001.
- [8] R. L. SHELL, E. L. HALL, *Handbook of industrial automation*, Marcel Dekker, 2000

Control

- [9] A. AGUADO, M. MARTÍNEZ, *Identificación y control adaptativo*, Prentice Hall, 2003.
- [10] P. O. CASTRO, E. F. CAMACHO, *Control e instrumentación de procesos químicos*, Síntesis, 1997.
- [11] L. MORENO, S. GARRIDO, C. BALAGUER, *Ingeniería de control*, Editorial Ariel, 2003.
- [12] R. M. MURRAY (chair), *Control in information reach world*, Report of the Panel of Future Directions in Control, Dynamics and Systems, AFORS, 2002.
- [13] P. THOMAS, *Simulation of industrial process for control engineering*, Butterworth-Heinemann, 1999.



DIRECTORIO DE CENTROS Y EMPRESAS

9.1. UNIVERSIDADES

Universidad de A Coruña

Escuela Politécnica Superior
Departamento de Ingeniería
Campus de Serantes
15405 Ferrol (A Coruña)
<http://www.dii.udc.es>

Universidad de Alicante

Escuela Politécnica Superior
Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría
de la Señal
Carretera San Vicente del Raspeig, s/n
03080 Alicante
<http://disc.ua.es/aurova>

Universidad de Cantabria

Escuela Superior de Ingenieros Industriales y Telecomunica-
ciones
Departamento de Tecnología Electrónica, Ingeniería de Sis-
temas y Automática
Avda. los Castros, s/n
39005 Santander
<http://www.unican.es>

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Avda. Universidad, 30
28911 Leganés (Madrid)
<http://www.uc3m.es/robotics>

Universidad de Castilla-La Mancha

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática
Paseo Universidad, 4 Edificio Fermín Caballero,
13071 Ciudad Real
<http://www.uclm.es>

Universidad de Girona

Escuela Politécnica Superior
Departamento de Electrónica, Informática y Automática
Edificio Politécnica II, Campus Montilivi
17071 Girona
<http://eia.udg.es>

Universidad de Málaga

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Facultad de Informática
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Campus de El Ejido
29013 Málaga
<http://www.uma.es>

Universidad Miguel Hernández

Escuela Politécnica Superior de Elche
Departamento de Ingeniería de Sistemas Industriales
Avda. Ferrocarril, s/n, Edificio Torreblanca
03002 Elche (Alicante)
<http://www.umh.es>

Universidad Nacional de Educación a Distancia

Facultad de Ciencias
Departamento de Informática y Automática
Senda del Rey, s/n
28049 Madrid
<http://www.dia.uned.es>

Universidad de Oviedo

Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales e Informáticos
Departamento de Eléctrica, Electrónica, de Computadores
y Sistemas
Campus de Viesques
33004 Gijón (Asturias)
<http://www.isa.uniovi.es/dieecs.html>

Universidad del País Vasco

Escuela Superior de Ingenieros
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Alameda de Rekalde, s/n
48013 Bilbao
<http://www.disa.bi.ehu.es>

Universidad Politécnica de Madrid

Escuela Superior de Ingenieros Industriales
Departamento de Automática, Ingeniería Electrónica e In-
formática Industrial - DISAM
José Gutiérrez Abascal, 2
28006 Madrid
<http://www.disam.upm.es>

Universidad Politécnica de Cartagena

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Departamento Ingeniería de Sistemas y Automática
Campus Muralla del Mar, Doctor Fleming, s/n
30202 Cartagena (Murcia)
<http://www.upct.es>

Universidad Politécnica de Cataluña

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Facultad de Informática
Departamento de Ingeniería de Sistemas, Automática
e Informática Industrial
Pau Gargallo, 5
08028 Barcelona
<http://webesaii.upc.es>

Universidad Politécnica de Valencia

Escuela Superior de Ingenieros Industriales
Facultad de Informática
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Camí de Vera, s/n
46022 Valencia
<http://www.isa.upv.es>

Universidad de Sevilla

Escuela Superior de Ingenieros
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Camino de los Descubrimientos, s/n
41092 Sevilla
<http://www.esi2.us.es/ISA/GAR>

Universidad de Valladolid

Escuela Superior de Ingenieros Industriales
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Facultad de Física
<http://www.isa.cie.uva.es/isa>

Universidad de Zaragoza

Centro Politécnico Superior
Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas
María de Luna, 1
50018 Zaragoza
<http://diis.unizar.es/>

9.2. CENTROS DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLÓGICOS

AER-ATP (Asociación Española de Robótica - Automatización Tecnológicas de Producción)

Asociación Tecnológica Sectorial
Rambla de Catalunya, 70
08007 Barcelona
<http://www.aeratp.com>

AIDIMA (Asociación de Investigación y Desarrollo en la Industria del Mueble y Afines)

Asociación Tecnológica Sectorial
Parque Tecnológico, s/n - Avda. Benjamín Franklin, 13
46980 Paterna (Valencia)
<http://www.aidima.es>

AITEMIN (Asociación para la Investigación y Desarrollo de los Recursos Naturales)

Asociación Tecnológica
Alenza, 1,
28003 Madrid
<http://www.aitemin.es>

AFM (Asociación de Fabricantes de Máquina Herramienta)

Asociación Tecnológica Sectorial
Parque Tecnológico de San Sebastián - Paseo Mikeletegi, 59
20009 San Sebastián (Guipúzcoa)
<http://www.afm.es>

CARTIF (Centro de Automatización, Robótica y Tecnologías de la Información y la Fabricación)

Centro Tecnológico
Parque Tecnológico de Boecillo, parcela 205
47151 Boecillo (Valladolid)
<http://www.cartif.es>

CEDEX (Centro de Estudio y Experimentación de Obra Pública)

Centro Tecnológico Sectorial
Alfonso XII, 3
28014 Madrid
<http://www.cedex.es>

CEIT (Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Guipúzcoa)

Centro de Investigación
Paseo de Manuel Lardizabal, 15
20018 San Sebastián (Guipúzcoa)
<http://www.ceit.es>

CSIC-IIIA (Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial)

Centro de Investigación
Campus de la UAB
08193 Bellaterra (Barcelona)
<http://www.iiia.csic.es>

CSIC-IAI (Instituto de Automática Industrial)

Centro de Investigación
Carretera N-III, km 22,800
28500 Arganda del Rey (Madrid)
<http://www.iai.csic.es>

CSIC-IRI (Instituto de Robótica e Informática Industrial)

Centro de Investigación
Parque Tecnológico de Barcelona, Edificio U, Carrer Llorens, 4-6
08028 Barcelona
<http://www-iri.upc.es>

CTA (Centro de la Tecnología Azucarera)

Centro Tecnológico Sectorial
Edificio Alfonso VIII
47011 Valladolid
<http://www.cta.uva.es>

CTC (Centro Tecnológico de Componentes del Automóvil)

Fundación

Edificio CDTUC-Industriales, Avda. de los Castros, s/n
39005 Santander

<http://www.ctcomponents.com>

Fatronic (Centro Tecnológico de Maquina Herramienta)

Fundación y Centro Tecnológico

Polígono Ibaítarte, 1. Apdo. de Correos 160
20870 Elgóibar (Guipúzcoa)

<http://www.fatronik.com>

Ikerlan (Centro de Investigaciones Tecnológicas)

Centro Tecnológico

Paseo J. M.º Arizmendiarrieta, 2

20500 Arrasate, Mondragón (Guipúzcoa)

<http://www.ikerlan.es>

Inasmet (Tecnologías de los Materiales, los Procesos Industriales y el Medio Ambiente)

Fundación y Centro Tecnológico

Parque Tecnológico, Teknologi Parkea - Mikeletegi Pasealekua, 2

20009 San Sebastián (Guipúzcoa)

<http://www.inasmet.es>

INESCOP (Instituto Tecnológico del Calzado y Conexas)

Centro Tecnológico Sectorial

Polígono Industrial «Campo Alto»

03600 Elda (Alicante)

<http://www.inescop.es>

IOC (Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales)

Centro de Investigación

Avda. Diagonal, 647, 11.º planta

08028 Barcelona

<http://www.ioc.upc.es>

Labein

Centro Tecnológico
Cuesta de Olabeaga, 16,
48013 Bilbao
<http://www.labein.es>

Robotiker (Centro Tecnológico en Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones)

Centro Tecnológico
Parque Tecnológico, Edificio 202
48170 Zamudio (Vizcaya)
<http://www.robotiker.com>

Tekniker (Centro Tecnológico Especializado en la Fabricación Manufacturera)

Centro Tecnológico
Avda. Otaola, 20
20600 Éibar (Guipúzcoa)
<http://www.tekniker.es>

9.3. EMPRESAS E INGENIERÍAS

ABB (Sistemas Industrial)

Industria e Ingeniería
Sector Robótica y Automatización
Polígono Industrial Suroeste - Illa de Buda, s/n
08192 San Quirze del Vallés (Barcelona)
<http://www.abb.com/es>

Apteca

Ingeniería
Sector Automatización Industrial
Polígono Industrial Las Monjas, Invierno, 9P
28850 Torrejón de Ardoz (Madrid)

ASM

Ingeniería
Sector Automatización Industrial
Ctra. Castellvell, 302
43206 Reus (Tarragona)
<http://www.asmgrupo.com>

Aukor (Automatización y Control Industrial)

Ingeniería
Sector Automatización Industrial
Parque Tecnológico de Galicia, Polígono Industrial San Ciprián de Viñas
32901 Orense
<http://www.aukor.com>

CAD Tech (Delmia)

Industria e Ingeniería
Sector Software Simulación
María Tubau, 5
28050 Madrid
<http://www.delmia.com>

CASA-EADS

Industria e Ingeniería
Sector Aeroespacial
Avda. Aragón, 404
28022 Madrid
<http://www.casa.eads.net>

Deimos Space

Ingeniería
Sector Espacial
Ronda de Poniente, 19, Edificio Fiteni VI, portal 2, 2.ª planta
28760 Tres Cantos (Madrid)
<http://www.deimos-space.com>

DRACE

Industria

Sector Construcción

Avda. Tenerife, 4-6

28700 San Sebastián de los Reyes (Madrid)

<http://www.drace.es>

Dragados y Construcciones

Industria

Sector Construcción

Avda. Tenerife, 4-6

28700 San Sebastián de los Reyes (Madrid)

<http://www.dragados.es>

EINA

Ingeniería

Sector Automatización Industrial

Polígono Industrial Suroeste - Mallorca, 42-44

08192 Sant Quirze del Vallés (Barcelona)

<http://www.eina.net>

ELMEQ

Industria de Componentes

Sector Eléctrico-Electrónico

Aprestadora, 19 - L12

08902 L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona)

<http://www.elmeq.es>

Emerson

Industria de Componentes e Ingeniería

Sector Software Industrial y Control

Ctra. Fuencarral-Alcobendas, km 12,200, Edificio Auge, 1

28049 Madrid

<http://www.EmersonProcess.com>

Empresarios Agrupados

Ingeniería
Sector Eléctrico
Magallanes, 3
28015 Madrid
<http://www.empre.es>

Fanuc (Robotics)

Industria e Ingeniería
Sector Robótica y Automatización
Polígono Industrial "El Camí Ral", nave 12 - Ronda Can
Rabadá, 23
08860 Castelldefels (Barcelona)
<http://www.fanucrobotics.es>

Festo

Industria de Componentes
Sector Neumático
Avda. Gran Vía, 159
08908 L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona)
<http://www.festo.com>

Foxboro (Invensys)

Ingeniería
Control de Procesos
Plaza Manuel Gómez Moreno (AZCA), Edificio Alfredo
Mahou
28020 Madrid
<http://www.foxboro.es>

GAMELSA

Industria
Sector Mecánico
Polígono Industrial «Del Tambre» - Vía Edison, 16
15890 Santiago de Compostela (A Coruña)
<http://www.gamelsa.com>

GAMESA

Ingeniería
Sector Aeronáutico
Parque Tecnológico - Leonardo da Vinci, 13
01510 Miñano (Álava)
<http://www.gamesa.es>

Geocisa

Ingeniería
Sector Construcción
Los Llanos de Jerez, 10-12
28820 Coslada (Madrid)
<http://www.geocisa.com>

GMV

Ingeniería
Sector Espacial
Isaac Newton, 11, PTM
28760 Tres Cantos (Madrid)
<http://www.gmv.es>

IDASA

Ingeniería
Sector Robótica y Automatización
Cuatrecases i Arumí, 13-14,
08192 Sant Quirze del Vallés (Barcelona)
<http://www.idasasistemas.com/ingenieria>

Industrias Lan-Bi

Ingeniería
Sector Robótica y Automatización
Carretera General San Sebastián-Bilbao, km 53
28870 Elgóibar (Guipúzcoa)
<http://www.lanbi.com>

Infaimon

Ingeniería
Sector Visión Artificial
Vergós, 55
08017 Barcelona
<http://www.infaimon.com>

Inser Robótica

Ingeniería
Sector Robótica e Ingeniería
Polígono Igeltzera - Barrikako Bide, 5 A
48610 Urduliz (Vizcaya)
<http://www.inser-robotica.com>

Ingeniería de Aplicaciones

Ingeniería
Polígono Can Llobet
Cuatrecases i Arumí, 10
08192 Saint Quirze del Vallés (Barcelona)
<http://www.idasa.es>

INTA

Ingeniería
Sector Aeroespacial
Carretera de Ajalvir, s/n
28850 Torrejón de Ardoz (Madrid)
<http://www.inta.es>

IZAR (Bazán-Astilleros Españolaes)

Industria
Sector Naval
Cartagena, Fene, Sestao, Ferrol, Gijón, Puerto Real, San Fernando
<http://www.enbazan.es>

Honeywell

Industria e Ingeniería
Sector Control de Procesos
Josefa Valcárcel, 24
28027 Madrid
<http://www.honeywell.es>

Kuka (Sistemas de Automatización)

Industria e Ingeniería
Sector Robótica y Automatización
Polígono Industrial Torrent de la Pastera - Carrer del Bages,
s/n
08800 Vilanova i la Geltrú (Barcelona)
<http://www.kuka-e.com>

Mathworks

Industria
Sector Software Simulación
París, 179-181
08036 Barcelona
<http://www.mathworks.es>

Megacal

Industria
Sector Mecánico
Polígono Industrial Las Monjas - Ecuador, 28
28850 Torrejón de Ardoz (Madrid)
<http://www.interbook.net/empresas/megacal>

Menasa

Ingeniería
Sector Automatización
Polígono Industrial - Carretera Extremadura, km 29
Navalcarnero (Madrid)

Motoman (Robotics)

Industria e Ingeniería

Sector Robótica y Automatización

Polígono Can Calderón - Avda. Marina, 56-B, parcela 90

08830 Sant Boi de Llobregat (Barcelona)

<http://www.motoman.es>

OMRON

Industria e Ingeniería

Sector Automatización Industrial

Hernández de Tejada, 9

28027 Madrid

<http://www.omron.es>

PSA

Industria

Sector Automóvil

Carretera de Villaverde, km 7,50

28041 Madrid

<http://www.peugeot.es>

Robert Bosch

Industria

Sector Automatización Industrial

Hermanos García Noblejas, 19

28037 Madrid

<http://www.robert-bosch-espana.es>

Rockwell Automation

Industria e Ingeniería

Sector Automatización Industrial

Doctor Trueta, 113-119

08005 Barcelona

<http://www.rockwellautomation.es>

SEAT

Industria

Sector Automóvil

Martorell (Barcelona)

<http://www.seat.com>

Schneider

Industria e Ingeniería

Sector Automatización Industrial

Políg. Industrial «Los Ángeles» - Ctra. de Andalucía, km 13

28906 Getafe (Madrid)

<http://www.schneiderelectric.es>

Sener

Ingeniería

Sector Mecánico y Electrónica

Parque Tecnológico-Severo Ochoa, s/n

28760 Tres Cantos (Madrid)

<http://www.sener.es>

Servotecnología

Industria de Componentes

Sector Eléctrico-Electrónico

Parque Residencial Montecarlo, p-40,

45600 Talavera de la Reina (Toledo)

Siemens

Industria e Ingeniería

Sector Automatización Industrial

Ronda de Europa, 5

28760 Tres Cantos (Madrid)

<http://www.siemens.es>

SMC

Industria de Componentes

Sector Neumático

Zuazobidea, 14

01015 Vitoria (Álava)

<http://www.smces.es>

Staubli (Robotics)

Industria e Ingeniería
Sector Robótica y Automatización
Reina Elionor, 178-1.º
08205 Sabadell (Barcelona)
<http://www.staubli.com>

Tecnatom

Ingeniería
Sector Nuclear
Avda. de los Montes de Oca, 1
28709 San Sebastián de los Reyes (Madrid)
<http://www.tecnatom.es>

Tecnomatix

Ingeniería
Sector Software Industrial
Basauri, 17
28023 Madrid
<http://www.tecnomatix.com>

Tempel

Industria de Componentes e Ingeniería
Sector Eléctrico-Electrónico
Cobalto, 4,
08907 L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona)
<http://www.tempel.es>

Thyssen Ingeniería y Sistemas

Ingeniería
Polígono Industrial Sur
Avda. de la Fuente Nueva, 12, Edificio A
28700 San Sebastián de los Reyes (Madrid)
<http://www.thyssenkrup.com>

En esta lista se han incluido las universidades, los centros de investigación y tecnológicos, y las empresas e ingenierías más importantes de nuestro país, todas ellas relaciona-

das con la Robótica y la Automatización. Evidentemente no están todas las que son, pero creemos que hay una representación de todos (o por lo menos de la mayoría) de los sectores y áreas, tales como investigadores, desarrolladores, productores e integradores, así como usuarios finales.

ANEXO 1

PRINCIPALES TECNOLOGÍAS

A1. MÁQUINAS

Las máquinas son los elementos indispensables de cualquier proceso productivo. De la calidad y la productividad de las mismas depende en buena medida el éxito de la empresa. Las máquinas actuales, cuyos exponentes principales son los robots y las máquinas herramientas con CNC, deben ser cuidadosamente analizadas antes de su instalación para que su rendimiento sea el adecuado y no estén infrutilizadas.

Cuando se trata de una *automatización integral*, es decir, cuando no se automatiza sólo un único proceso productivo, sino toda la fábrica, el precio de las máquinas no suele ser tan determinante. En este caso, el coste de toda la instalación supera el de las máquinas. La inclusión de los sistemas de transporte, almacenes de todo tipo, útiles, herramientas, dispositivos de control de calidad, redes de computadores, paquetes software, etc., es, en su conjunto, la parte principal de la inversión. Sin embargo, las máquinas siguen siendo los elementos más importantes, pues su flexibilidad y su interconectividad son las claves del éxito de toda la fábrica.

A1.1. Robots

Desde la aparición de los primeros robots servocontrolados a principios de los años setenta, que dieron lugar al exponencial incremento del número de robots instalados en la industria en los años ochenta, y pasando por la desaceleración en el crecimiento debido al exceso de expectativa creada en los noventa, la Robótica hoy en día es un elemento clave en la automatización de la producción discreta (o por lotes). En algunos sectores manufactureros sería impensable concebir una planta productiva que no contara con robots o sistemas robotizados. Los robots industriales han pasado de ser ciencia ficción a convertirse en habituales acompañantes de los telediarios.

Aunque es difícil dar datos de forma exacta, se puede estimar que el número de robots instalados en el mundo es de 886.000 unidades a finales del año 2004 según la IFR (*International Federation of Robotics*). Japón es líder indiscutible con unos 350.000 robots instalados, pero una parte de éstos son *manipuladores secuenciales* (de tipo neumático), no considerados como robots en el resto del mundo. Respecto a España, hay que destacar que cuenta con unos 20.000, por lo que se encuentra entre los siete países más robotizados del mundo, debido fundamentalmente a que nuestro país es uno de los mayores fabricantes de coches, ocupando los puestos quinto o sexto.

El crecimiento del parque de robots de España se ha consolidado en los últimos años: un 14% y un 11% en 2002 y 2003, respectivamente, según la AER (Asociación Española de Robótica). La industria española cuenta con una alta densidad de robots, cerca de 70 robots por cada 10.000 trabajadores, siendo la industria del automóvil la responsable en gran parte de este crecimiento, dado que instala aproximadamente entre el 65 y 70 % de todos los robots. En este sector las aplicaciones de soldadura por puntos, por arco y pintura son las más demandadas.

Respecto al sector de servicios se prevé un crecimiento espectacular del 20 % en el período 2004-2006 (según la UNECE). Las razones fundamentales del crecimiento tan elevado en este sector son varias. En primer lugar, un apreciable grado de saturación de robots en las aplicaciones más clásicas en la industria del automóvil (soldadura, pintura, etcétera). El dominio de las grandes multinacionales en el sector del automóvil, con una política de contención en la inversión, eleva aún más ese grado de saturación. Otro factor determinante es el drástico abaratamiento de los robots.

La industria robótica (producción de robots, programación, mantenimiento, etc.) es una de las industrias más florecientes. La robótica emplea en Europa directamente a más de 55.000 empleados de alta cualificación, sin contar con una importante subcontratación. Entre éstas destacan las compañías integradoras (ingenierías), que normalmente desarrollan aplicaciones «llave en mano», ayudadas frecuentemente por centros tecnológicos de I+D o por universidades, para el desarrollo de aplicaciones más novedosas y arriesgadas.

La tradición europea en áreas tales como la mecánica de precisión, controles avanzados y novedosos sistemas sensoriales, ha hecho que la industria robótica esté dominada en la actualidad por empresas europeas. De las tres empresas más grandes del mundo dos son europeas (ABB Robotics y Kuka) y la otra japonesa (Fanuc). ABB es líder, estimándose su cuota de mercado mundial alrededor del 30%. ABB, empresa de origen sueco, desarrolló el primer robot servo-controlado de la historia en 1974. Kuka, empresa alemana, que empezó la fabricación de robots en serie en 1977, es la tercera productora de robots en el mundo. El segundo lugar por producción lo ocupa Fanuc, empresa creada hace cuarenta y cinco años para elaborar controles numéricos, que en la última década se ha especializado en Robótica.

Los actuales robots industriales son manipuladores multifuncionales, flexibles y reprogramables. Por esta razón,

aunque estén diseñados para realizar una tarea específica con más éxito, permiten ser empleados para una gran variedad de tareas diferentes. De hecho, la industria del automóvil, principal usuario de robots (sus aplicaciones son las más demandadas), impone las características de los robots, siendo la *robustez* (funcionamiento sin fallos) una de las principales. Los robots manipuladores actuales son máquinas muy robustas y están diseñados para que el *tiempo medio entre fallos* (MTBF) sea del orden de 50.000 horas, con posibilidad de estar en funcionamiento veinticuatro horas al día.

Existen varios criterios de clasificación de robots. Algunos se basan en la estructura mecánica (*grados de libertad*, GDL, tipo de articulaciones, etc.); otros, en el nivel del sistema de control (tipo de trayectorias, lenguajes de programación, etc.); otros en el grado de inteligencia (algoritmos, sensores externos, etc.), sistema de movilidad (robots móviles), etc. En este documento, que pretende presentar las oportunidades tecnológicas de la Robótica, se utilizará la clasificación basada en la funcionalidad. Según la clasificación de aplicaciones de la IFR se pueden distinguir los siguientes tipos de robots:

- *Robots de soldadura por puntos*. Este tipo de robots cuenta con seis o más GDL y tienen una gran movilidad para acceder a posiciones complejas. Son robots de grandes dimensiones (hasta 2,5 metros), transportan cargas pesadas (hasta 60 kilos) y tienen una repetitividad de posicionamiento de unos 0,15 milímetros.
- *Robots de pintura*. Tienen unas características similares a los de soldadura por puntos, excepto que su carga útil es menor, dado que no necesitan transportar equipos tan pesados como en el caso de la soldadura.
- *Robots de soldadura por arco*. En este caso, debido a que no se necesita abarcar grandes superficies, los robots suelen ser más pequeños (hasta 1,5 metros) y transportan cargas no muy pesadas (hasta 5 kilos), ya que

los equipos de soldadura suelen estar fuera del robot. La repetitividad de posicionamiento es muy buena (unos 0,05 milímetros).

- *Robots de manipulado.* Son robots que transportan grandes cargas con una relativa baja precisión de posicionamiento. Abarcan un amplio rango de dimensiones, desde robots pequeños hasta muy grandes (alcance de 1 a 3 metros). En este grupo de robots se incluyen también los robots de tipo pórtico, que con movimientos cartesianos permiten abarcar grandes superficies.
- *Robots de ensamblado.* Están pensados para ser utilizados principalmente en la industria de electrónica de consumo o similar. Por ello, sus dimensiones son pequeñas (menores de 1 metro). La precisión y la velocidad de movimiento son los principales factores que definen este tipo de robots. Dentro de este grupo destacan los robots de tipo SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*), de diseño japonés, que destacan por su reducido número de grados de libertad, normalmente cuatro, y una gran precisión de posicionamiento (aproximadamente unos 0,02 milímetros). Los robots suspendidos de estructura paralela también se emplean para el ensamblado rápido (hasta 150 operaciones por minuto).

Tal y como se ha señalado, la clasificación presentada no es única, aunque define con bastante aproximación el estado de la tecnología. Debido a que los robots son máquinas flexibles, éstos pueden ser empleados y reprogramados en diferentes aplicaciones. Por ejemplo, los robots de soldadura por puntos también pueden realizar operaciones de mecanizado, tales como taladrado, pulido, desbarbado, etc.

Los accesorios y dispositivos auxiliares del robot son de gran importancia. Los elementos terminales (pinzas, dedos, herramientas, electrodos de soldadura, pistolas de pintura, mezcladores de pasta de sellado, dosificadores, etc.) que porta el robot en su extremo son uno de los accesorios

más importantes. Normalmente se diseñan especialmente por el propio usuario para sus aplicaciones. También se comercializan numerosos sistemas de intercambio automático de pinzas, que incluyen los sistemas automáticos de conexionado eléctrico y neumático.

Los dispositivos de soldadura son también muy importantes. La mayoría de los fabricantes de robots ofrecen los sistemas de soldadura integrados con el robot tanto a nivel hardware como software. Aunque la forma de las pinzas de soldadura y la ubicación de los electrodos están desarrolladas para cada aplicación específica, los demás elementos están integrados en el sistema de control del robot: las conexiones eléctricas, el software de control de los parámetros de soldadura, etc.

Las mesas posicionadoras son otro de los dispositivos auxiliares más extendidos. Permiten giros sobre varios ejes, de tal forma que las piezas sean orientadas cómodamente para que el robot opere sobre ellas. El control de las mesas se efectúa desde el sistema de control del robot, con lo que su movimiento está sincronizado con el robot, tanto en el espacio como en el tiempo. Otro dispositivo auxiliar es el raíl de transporte del robot. Con este dispositivo el robot se desplaza en línea recta y, con ello, se aumenta significativamente el área de acción del mismo, que puede llegar hasta los 15 metros.

De hecho, se puede afirmar que el sistema de control del robot es el «centro de operaciones» de su entorno productivo. Desde su sistema de control no solamente se controla el robot en sí, sino también los dispositivos auxiliares, sistemas de transporte, etc. La mayoría de los robots permiten controlar desde su propio armario de control numerosas entradas-salidas de todo tipo (digitales, analógicas, serie, paralelo, etc.). No obstante, la mayoría de los sistemas de control de los robots actuales son totalmente cerrados, hecho que dificulta la integración software.

El lenguaje de programación de robots es de gran importancia. A diferencia del mundo de la informática don-

de los lenguajes de programación están más o menos estandarizados, en robótica cada fabricante cuenta con su propio lenguaje. Además, en la mayoría de los casos los lenguajes no son compatibles entre sí. Esta inmensa variedad de lenguajes hace imposible alguna estandarización software. Llama la atención el hecho de que, mientras el hardware de control de los robots se estandariza cada vez más en torno a plataformas basadas en PC o similar, los lenguajes de programación no siguen el mismo camino.

Uno de los aspectos importantes de los actuales robots es la posibilidad de programarlos fuera de línea (*off-line programming*). Mientras el robot está ejecutando un programa en un ordenador remoto, se puede estar preparando el siguiente programa. Para ello, se necesitan varios datos y herramientas: a) disponer de modelos precisos del robot y de su entorno; b) contar con paquetes específicos de programación fuera de línea, suministrados en algunos casos por los propios fabricantes. La unión de la programación fuera de línea con la simulación es una de las opciones más atractivas, ya que permite no solamente programar el robot, sino también visualizar sus movimientos 3D.

Otro aspecto interesante de los actuales sistemas de control de robots es la posibilidad de interconectarse con otros dispositivos sensoriales externos, como es el caso de las cámaras de visión artificial. Algunos robots comerciales cuentan con un potente sistema de control, que integra los módulos de procesamiento de imágenes, aportando de esta manera una gran flexibilidad a la hora de disponer de un sistema de visión integrado. El aprendizaje de las piezas que tiene que manipular el robot es sencillo gracias a una interfase amigable. De esta forma, el robot podrá realizar operaciones y movimientos en función de los datos que suministre el sistema de visión. Los temas relacionados con la visión artificial serán tratados más adelante con mayor detalle.

A1.2. Máquinas-herramientas con control numérico

Las «máquinas-herramientas» son máquinas que usan herramientas, normalmente intercambiables, para mecanizar, cortar y taladrar. Las operaciones se realizan por acción mecánica de las herramientas sobre las piezas. Existe otro tipo de máquinas relacionadas con la electroerosión, que remueven el material de forma electroquímica. Todas estas máquinas, de extrema productividad, necesitan estar controladas por computador e integrarse en redes informáticas. La elección de la máquina adecuada a cada proceso y su correcta integración en el sistema productivo aumenta sustancialmente la productividad.

El sector de fabricación y automatización de las máquinas-herramientas está dominado por Alemania y Japón, mientras España está en el octavo lugar. Nuestras exportaciones, según la AFM (Asociación de Fabricantes de Máquinas Herramientas), son del orden del 60%, cifra similar a las importaciones. Entre las máquinas-herramientas fabricadas en España, cerca del 70% se hacen con tecnología CNC, lo que no deja de ser un índice bastante alto que demuestra su posición de vanguardia. Aunque las máquinas-herramientas de control numérico se venden como un conjunto único, los fabricantes de las máquinas y de los CNC suelen ser diferentes. De hecho, los fabricantes españoles de los CNC exportan más equipos que los fabricantes de máquinas. Hay que señalar que en los últimos años se ha incrementado la fabricación de máquinas tecnológicamente más avanzadas como ocurre en los Centros de Mecanizado (CM), que cuentan con los más altos niveles de automatización, son flexibles y muy multifuncionales.

Los principales proveedores mundiales de CNC (Fanuc, Siemens, etc.) están abriendo nuevos mercados al margen de los fabricantes de máquinas-herramientas, tales como los sectores textil, electromedicina, semiconductores, papel, vidrio y simples robots. Las arquitecturas más novedo-

sas migran a plataformas basadas en PC, permitiendo más velocidad de cálculo y más ejes controlados simultáneamente. La misma estrategia está adoptando Fagor, primer fabricante español, con sus nuevos modelos desarrollados para mecanizado de alta velocidad, para trabajar con múltiples herramientas y para incorporar novedosas comunicaciones industriales. Los actuales CNC tienden cada vez más a ser sistemas abiertos bajo sistemas operativos tipo *Windows 95/98/NT* con múltiples ventajas, como son la comunicación con PLC, la facilidad con que los usuarios pueden gestionar y monitorizar sus procesos desde cualquier punto de una red convencional de datos, la posibilidad de manejar documentos e integrar las operaciones de las máquinas con el sistema de gestión de la empresa.

Sin embargo, los principales problemas siguen siendo (según el último simposio sobre tecnología de Fanuc) la velocidad de procesamiento, el tiempo de respuesta y el mecanizado de precisión a alta velocidad. La introducción de controles más sofisticados permitirá reducir el tiempo de mecanizado manteniendo la misma calidad. Esta solución es muy efectiva sobre todo para piezas con geometría compleja. El objetivo es que el tiempo de cálculo (tiempo transcurrido entre la orden dada al CNC y la actuación del servomecanismo del eje) sea menor de 1 nm (10^{-9} m) a una alta velocidad de mecanizado. Otro aspecto importante es detectar en tiempo real las cargas en las herramientas, sin la introducción de sensores específicos, mediante la medición de la respuesta de los servomecanismos.

A1.3. Sistemas de transporte y almacenamiento

Los sistemas de transporte y almacenamiento de materias primas, piezas, productos, herramientas y máquinas tienen mucha importancia. Las características principales de estos sistemas son el tipo de acceso, la capacidad, la velocidad,

la reversibilidad, las dimensiones, etc. De su buen dimensionamiento dependen diversos factores tales como la productividad, el tiempo de ciclo y la capacidad de respuesta del sistema productivo ante fluctuaciones de la demanda o condiciones de suministro. Se pueden distinguir dos entornos diferentes: a) el fabril, en el cual el transporte es de corta distancia; b) el de almacén general, en el cual el transporte es de larga distancia, que constituye el entorno propicio para una logística.

Los sistemas de transporte industrial se pueden dividir en tres grandes grupos: a) los denominados sistemas convencionales (cintas transportadoras, raíles, etc.); b) las carretillas; c) los vehículos guiados automáticamente (AGV - *Automated Guided Vehicles*). Una de las características más importantes de los sistemas señalados es su flexibilidad. Si el sistema es rígido, el camino de los productos es único, alcanzándose grandes velocidades de transferencia, mientras si el sistema es flexible, los productos pueden tener diferentes destinos y paradas intermedias. Es evidente que los sistemas flexibles tienen mayor complejidad tanto por su diseño como por su control y gestión del transporte. En el compromiso entre rigidez/flexibilidad, velocidad de transporte y complejidad está la clave del diseño actual de los sistemas de transporte.

Existen numerosas configuraciones de cintas transportadoras tanto por su diseño como por su forma de control: a) de rodillos, de cinta, de tambores, de bandas, etc.; b) lineales, con tramos curvos, etc.; c) de movimiento continuo o discreto; d) sin guías (solamente cinta) o con guías para palés; e) con o sin bifurcaciones; f) con control de velocidad y sin él; g) con control de posición y sin él; h) a un nivel o dos y más niveles; i) terrestres o aéreas (en el techo), etcétera. La tendencia actual es que las cintas transportadoras sean modulares, pudiéndose montar cualquier trayecto mediante un amplio catálogo de módulos. En el caso de industrias donde el espacio es limitado (automóvil), el transporte se hace en varios niveles y suele ser aéreo.

Otra tendencia actual es que el transporte se haga con palés. El palé consiste en una bandeja normalizada que porta encima los elementos que hay que transportar. De esta forma el sistema de transporte se diseña para el palé, con posibilidad de transportar productos diferentes en el mismo palé sin cambio alguno en el sistema. Para el control selectivo del trayecto y/o parada(s) de los palés, éstos suelen llevar el código del producto y/o las operaciones/caminos que debe realizar. Hay varias tecnologías de transferencia de información entre palés y sistema de transporte, algunas de ellas bidireccionales: a) identificadores mecánicos (tipo bits); b) magnéticos, similares a los de las tarjetas personales; c) ópticos; d) radio, etc.

Otro de los sistemas de transporte fabril son las populares carretillas conducidas por operarios. Estas máquinas últimamente han incorporado novedosos sistemas de guiado (por láser) y comunicación (inalámbrica), con lo que se integran en el sistema global de transporte. Sus características más destacadas son el peso que ha de transportar, la altura de elevación de la carga, el ancho que define los pasillos por los que puede transitar, la autonomía de trabajo (consumo), la clase de entorno en donde se pueden mover (interior/exterior), la clase de productos que hay que transportar (contenedores, piezas, etc.), posibilidad de ser articuladas, etc. La tendencia actual es la de intentar dar el salto de carretilla con conductor a carretilla autónoma mediante la conversión de la misma en un robot móvil autónomo.

Los AGV se mueven por el entorno fabril siguiendo múltiples caminos preestablecidos creando una compleja red de trayectorias. El nivel máximo de flexibilidad lo constituyen los vehículos (robots) autónomos (AV - *Autonomous Vehicles*), que incorporan sofisticados sensores y sistemas de control que les permiten navegar de forma autónoma sin trayectorias preestablecidas a priori. No obstante, su complejidad hace que hoy en día su robustez sea limitada, por lo que su uso masivo en la industria es muy reducido.

Los AGV están diseñados, normalmente, para transportar grandes cargas (hasta varias toneladas), pudiendo consistir en piezas (carrocerías de coches, motores, etc.) o productos (palés de *bricks*, bobinas de papel, cajas de discos, etc.). Existen varias tecnologías de guiado de vehículos: a) por seguimiento de rayas (blancas) pintadas en el suelo; b) filoguiados por seguimiento del hilo enterrado en suelo y que irradia un campo magnético; c) por balizas de radiofrecuencia, etc. El guiado por láser es el más novedoso y da lugar a los AGV de tipo LGV (*Laser Guided Vehicle*). El vehículo incorpora un láser que efectúa su guiado mediante reflectores colocados en el entorno. Algunos fabricantes han diseñado carretillas con tecnología AGV, que no solamente controlan su guiado (navegación), sino también la elevación de la carga.

Uno de los puntos clave de los AGV es el sistema de transferencia de cargas, que obliga a contar con un sistema de posicionamiento exacto (normalmente enclavamiento mecánico en el puesto de parada) y un mecanismo bidireccional de movimiento de la carga (rodillos motorizados o similares). Otra parte importante es el control y la gestión de tráfico en entornos con múltiples AGV. La selección del camino que ha de seguir el AGV se la da el computador central de tráfico, que, por ejemplo, activa o desactiva tramos de las trayectorias. En la mayoría de los casos, el sistema de control de tráfico pretende optimizar variables tipo tiempo, volumen, etc., mientras en otras el transporte puede ser dirigido por prioridades.

Desde el punto de vista logístico de distribución de mercancías por carretera, los procesos de seguimiento y planificación de rutas y cargas también se han ido automatizando, creándose el concepto de *teletransporte*, que consiste en la localización y visualización en tiempo real de los camiones, por medio de datos facilitados por el sistema GPS. Una vez localizado por satélite el vehículo, el sistema indica automáticamente qué cargas son compatibles con esa posición, consiguiendo un importante ahorro de tiempo y de recursos.

Los sistemas de almacenamiento automático pueden tener innumerables configuraciones (apilamiento horizontal, carrusel circular, etc.), si bien la última tendencia es la de apilamiento vertical, y cuanto más alto mejor. Los almacenes actuales guardan miles de productos y ocupan grandes superficies. Por ejemplo, el almacén de recambios de una fábrica de automóvil puede ocupar una superficie de 2.000 metros cuadrados con una altura de hasta 32 metros; mientras que el almacén de distribución de productos a tiendas de consumo puede, por ejemplo, tener una capacidad de 80.000 palés. Este tipo de almacenes está constituido por varios pasillos servidos por transelevadores que permiten un acceso selectivo a cada casilla (celda) del almacén.

Los almacenes se pueden dividir no solamente por su estructura y tamaño, sino también por su forma de almacenar y asignar casillas a los diferentes productos. De esta forma, se pueden tener almacenes estáticos y dinámicos. En el primer caso, la asignación es fija y, en el segundo, cambiante, siendo la estructura del almacén reconfigurable en el tiempo. Inclusive las propias casillas pueden ser reconfigurables dando paso a la unión de las mismas para admitir productos o contenedores mayores. Otra característica es el número de productos en cada casilla, que pueden ser uno o varios. En el caso de multiproducto la casilla normalmente funciona como una *pila* LIFO (último en entrar, primero en salir).

En los grandes almacenes la operación por excelencia es la creación de pedidos formados por lotes de productos diferentes (*picking*). Mediante los transelevadores se accede a la casilla solicitada extrayendo el producto solicitado. Para una eficaz gestión de los almacenes (sobre todo grandes) la distribución de los productos debe ser de tipo ABC, es decir, los productos más demandados deben estar más cerca de la salida y los menos en sitios más alejados. La eficaz distribución de productos hace que el tiempo medio de respuesta del almacén ante una demanda sea mínimo. Los almacenes automatizados no solamente aumen-

tan la productividad del sistema, sino que también mejoran sustancialmente las condiciones de trabajo. En el caso de almacenes de productos ultracongelados, que se mantienen a una temperatura de -20°C , el almacén automatizado retira a los operarios de las zonas frías. El proceso de *picking* en este tipo de almacén lleva el producto desde el almacén directamente al camión frigorífico.

La identificación automática de los productos es otra de las necesidades del sistema de almacenaje. Esta identificación puede realizarse mediante códigos de barras, dispositivos de radiofrecuencia, etc. Para un buen almacenamiento los productos deben estar empaquetados de forma adecuada para poder ser manipulados fácilmente. Este proceso, que se denomina *parking*, conlleva la utilización de máquinas automáticas de embalaje. Normalmente estas máquinas consisten en un sistema rotatorio en el que se colocan los palés de los productos, y otro de envoltorio vertical.

A2. SISTEMAS DE CONTROL

Existen múltiples necesidades de control de máquinas, dispositivos o procesos. En algunos casos se necesita controlar dispositivos y procesos continuos, tales como múltiples ejes de movimiento de un robot o de una máquina herramienta, el llenado de un tanque o el nivel del pH de un líquido. El control de estos procesos continuos se efectúa hoy en día con dispositivos digitales, por lo que el control por computador es de tipo digital. En otros casos, el control es de procesos discretos, como, por ejemplo, la presencia o ausencia de un palé en el almacén, la superación de un umbral de temperatura, etc.

Dentro de este apartado se incluyen la mayoría de las soluciones hardware y software para el control de procesos tanto de tipo continuo como discreto. Se trata de un área tecnológica en constante y rápida expansión, dada la vertiginosa evolución de la microelectrónica y la informática.

Se estima que la velocidad de cálculo de los actuales ordenadores se duplica cada dos o tres años. De la misma forma, los sistemas operativos más extendidos se renuevan también cada dos o tres años. Esto hace que los desarrolladores de software de control tengan serias dificultades para estar al día.

Existen numerosas clasificaciones de los sistemas de control. En este documento, presentamos la clasificación basada en el hardware que soporta el sistema de control. Destacamos las tarjetas de propósito general y las específicas, los autómatas programables (PLC), los PC para control, los asistentes personales digitales (PDA) y los sistemas de percepción. Todos ellos tienen por objeto controlar una o más variables físicas según un algoritmo de control determinado. Esto implica que, aunque la clasificación se basa en el hardware, también se analiza el software de control, que incluye sistemas operativos, lenguajes de programación, algoritmos de control, etc.

A2.1. Tarjetas y sistemas controladores

En el mercado existen numerosas tarjetas de control de propósito general, que pueden ser aplicadas para controlar diferentes sistemas físicos, tales como los electromecánicos, térmicos, químicos, eléctricos, etc. Otras tarjetas están específicamente desarrolladas para el control de sistemas concretos (tarjetas dedicadas), por ejemplo, control de movimiento basado en ejes servocontrolados, control de sistemas hidráulicos, etc. El control de tipo PID (Proporcional-Integral-Derivativo) es el más extendido. De la misma manera existen tarjetas de control de una sola variable o eje y tarjetas multivariantes o multieje. En este segundo caso, si el número de variables es grande, los controladores dejan de ser de una única tarjeta, convirtiéndose en sistemas multitargeta, por lo que es crucial entonces la buena sincronización entre todas las tarjetas.

Las tarjetas de control pueden ser de funcionamiento autónomo (*Stand Alone*) o pueden ser incorporadas en diferentes buses (sistema de comunicación entre dispositivos digitales), sobre todo en el bus de los PC. Todas estas tarjetas están preparadas para recibir información sensorial y, por tanto, poder realimentar las correspondientes variables físicas.

Normalmente las tarjetas controladoras están asociadas a fabricantes de CPU y tienen su propio sistema de programación, que suele ser bastante sencillo: en algunos casos mediante precarga del valor de referencia en un contador o mediante escritura directamente en memoria. La mayoría no permite un seguimiento de la evolución temporal de la variable, sino que controlan únicamente el estado final.

Las tarjetas de control de mayor complejidad se distinguen por tres características fundamentales: a) ser más abiertas en la programación del algoritmo de control; b) controlar algunas variables simultáneamente; c) contar con dispositivos e interfases para los sensores que realimentan el sistema de control. Además, disponen de software de desarrollo y ajuste que facilita su programación. De esta forma pueden ser controlados no solamente sistemas con dinámica fija, sino también otros sistemas como los de dinámica cambiante, con no-linealidades, juegos, fricciones, resonancias, etc. La programación de estas tarjetas puede efectuarse desde paquetes *Simulink* (ver apartado «Software de simulación») con una interfase en tiempo real; permite igualmente simular de forma gráfica todo el proceso de desarrollo y pruebas de las aplicaciones, incluida la calibración. Estas tarjetas incorporan, además, módulos de ajuste y sintonía de los reguladores. Las áreas de aplicación son muy extensas: el control de aviones, control de vibraciones en máquinas rotativas, control de la suspensión activa en trenes y automóviles, etc.

Para controlar sistemas continuos complejos (refinerías, cementeras, etc.) de tipo multivariable, con parámetros cambiantes en el tiempo, con un gran número de perturbacio-

nes y con retardos, se necesitan sistemas controladores de gran potencia. En este caso, no solamente el hardware de control debe ser potente, sino que hay que contar con un complejo software de control y de unos adecuados algoritmos. Incorporan módulos de control multivariable y adaptativo, filtros en la salida (*Notch Filter*) para evitar problemas de acoplamiento frecuencial y resonancia, permitiendo la autosintonía de los reguladores tanto en el bucle de realimentación como en el de prealimentación. Permiten igualmente controlar sistemas con retardos. El control óptimo multivariable en forma de control predictivo con modelo de referencia se está convirtiendo en una técnica estándar en la industria de procesos. Este tipo de control tiene muy en cuenta las restricciones y limitaciones de los sistemas, actuadores y variables que haya que manejar.

Otro aspecto importante es que hoy en día se tiende cada vez más a descentralizar el control y gestionarlo de forma compartida. No se requieren sistemas de control excesivamente potentes y complejos, sino sistemas más sencillos, pero muy bien sincronizados en el tiempo y en la evolución de las diferentes variables: por ello el módulo de coordinación adquiere, en este caso, especial protagonismo. De la misma forma, la distribución de procesos y variables que han de tener en cuenta los diversos controladores es de suma importancia. Se necesita una distribución uniforme de las tareas para no sobrecargar a ningún controlador local.

A2.2. PLC

La asociación estadounidense NEMA (*National Electrical Manufacturing Association*) define el PLC como «un equipo digital que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones, para implementar funciones específicas tales como secuenciación lógica, temporización, contadores y operaciones aritméticas para el control, a través de módulos de entradas/salidas digitales y

analógicas, de varios tipos de máquinas y procesos». Esta definición implica que un PLC funciona porque recibe una serie de señales digitales y/o analógicas (de los sensores), las procesa en su unidad central y posteriormente genera otras señales digitales y/o analógicas que sirven de comandos de control a las diversas máquinas que se pretende controlar. Las características fundamentales de los PLC son el número de entradas/salidas (E/S) que pueden manejar, la velocidad de procesamiento de las señales, la capacidad de cómputo de su unidad central, la forma de programación y la conectividad con otros PLC o computadores.

La norma IEC-61131 para PLC permite unificar los procesos de diseño y funcionamiento de los PLC mediante la estandarización de las interfases de programación. El estándar incluye la definición de los lenguajes de programación más extendidos (*Grafcet*, lista de instrucciones, diagrama de contactos, diagrama de bloques de funciones y texto estructurado) y la organización de los programas. De esta forma los programas serán modulares, se aumentará su reutilización, se reducirán los errores y se aumentará la eficacia del programador.

El método de programación mediante diagrama de contactos fue el primer lenguaje desarrollado. Es una representación gráfica de la lógica de relés. Un diagrama básico está compuesto por entradas, contadores y temporizadores. Las salidas están conectadas a los dispositivos físicos (motores, solenoides, luces, etc.). El programa es ejecutado cíclicamente de arriba-abajo, evaluando periódicamente las condiciones de las E/S. La lista de instrucciones es un lenguaje de programación de PLC de bajo nivel y tiene una estructura similar al lenguaje ensamblador para microprocesadores. Debido a su simplicidad, es adecuado para programas de pequeñas dimensiones.

El texto estructurado es un lenguaje de alto nivel con una sintaxis similar a la del lenguaje *Pascal*. Incluye la parte de declaración de datos (tipos variables, constantes, etc.) y la parte de programa con instrucciones de asignación de va-

lores, operaciones aritméticas y lógicas, condiciones, bucles, funciones, etc. La programación mediante la técnica de bloques de funciones se basa, como su nombre indica, en bloques. Éstos incluyen la declaración de datos y el algoritmo del bloque, expresado en forma de texto estructurado, diagrama de contactos u otro método.

El *Grafcet* (*Grphe Fonctionnel de Commande Étapes-Transitions*) es un lenguaje de programación gráfica de alto nivel. Es un estándar francés basado en una representación tipo redes *Petri*, es decir, un grafo que cuenta con nodos interconectados entre sí por transiciones de precedencia. Si la condición se cumple, se efectúa la transición al siguiente estado. La adaptación americana de este estándar se denomina SFC (*Sequential Functional Chart*).

El mercado de los autómatas programables es muy importante en el sector de la automatización. Las tendencias actuales van hacia equipos con muchas entradas/salidas, mucha memoria y, sobre todo, integrados con todo el proceso. El usuario demanda que en el PLC moderno los sensores y actuadores conectados sean fiables en su conjunto y no por separado; demanda igualmente que integre nuevas capacidades, como comunicaciones, herramientas de desarrollo, algorítmica, dando paso, de esta forma, al nuevo concepto de PAC (*Programmable Automation Controller*). Aunque existen numerosos fabricantes de hardware y software para PLC, este sector está dominado por unas pocas compañías, entre las que podemos destacar Siemens, Schneider, Rockwell Automation y Omron.

A2.3. PC de control

El PC (*Personal Computer*) se ha convertido en una herramienta indispensable tanto en la oficina como en el hogar. Además, está escalando posiciones en el uso fabril, de forma que la conectividad actual es casi total: oficina-fábrica-servicios-casa. Poco a poco el PC ha ido desbancando a

otro tipo de ordenadores, como los minicomputadores y estaciones de trabajo, y se ha convertido en un estándar de hecho, tanto por lo que respecta al hardware como al software, incluyendo los sistemas operativos y los programas de aplicaciones.

No obstante, la utilización del PC en los sistemas de control industrial ha sido muy limitada, puesto que se preferían PLC o los sistemas de control específicos. Sin embargo, esta tendencia está cambiando en los últimos años, debido sobre todo a tres factores: 1) la estandarización del PC, de sus periféricos, tarjetas, software, etc.; 2) el bajo coste del mismo; 3) su fácil y amplia conectividad.

Los PC de control industrial (denominados también PC industriales) cuentan con algunas características específicas, aunque su arquitectura normalmente es la estándar. Su chasis suele ser de alta prestación para poder ser montado en los armarios de control. Así mismo, su sistema de ventilación está reforzado para poder aguantar un amplio rango de temperaturas. Para trabajos en estos entornos altamente hostiles se utilizan carcasas con un alto grado de protección denominado IP65. Además los teclados convencionales, que son poco robustos en entornos industriales, pueden suprimirse dando paso a un teclado de membrana integrado en la pantalla. De esta forma, el PC industrial puede llegar a tener una apariencia muy compacta, una «caja» que incorpora pantalla plana tipo TFT (en algunos casos con pantalla táctil), teclado integrado e inclusive algunas teclas de funciones.

Sin embargo, el tamaño de estos PC sigue siendo «grande» y el peso «elevado», por lo que se introduce el concepto PC-104 con tarjetas de tamaño reducido y rectangulares: 90,2 x 95,9 milímetros. Un sistema PC-104 comprende una tarjeta con la CPU y algunos recursos generales, incluidos los recursos necesarios para el control y comunicación con las tarjetas adicionales. A diferencia de la arquitectura convencional de PC que utiliza una placa base (*motherboard*) o un conector (*backplane*) para co-

nectar entre sí las diferentes tarjetas, las del PC-104 disponen de conectores que permiten la conexión directa entre ellas.

Aunque el PC-104 ha sido un importante avance en la reducción del tamaño, peso y coste de los PC industriales, la tendencia actual es adoptar arquitecturas PC con una sola tarjeta, cuya denominación anglosajona es SBC (*Single Board Computer*), por lo que todo lo necesario (CPU, memoria, E/S, etc.) se encuentra en una única tarjeta. Este hecho permite crear arquitecturas con un alto nivel de integración y tener los PC a medida. La mayoría de productos SBC incorporan vías de expansión por si fuera necesario. Si además proporcionamos a este SBC un sistema operativo (SO) integrado en la memoria de la tarjeta, se dice que el PC de una sola tarjeta es embebido, es decir, se trata de la integración del hardware y del software en una sola tarjeta.

En el PC actual cada vez adquiere mayor importancia no solamente su arquitectura hardware, sino también su sistema operativo. Existen dos grandes grupos de SO, los de *Microsoft* y los de *Linux*. Dentro de la familia de *Microsoft* se pueden distinguir SO pensados para un solo usuario, como es el caso de *Windows 98*, *2000*, *XP*, o para servidores que gestionan a muchos usuarios, como es el caso de *Windows NT*. La inmensa mayoría de los PC domésticos y de oficina están equipados con este tipo de SO, convertido ya en estándar. La competencia viene por parte de *Linux*, un SO basado en conceptos de *Unix* y de libre distribución. Para sistemas de tamaño reducido y embebido, existen productos como *Windows CE*, *embedded Linux* y *QNX*, este último con una estructura superreducida que puede entrar en un solo disquete.

Las aplicaciones de control tienen que adquirir, monitorizar, calcular y actuar sobre un número elevado de señales y con tiempos de respuesta muy cortos. Muchos eventos o señales pueden llegar al mismo tiempo con la necesidad de adquirir todas ellas, sin perder ninguna. Cada vez

más, el control de plantas industriales, que constan de numerosos procesos, se realiza de forma distribuida, con lo que se necesita una buena sincronización temporal entre los controladores locales. Todo ello requiere sistemas operativos en tiempo real, es decir, que reaccionan al «instante» ante variaciones en sus entradas. Ejemplos de SO en tiempo real son *LynxOS*, *OS9* y *VxWorks*.

A2.4. PDA

PDA corresponde a las siglas anglosajonas de *Personal Digital Assistant*. Su objetivo inicial fue ser una agenda electrónica de tamaño reducido, que pudiera manipularse con una sola mano. Su reducido tamaño (entra perfectamente en la palma de la mano), su reducido peso (100-250 gramos), una gran pantalla y la posibilidad de usar un lápiz como instrumento de introducción y manejo de datos en vez de los voluminosos teclados, han hecho que la PDA se convierta en muy popular.

Las actuales PDA son de dos clases: las de tipo *Palm*, con una capacidades software relativamente reducidas pero suficientes para los primeros tiempos de su aparición: agenda, libro de direcciones y teléfonos, etc. Actualmente, el sistema operativo de estas PDA es el *Palm OS*, que destaca por su simplicidad, velocidad de cálculo y fácil introducción de numerosos programas de terceros. Un planteamiento similar tienen otras numerosas PDA presentes en el mercado.

El segundo tipo corresponde a las PDA creadas por la compañía Compaq (hoy fusionada con HP) que introdujeron el *iPaq*. Sus diseñadores se centran en reproducir un PC del tamaño de la palma de una mano. El sistema operativo que usan es el *PocketPC*, versión reducida de *Windows CE*, con todo lo que ello conlleva. Se trabaja en entorno *Windows*, con programas tipo *Office*, *Internet Explorer*, *Windows Media Player*, etc. En definitiva, cuenta con la compatibilidad *Microsoft*. Además tiene posibilidades

de incorporar distintos accesorios, como comunicación inalámbrica, sincronización con la red (mediante la actualización de páginas web), incorporar módem, GPS, etc. Los numerosos fabricantes de PDA no sólo están interesados en aplicarlas como elementos portátiles de oficina (agenda, procesador de texto, hoja de cálculo, comunicación web, correo electrónico, etc.), sino también como equipos de control. Su posibilidad de ser «vacuada» e introducir los programas de usuario escritos en *Windows* o *Linux*, y su posibilidad de comunicación inalámbrica, la convierte en un dispositivo portátil de control de potencia reducida pero de muy bajo coste. Se están implementando, cada vez más, aplicaciones de control basadas en PDA tanto en la industria como en los servicios: sistemas de supervisión portátil para almacenes, sistemas de transporte, sistema de intercambio de dibujos, etc.; interfases hombre-máquina para activación/desactivación de procesos a distancia, tanto en modo manual como automático; etcétera. El incremento de la potencia de cálculo de las actuales PDA hace que últimamente se empiecen a emplear como sistemas activos de control. Existen varias aplicaciones para control de robots, tanto industriales como de servicios, que permiten ejecutar el control de alto nivel en los procesadores tipo PDA, incluida la programación de los robots, la ejecución de los programas, etc. Estos conceptos también se están introduciendo a otras aplicaciones de automatización.

A2.5. Sistemas de percepción sensorial

Los sistemas de percepción sensorial se emplean cada vez más en entornos industriales y de servicios. La capacidad para captar información sensorial externa al usuario y al propio sistema de control (visión, distancia, fuerza, tacto, etcétera) permite aumentar la autonomía y la inteligencia de los sistemas automatizados de control. No se trata de un

sistema de control convencional, en el que se realimentan las variables físicas sobre las que actúa directamente el sistema de control (posición, velocidad, temperatura, intensidad, nivel de pH, etc.), sino de un sistema de control superior que permite «ver y palpar» el producto final. Un ejemplo ilustrativo es el control de calidad de la chapa de acero durante el proceso de laminación. El control convencional se encarga de controlar el espesor de la chapa, mediante el control de fuerza y velocidad de los rodillos del tren de laminado. Pero la calidad final de la superficie es controlada de forma visual por un operario. Los sistemas de percepción, en concreto los de procesamiento de imágenes, permiten realimentar, de forma automática, el estado superficial de la chapa y enviar las correspondientes órdenes de ajuste al sistema de control de bajo nivel.

Este documento no pretende analizar la instrumentación convencional, que sería objeto de otro documento distinto. Los sistemas de percepción sensorial que se analizan en este documento se pueden clasificar en tres grandes grupos: a) cámaras; b) medición telemétrica basada en láser; c) sensores de fuerza/par y tacto. Todos ellos han pasado de ser un elemento de «lujo industrial» a un producto de consumo masivo, debido a la bajada de precios y a la facilidad de su integración en el control.

Las cámaras de visión para la implementación de la visión artificial mediante algoritmos de procesamiento de imágenes (visión por computador) son actualmente los elementos más conocidos. La inmensa mayoría de las aplicaciones demandan cámaras de tipo CCD (*Charge Coupled Device*) formadas por un circuito integrado por píxels (puntos). Existen dos tipos básicos de cámaras CCD: lineales y matriciales. En el caso de querer contar con cámaras de color, éstas incorporan tres CCD para los componentes rojo, verde y azul de cada píxel, con lo que su precio y complejidad de procesamiento aumentan. Las características están mejorando de día en día, por lo que su actualización debe ser continua.

Para unificar la transferencia de imágenes, se ha introducido recientemente el protocolo IEEE 1394 (denominado también *FireWire*). Esta norma permite una transferencia de imágenes a través de un *bus* serie de hasta 400 Mbs (megabits/segundo) y la reciente modificación de la norma (IEEE 1394b) de hasta 2,2 Gbits/s. De esta forma, una imagen de 440.000 píxels tarda en transferirse desde la cámara al computador del orden de 1 ms, sin necesidad de dispositivos especiales. Otra tendencia actual es hacer esta transferencia de forma inalámbrica, objetivo que todavía presenta una velocidad de transferencia lenta. Los sistemas de procesamiento de imágenes son los encargados de adquirir y procesar la información procedente de las cámaras de visión. Están formados por tarjetas de adquisición y procesamiento de imágenes y/o paquetes software de procesamiento de imágenes. Desde hace algunos años existen dos tendencias en las tarjetas de procesamiento de imágenes: a) tarjetas dedicadas, de gran sofisticación y potencia de cálculo que adquieren y procesan las imágenes; b) tarjetas sencillas que básicamente adquieren la imagen. En el primer caso, se trata de tarjetas basadas en DSP (*Digital Signal Processor*) de diseño específico con una enorme capacidad de cálculo. Las tarjetas cuentan con numerosos operadores por hardware (extracción de bordes, cálculo de la superficie, etc.), pero también con paquetes de software para el procesamiento más refinado.

En el otro extremo están las tarjetas de bajo coste denominadas genéricamente *Frame Grabbers*. Éstas adquieren la imagen y la guardan en una zona específica de su memoria para después pasar la imagen a la memoria del ordenador en donde están instaladas. Posteriormente, en el PC se efectúa todo el procesamiento de imágenes por software. Esto permite efectuar de forma fácil el reconocimiento de formas y patrones, complejas transformaciones geométricas, lectura de códigos de barras, correlaciones y convoluciones. Estas tarjetas están adquiriendo progresiva-

mente más mercado, dado que son baratas y el considerable aumento de la velocidad de cálculo de los PC permite efectuar el procesamiento por software.

Un aspecto muy importante de los sistemas de visión es la iluminación, ya que las cámaras captan información luminosa. Existen numerosas formas de iluminación que se pueden resumir en: a) direccional, en la que la luz incide directamente sobre la escena; es un método de iluminación empleado sobre todo en localización e inspección de piezas; b) contraluz, en la que el objeto se sitúa entre la cámara y el foco de iluminación; este método es empleado sobre todo en el análisis dimensional de piezas; c) difusa, en donde la luz incide sobre el objeto desde diversas direcciones uniformemente distribuidas; se emplea para objetos con superficies suaves o con brillo; d) estructurada, que consiste en la proyección de patrones de luz (por ejemplo, líneas) sobre el objeto; se emplea para calcular distancias y formas de los objetos; e) polarizada, en donde los rayos luminosos, además de estar oscilando respecto a la dirección de propagación, presentan distinta dirección; se emplea en el análisis de objetos transparentes.

Los sistemas de medición de distancia por láser telemetría se están imponiendo cada vez más en las aplicaciones industriales y de servicios. Las aplicaciones que necesitan bien una medición directa de la distancia o bien una definición de unas barreras de seguridad, tienen una amplia demanda en sectores tan dispares como el del automóvil (control de colisión), la asistencia a discapacitados (sillas de ruedas) o la factoría manufacturera (definición de zonas prohibidas). Los sistemas que presentan una posibilidad de tener información telemétrica espacial permiten tener información de un plano de distancias.

En el caso que de se desee realimentar la información de fuera y/o durante las operaciones de ensamblado (atornillado, inserción, etc.), se suelen usar sensores específicos de esfuerzos. Existen varias tecnologías, pero las más ex-

tendidas son las correspondientes a los dispositivos piezo-eléctricos y los basados en galgas extensiométricas. En el primer caso se trata de dispositivos de medición de fuerzas en una o dos direcciones espaciales, mientras que en el segundo se trata de medir y realimentar esfuerzos en las tres direcciones espaciales, tres fuerzas y tres momentos, con lo que estos sensores se convierten en sensores de 6D. Los sensores de tacto y deslizamiento utilizan tecnologías similares.

A3. COMUNICACIONES

La comunicación industrial asociada a la automatización de procesos y a la fabricación manufacturera es uno de los campos de desarrollo más activos. El flujo de las comunicaciones se produce en todos los ámbitos de la empresa y del negocio. En una estructura de producción organizada según modelo CIM existen varias redes de área local (LAN) con diferentes prestaciones en cuanto a flexibilidad y requisitos temporales. Las redes interactúan de forma jerárquica, de tal manera que el sistema de información y comunicación funciona tanto en sentido vertical como horizontal. Una LAN se distingue de otros tipos de redes por el acotamiento del entorno físico de funcionamiento de la red, como podría ser una empresa u oficina. Según el *National Bureau of Standards* (NBS) estadounidense, se pueden distinguir cinco niveles de la información en la empresa, creando la pirámide CIM:

- *Nivel 0.* En este nivel de la jerarquía CIM se encuentran los accionadores de las máquinas (motores, cilindros, etcétera), así como los sistemas sensoriales de la factoría (temperatura, cámaras, etc.).
- *Nivel 1.* Comprende los elementos de control de las máquinas, tales como controles numéricos, PLC, PC, tarjetas dedicadas, etc. En este nivel las comunicaciones in-

dustriales están dominadas por los *buses* de campo (*Field Bus* - FB).

- *Nivel 2.* Es un nivel de supervisión y control de área y de las células. Las células de fabricación flexible, encargadas de la fabricación en sí, constituyen un conjunto denominado área, que en las grandes empresas abarca una nave específica.
- *Nivel 3.* Este nivel está dedicado a la planificación y programación de la producción con tareas básicas de gestión de los recursos de fabricación, la calidad, los materiales, el mantenimiento y las compras. El MAP (*Manufacturing Automation Protocol*) es su mayor exponente.
- *Nivel 4.* El nivel superior de la pirámide de comunicaciones del modelo CIM lo constituye el nivel corporativo. En este nivel se realiza la gestión económica y de marketing, la planificación estratégica, financiación, ingeniería de producto, etc. Ejemplo destacado de este nivel es el protocolo TOP (*Technical and Office Protocol*).

Mientras la pirámide CIM se centra en las comunicaciones desde el punto de vista de los protocolos, existe otra importante clasificación basada en los servicios que estas comunicaciones ofrecen. Para ello, la ISO (*International Standards Organization*) desarrolló el modelo OSI (*Open System Interconnection*).

El modelo OSI se ha convertido en un marco para el desarrollo de estándares de comunicación. Con el objetivo de simplificar el desarrollo de las redes de comunicación, el modelo OSI está organizado por capas (niveles de comunicaciones), que en concreto son siete: la capa 1 (la más baja) define el nivel físico (comunicaciones serie RS-232-C, USB), por ejemplo, el protocolo *Ethernet* ampliamente utilizado en entornos de redes industriales que sólo define las capas 1 y 2; la capa 3 de «red» realiza el enrutado de las comunicaciones; la capa 4 de «transporte» ofrece un transporte fiable y óptimo en la red; la capa 5 de

«sesión» se dedica a gestionar las comunicaciones entre aplicaciones. En este punto hay que destacar el estándar TCP/IP (*Transmission Control Protocol/ Internet Protocol*) que, aunque no se rige por el modelo OSI, se puede decir que cubre aproximadamente las capas 4 y 5: este estándar es protocolo de Internet. Las capas 6 y 7 de OSI se refieren a «presentación» y «aplicación», respectivamente: en la primera de ellas, el objetivo es que los datos transmitidos se modifiquen de manera que los procesos de aplicación implicados puedan entenderse. La capa 7, la más alta de OSI, tiene por objetivo proporcionar un soporte de comunicación a las aplicaciones del usuario final: en esta capa esta englobado el MAP.

A3.1. Redes de comunicación

El crecimiento exponencial de las redes de comunicación, tanto de datos como de voz e imágenes, hace que una adecuada gestión de éstas tenga cada día más importancia. El número multimillonario de nodos de conexión (IP) de Internet la convierte en el sistema realimentado más grande construido por el hombre. Las tecnologías analizadas en este documento en relación con la Robótica y la Automatización se centran en control utilizando la Red.

La globalización de Internet permite un acceso muy rápido y barato a un gran número de recursos, entre los que pueden estar sensores, actuadores, computadores de control, etc. De esta forma, se pueden efectuar operaciones de teleoperación y telepresencia utilizando la red común. Las aplicaciones más destacadas son: a) monitorización de sistemas de forma remota (por ejemplo, subestaciones eléctricas, plantas químicas, etc.); b) reconfiguración remota de sistemas (almacenes, sistemas de transporte, etc.); c) control directo sobre sistemas (CNC, robots, etc.).

Uno de los mayores problemas en el control utilizando la Red son los retardos en la comunicación, que normalmente son variables. Mientras los algoritmos de control son normalmente síncronos, los datos de los sensores hacia los actuadores son, en este caso, asíncronos. Para paliar este problema se pueden emplear varias estrategias: a) implementar capas intermedias de comunicación que permitan comunicar procesos síncronos con asíncronos; b) desarrollar nuevas estrategias de control multiperódico; c) utilizar algoritmos predictivos de control basados en modelos. En este último caso, el control se efectúa a través del modelo, prediciendo su comportamiento en varios pasos, mientras el modelo de la Red es recalculado en línea.

A3.2. Buses de campo

Los *buses* de campo (FB - *Field Bus*) son sistemas de comunicación serie para entornos industriales. En los últimos años son ampliamente utilizados en las comunicaciones industriales debido a su bajo coste, robustez y facilidad de instalación y programación. Los primeros FB fueron desarrollados a mediados de los años ochenta por los fabricantes de sistemas de control distribuido, entre los que destacan los fabricantes de los autómatas programables (PLC). Los FB son en la mayoría propietarios, es decir, son específicos de cada proveedor o grupo de proveedores. Por ello, aunque existieron varios intentos de estandarización única, actualmente coexisten diversos estándares, en la mayoría de los casos no compatibles entre sí.

La principal ventaja de los FB es que permiten conectar de forma fácil dispositivos diferentes y distribuidos, como pueden ser PLC, PC, tarjetas dedicadas de control (de posición, velocidad, temperatura, etc.), robots, CNC, sensores, actuadores, etc. Las conexiones convencionales punto-a-punto con numerosos cables dejan paso a un *bus* con unos pocos cables. Sus características principales son:

- Bajo coste de instalación y posterior mantenimiento, debido fundamentalmente a la drástica disminución del cableado entre dispositivos.
- Fácil escalabilidad, mediante una sencilla adición de nuevos nodos y/o concentradores, si es necesario.
- Adaptabilidad para ser usados en operación de tiempo real debido a su gran velocidad de transmisión.
- Gran distancia de transmisión de la información con una tasa muy baja de error en la transmisión en entornos industriales.

Existe una amplia gama de FB, normalmente asociados a un fabricante o a un grupo de ellos. A continuación analizamos someramente algunos de los más representativos.

Profibus. Uno de los FB más extendidos, sobre todo en Europa. *Profibus* está soportado principalmente por Siemens y otros fabricantes europeos. La topología de conexión es en línea o estrella. Hay tres versiones: a) *Profibus-PA*, orientado a la automatización de propósito general (edificios, instrumentación, controladores, etc.); b) *Profibus-DP*, orientado a la automatización de la fabricación, caracterizado por una periferia distribuida; c) *Profibus-FMS*, orientado a la automatización de procesos mediante comunicaciones universales con posibilidad de interconectar entre sí redes de PLC y supervisar los procesos.

Fieldbus Foundation. Es un FB no propietario basado en una fundación sin ánimo de lucro que agrupa a más de cien empresas del sector de control e instrumentación, sobre todo en Estados Unidos. De esta forma, se consigue un alto nivel de intercambiabilidad de equipos, pudiéndose mezclar dispositivos *Fieldbus* de diferentes fabricantes. *Fieldbus* está basado en una comunicación serie digital bidireccional. Al mismo tiempo se constituye como una LAN para los equipos de control e instrumentación. Se puede usar en aplicaciones tanto como de control de procesos como de automatización de la fabricación. Cuenta con

una topología de conexión lineal y permite diversas estructuras de control.

CAN. Fue desarrollado por la empresa alemana Bosch y está soportado por la organización CiA (*CAN in Automation*). Su principal aplicación es la industria del automóvil, donde las unidades de control, sensores, sistemas de anti-deslizamiento, ventanas eléctricas y otros sistemas a bordo se conectan con *CAN-bus*. Con esta estructura se consigue disminuir drásticamente el cableado del vehículo. Actualmente se ha introducido en el mercado de aplicaciones domésticas y de control industrial; así mismo, *CAN-bus* está presente en los controladores embebidos.

DeviceNet. Es un protocolo abierto que permite una solución de red económica a nivel de dispositivo. Fue desarrollado originalmente por Allen-Bradley (hoy Rockwell Automation) y actualmente es soportado por la organización ODVA. Permite comunicaciones tanto de tipo maestro-esclavo como del mismo nivel. La topología de conexión es de *bus* lineal.

Modbus. Desarrollado por la firma Modicon (perteneciente en la actualidad al grupo Schneider), se utiliza masivamente en el continente americano. Se caracteriza por estar compuesto por una estación principal y varias subordinadas. Permite tener un gran número de estaciones subordinadas. El mecanismo de intercambio de datos está basado en el método de sondeo principal-subordinado.

A3.3. Comunicaciones inalámbricas

Las comunicaciones inalámbricas han tenido una fuerte expansión en los últimos años, principalmente por el desarrollo espectacular de la telefonía móvil. Ésta última ha producido una importante miniaturización de los equipos y ha aumentado la fiabilidad y el radio de alcance. Las comunicaciones inalámbricas reducen los costes de cableado y mantenimiento. En los próximos años se consolidarán y

mejorarán dos de los estándares de comunicación inalámbrica más prometedores: *IEEE-802.11b* y el *Bluetooth*. El *IEEE-802.11b* está pensado para grandes LAN inalámbricas y el *Bluetooth* para conexión punto-a-punto de pequeños equipos.

El *IEEE-802.11b* es un estándar para conexión en redes de área local inalámbrica WLAN (*Wireless LAN*). Se pueden tener numerosos canales proporcionando de esta manera un alto grado de robustez frente a interferencias. Permite conexión inalámbrica de FB de pequeño alcance. El *IEEE-802-11b* también se ha convertido en un estándar de *Ethernet* inalámbrica.

El estándar *Bluetooth* representa una tecnología de bajo coste pensado para un radio de acción relativamente pequeño. Permite la transmisión no solamente de datos, sino también de voz e imágenes. Su campo de utilidad son básicamente dispositivos portátiles, como PC portátiles, teléfonos móviles, PDA, etc. Está pensado para transmisión de pequeñas cantidades de datos a velocidades no muy elevadas.

Otro de los nuevos productos de comunicación inalámbrica aparecido en los últimos años es el Sistema de Identificación por Radiofrecuencia (RFI - *Radio Frecuence Identification*). Se utiliza en logística, almacenaje y proceso de distribución para el seguimiento y control del flujo de materiales y otras aplicaciones, con el fin de controlar la trazabilidad. Unos de los más conocidos son los denominados *tag* en anglosajón. Son dispositivos con un circuito emisor/receptor y una memoria para registro de datos. También incorporan una batería de alimentación. Últimamente el campo de los *tags* se ha revolucionado con la incorporación de la microelectrónica y nanoelectrónica. Varias empresas japonesas han lanzado *tags* de tamaño muy reducido (0,4 x 0,4 milímetros) que pueden ser programados. No incorporan baterías, por lo que su vida útil es muy grande, activándose al paso de una antena (pantalla plana) que hace que los *tags* emitan radioondas con la información preprogramada.

A3.4. GPS

Aunque estos dispositivos no corresponden directamente a sistemas de comunicación los incluiremos en este apartado, ya que sí utilizan comunicaciones para su funcionamiento. Las siglas GPS corresponden a *Global Positioning System*. Consiste en una flota de 24 satélites que orbitan la tierra a 20.200 kilómetros de altitud con un período orbital de 12 horas y unas estaciones terrestres. De esta forma, el sistema GPS cubre todo el globo terráqueo y puede ser usado en cualquier punto del planeta. El objetivo principal del sistema GPS es suministrar información fiable de la latitud y longitud en las que se encuentra un receptor terrestre, es decir, permite obtener la posición del receptor (x, y, z) y el instante de tiempo de la medida (t).

La gran desventaja del sistema GPS es que debe ser usado en entornos totalmente abiertos. No es posible su aplicación en entornos cerrados o en entornos abiertos muy cerca de paredes, muros, casas, etc., debido a que las señales de los satélites no llegan correctamente. No obstante, las aplicaciones de los GPS a la Robótica y la Automatización son cada vez más numerosas, sobre todo, en el campo de seguimiento en tiempo real de robots móviles de exteriores y para el control de sus trayectorias; de sistemas de medición topográfica para extracción de la geometría del terreno y su posterior almacenamiento en los sistema CAD; de maquinaria de obras públicas (asfaltadoras, compactadoras, etc.) para controlar la calidad del trabajo; de flotas de automóviles (autobuses, taxis, camiones, etc.) para gestionar de forma óptima los recursos, etc. El potencial de esta técnica es muy grande y va en aumento.

A4. SOFTWARE

La reciente evolución de la informática y las comunicaciones ha supuesto su implantación generalizada en todas las

empresas, incluyendo plantas industriales y servicios. Por ello, una gran variedad de programas y paquetes de software ha inundado el mercado. Este tipo de aplicaciones se denomina *informática industrial* e *informática de servicios*, respectivamente. Este software esta cada vez más dirigido a plataformas basadas en PC y se centra fundamentalmente en la automatización de procesos.

A4.1. Software de adquisición, supervisión y control

Con la masiva introducción en la industria de computadores, PLC, tarjetas y hardware dedicado, se hacen cada vez más necesarios los paquetes de programas que adquieran y transmitan la información, supervisen el estado de la planta y de sus variables, e incluso permitan cambiar remotamente los parámetros de los controladores de planta. A este tipo de paquetes se les denomina genéricamente como sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

Los actuales sistemas SCADA, orientados sobre todo a control de sistemas continuos, han ido evolucionando para responder a la implantación de nuevos estándares y a la extensión de las tecnologías de comunicaciones, cuya migración a entornos de información distribuida y a Internet es cada día más patente. Las funciones básicas de un sistema SCADA se pueden reunir en cinco grupos:

1. *Adquisición de datos*. Este tipo de tareas requiere tener una red de dispositivos y sensores que permitan obtener información de las variables físicas que intervienen en el proceso productivo (tensión, presión, temperatura, etc.). La función de adquisición incluye también la gestión de alarmas definidas por el usuario.
2. *Transmisión de datos*. Utilizando diversas redes de comunicación de computadores (buses de campo, Ether-

net, etc.), se realiza el intercambio bidireccional de información entre la planta y el computador en donde reside el sistema SCADA. Esta función incluye la gestión de las comunicaciones tanto locales como remotas.

3. *Bases de datos.* Las bases de datos de los sistemas SCADA tienen un formato específico, por lo que normalmente no son accesibles. Esta especificidad está justificada por la necesidad de obtener tiempos muy cortos de acceso y escritura en las bases de datos, ya que son utilizadas en el bucle de control. Para que los datos de estas bases de datos puedan ser accesibles a bases de datos estándar, éstas disponen de API (*Application Program Interface*).
4. *Presentación.* La información suministrada por los sistemas SCADA es visualizada utilizando interfases amigables. Este tipo de interfases, denominadas HMI (*Human Machine Interface*), incluyen una visualización gráfica del proceso físico y una información alfanumérica correspondiente al valor de las variables del proceso.
5. *Control.* Esta función permite cambiar los parámetros de los controladores de los diversos procesos de la planta. Así mismo, puede lanzar diversas aplicaciones informáticas relacionadas con procesos, tales como mantenimiento predictivo o comunicación con programas de desarrollo propio, por un lado, y con programas de gestión integral de la producción, como los MES (*Manufacturing Execution System*), por otro.

Una de las características de los sistemas SCADA es que se trata normalmente de un software abierto, por lo que cada nueva aplicación debe ser reconfigurada, con el consiguiente esfuerzo que ello supone. La potencia y la facilidad de reconfiguración son características que hay que tener en cuenta en el momento de adquirir un software SCADA, especialmente cuando se trata de la pequeña y mediana empresa que es la que realiza su propia ingeniería. Dentro de

las facilidades de configuración, una característica de gran importancia es el lenguaje de programación. Una novedad en la integración de los sistemas SCADA con los sistemas MES (ver apartado software de gestión) es la aparición de los estándares S88 y SP95. El primero de ellos, que se divide en dos partes, está pensado para: a) el diseño de la arquitectura del proceso de fabricación por lotes (*batch*), describiendo cómo organizar la información sobre producto, producción y control; b) la definición del modelo de datos para realizar la interfase entre los subsistemas implicados. Por su lado, el SP95 (en fase de desarrollo) tiene por objeto definir un lenguaje común para el control de procesos y sistemas de información. De esta forma, la integración de los sistemas de control de procesos con los sistemas de gestión será completa.

A4.2. Simuladores

En el mercado existen numerosos paquetes de software de simulación, desde simulación financiera hasta simulación electrónica, pasando por simuladores de vuelo. En este documento nos centraremos solamente en los paquetes y técnicas de simulación de sistemas dinámicos, tanto continuos como discretos, para su uso en la Robótica y la Automatización. Estos paquetes se pueden clasificar en tres grandes grupos: a) paquetes de simulación de sistemas de propósito general; b) simuladores de robots y sistemas robotizados; c) simuladores de procesos automatizados.

En el primer grupo de simuladores hay que destacar el paquete *Matlab*, líder en el sector de simuladores de sistemas de propósito general. Tiene una estructura distribuida que le permite añadir de forma fácil nuevos módulos (*ToolBox*), con lo que su uso es muy extenso (aeronáutica, modelos financieros, DSP, mecánica, etc.). Respecto al control, se puede destacar la herramienta *Simulink*, que permite simular el comportamiento temporal y frecuencial de sistemas li-

neales (continuos y discretos), sistemas no lineales, multivariados, etc. Es una herramienta gráfica que permite visualizar los diferentes módulos del sistema en forma de diagramas de bloques, así como los comportamientos de las variables. Existen otros numerosos módulos más especializados con el de control, identificación, robótica, etc. Las últimas versiones permiten cálculo simbólico, generar directamente programa código para poder ser ejecutado en los controladores, conectarse a instrumentación de medida, etc. En el mercado existen otros paquetes de simulación similares como *Mathematica*, con una potente capacidad de cálculo simbólica y *Maple*, con una gran accesibilidad.

Dentro de este grupo de paquetes de simulación podemos destacar otros orientados a la simulación y diseño de sistemas complejos que incluyen múltiples procesos interrelacionados: mecánicos, térmicos, eléctricos, electrónicos, etc. Uno de los paquetes más novedosos de este estilo es *Dymola*, un sistema orientado a la simulación de objetos. Los modelos se descomponen de forma jerárquica en submodelos de naturaleza diferente e interrelacionados entre sí. De este modo, se pueden describir sistemas complejos como una caja de cambios completa. Los modelos se pueden dar en forma de ecuaciones, algoritmos, grafos, etc. Otros ejemplos de este tipo de simuladores pueden ser el *EcosimPro*, integrado en un entorno visual similar al *Microsoft Visual Studio*, y el *VisSim*, orientado a complejos sistemas no-lineales (aviónica, química, etc.).

En este apartado incluiremos también la descripción de numerosos paquetes de software que permiten el desarrollo de aplicaciones de automatización y monitorización de señales, creando de esta forma un sistema de instrumentación virtual. El paquete *LabView* ha sido uno de los pioneros en este campo. Se basa en un entorno gráfico con una extensa librería de instrumentos de medida que pueden ser conectados al sistema con la posibilidad de análisis y visualización de las mismas.

En la parte de sistemas de simulación para robots existen varios paquetes comerciales. La mayoría de ellos permiten simular tanto los robots por separado como los sistemas robotizados y las células de fabricación completas. Algunos de ellos permiten inclusive generar programas en código del propio robot y transferirlos a su memoria. Entre los paquetes más conocidos podemos destacar *Grasp*, *RobCad* e *Igrip*.

Grasp es una herramienta de simulación 3D que permite simular áreas de alcance, configuraciones del robot, tiempos de ciclo, etc.; cuenta con una amplia biblioteca de robots y permite una programación *fuera de línea* (sin el robot en marcha) en la mayoría de los lenguajes de programación de robots.

El paquete *RobCad* forma parte de un conjunto de herramientas CAPE (*Computer-Aided Production Engineering*), que permite visualizar y optimizar sistemas de producción y diseñar células flexibles de fabricación. Está ampliamente extendido en la industria del automóvil y permite un estudio tanto dinámico como cinemático de los procesos.

Por último, el paquete *Igrip* tiene como característica relevante que puede importar datos de diferentes sistemas CAD y dispone de traductores a diferentes formatos.

El último grupo de paquetes que vamos a analizar corresponde a la simulación de procesos productivos. Estos permiten simular todo el proceso productivo incluyendo las máquinas, sistemas de transporte, almacenes y operarios. En este campo destacaremos dos de los paquetes más extendidos: *SimFactory* y *Witness*.

SimFactory, cuyas últimas versiones se denominan *SimProcess*, es un entorno de simulación que permite integrar simultáneamente procesos discretos y continuos. Cuenta con una potente interfase gráfica que permite visualizar los procesos, las máquinas, los sistemas de transporte y los recursos. Permite igualmente generar diferentes tablas de prioridades, de tiempos, de distribución de anomalías y fallos, etc.

El paquete *Witness* puede simular sistemas discretos y continuos, y cuenta con un potente módulo de optimización. Permite de forma automática encontrar una solución óptima minimizando funciones de coste tipo tiempo, mínimo *stock*, máxima producción, máxima robustez, personal, etc. Así mismo, la visualización es en 3D y de muy alta calidad, permitiendo tener *realidad virtual* y navegar por la factoría. Las estadísticas de los resultados de la simulación, tanto en formato gráfico como numérico, pueden ser indexadas según las necesidades del usuario.

A4.3. Software de gestión

La gestión de una empresa en todos los ámbitos (producción, personal, costes, materiales, *stocks*, etc.) es actualmente una de las necesidades más importantes. Si nos fijamos en una fábrica de automóviles, veremos que la producción de un coche es un proceso que consta de múltiples subprocesos: fabricación de chapa, motores, amortiguadores, etc.; ensamblado de las carrocerías, de la dirección, del interior, de la electrónica, etc.; pintura, control de calidad, etc. Todos estos procesos están relacionados entre sí y, a su vez, con los diferentes suministradores y, sobre todo, con la demanda del mercado. De la correcta gestión dinámica de los diferentes recursos materiales y humanos depende la rentabilidad de la producción.

El primer intento serio de gestión de una factoría fue el sistema MRP (*Materials Requirements Planning*). Este sistema tenía por objeto la planificación de los flujos de materiales dentro de una factoría y permitía reducir el coste del *stock* de materiales y piezas necesarios para asegurar el funcionamiento ininterrumpido de la factoría, sobre todo cuando el número de piezas era muy elevado. No obstante, los sistemas MRP demostraron que presentan varios problemas importantes: a) se tenía en cuenta solamente el flujo de en-

trada; b) las estrategias de toma de decisión se basaban en reglas empíricas obtenidas de experiencias anteriores; c) no se consideraban las restricciones de capacidad de producción, almacenamiento, transporte.

Para poder abordar estos problemas, el planteamiento debía ser más general, es decir, tener en cuenta toda la cadena de producción. A este objeto se introdujo en el MRP II (*Manufacturing Resource Planning*), cuyo objetivo era la gestión y control de los recursos de fabricación, ingeniería, ventas y finanzas. De este modo se pueden planificar las capacidades de los almacenes, optimizar los *stocks*, planificar la producción tanto a largo como a corto plazo, definir los diferentes flujos (*scheduling*), planificar en cadena cerrada teniendo en cuenta la realimentación y gestionar y generar documentos. Otra idea importante fue la introducción de la simulación de la producción, que permitía visualizar en un tiempo muy corto el estado de la factoría.

El desarrollo de sofisticados modelos matemáticos basados en redes y grafos, la introducción de la estadística, el abaratamiento de los computadores y el espectacular aumento de sus prestaciones permitieron que en los años posteriores, y sobre todo en los noventa, los sistemas MRP II dieran paso al ERP (*Enterprise Resource Planning*). La principal ventaja de los sistemas ERP es la integración de todos los módulos de gestión, control y planificación en una base de datos común y con un mismo objetivo: el plan estratégico de la empresa, de modo que los sistemas financiero, logístico y productivo estén integrados y sean ejecutados simultáneamente. Los sistemas ERP suelen contar con los siguientes módulos básicos: finanzas, distribución, recursos humanos, fabricación, transporte, ingeniería y servicios. Están basados en el concepto cliente-servidor, por lo que necesitan potentes bases de datos y buenas comunicaciones. Los numerosos paquetes de software comercial de ERP van dirigidos a tres tipos de empresas:

- Grandes empresas: requieren los paquetes más completos y muy adaptables a su especificidad; su implantación es compleja y puede durar aproximadamente un año, con la necesaria participación de expertos del fabricante.
- Empresas de tamaño medio: requieren tiempos de implantación cortos, alrededor de varios meses, y de menor complejidad; a menudo necesitan integrar paquetes hechos anteriormente a medida.
- Pequeñas empresas: no requieren paquetes complejos, limitándose a resolver los problemas de contabilidad, ventas, inventario, sueldos y similares.

Son muchos los fabricantes de sistemas ERP que existen en el mercado. Entre ellos podemos destacar al fabricante alemán SAP (*Systems Applications and Products in Data Processing*), actualmente líder indiscutible del mercado. La empresa ofrece dos paquetes básicos: SAP R/2 para grandes ordenadores (*mainframes*) y SAP R/3 de tipo cliente/servidor para pequeñas y medianas empresas, ejecutable en ordenadores de menor potencia de cálculo, incluidas las plataformas PC.

El futuro de los paquetes de software ERP va unido al vertiginoso desarrollo e implantación del uso de Internet. Cada vez más se crean sitios web especializados (*vertical web-sites*) en industrias y mercados específicos: química, automóvil, aeroespacial, etc. A través de estos sitios no solamente se pueden efectuar compras de productos y servicios, sino también el mantenimiento remoto la empresa, el control y la supervisión, el diseño de nuevos productos y procesos, etc. Por ello, la creación de múltiples e-ERP a través de esos sitios es inminente. Con ello, se podrán crear grupos de usuarios, normalmente no competidores entre sí, para que compartan experiencias, recursos y datos. Estos grupos no sólo compartirán el sitio web, las BD, los programas ERP, sino también diversos servicios como noticias, análisis de mercados, simulaciones, etc.

A5. TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN EN LA INDUSTRIA

Lo que nos espera en la primera década del siglo XXI es sin duda la sociedad de la información, definida por el *e-manufacturing* (fabricación electrónica), *e-business* (comercio electrónico), por el B2B (*business-to-business*), etc. En el sector industrial las tecnologías de información serán clave, dando lugar al término anglosajón *Industrial IT* (TI Industriales). Las TI Industriales se definen como la integración en tiempo real y a todos los niveles de la empresa, de la automatización, la información y el negocio colaborativo. Mediante un sistema de control abierto se pueden configurar de forma automática las plantas (y los equipos), adaptándolos a las necesidades de la fabricación de nuevos productos.

Ejemplo de esta estrategia puede ser el proceso de configuración de los mecanizados de los ejes de los motores eléctricos de una empresa. En el proceso tradicional, el cliente encargaba al vendedor, por teléfono o fax, las características de los ejes. Posteriormente el vendedor se ponía en contacto con la planta de fabricación, que tenía que modificar su planificación e introducir en las máquinas los nuevos parámetros de los ejes. Todo este proceso llevaba cuatro semanas y tenía un coste de 225 euros; ahora, el proceso se lleva a través de Internet (utilizando la página web del fabricante), con una duración de dos días y un coste de 35 euros. De esta forma, el objetivo del comercio electrónico no consiste solamente en aumentar las ventas, sino, sobre todo, en permitir una interacción cliente-fabricante en tiempo real.

Se reducen drásticamente las esperas entre el cliente y el proveedor. Por ejemplo, en el proceso de compra de un coche nuevo, más del 80% del tiempo de espera del cliente son esperas entre cliente y vendedor, entre vendedor y proveedor, y entre el proveedor y el fabricante. Para reducir al mínimo estas esperas es necesaria la integración del software entre todos los interlocutores a través de la Red.

En el proceso de fabricación de piezas deben ser integrados el diseño mecánico, el control de la producción, las especificaciones del producto y los procesos, y el control de almacén (*stocks*).

Un aspecto importante de las TI Industriales es la ingeniería *reusable*. La idea consiste en utilizar módulos ya desarrollados para futuras nuevas aplicaciones. Los dos grandes problemas de este tipo de ingeniería son: a) la necesidad de escribir los programas y módulos en lenguajes orientados a objeto; b) la necesidad de una buena documentación y una buena base de datos sobre los módulos existentes. De esta forma, se pueden conseguir dos grandes beneficios: reducir el tiempo de desarrollo de las aplicaciones y aumentar la robustez de las mismas.

Otro aspecto igualmente importante de la TI Industriales son las herramientas de teleoperación y telepresencia. Éstas permiten no solamente visualizar y actuar (controlar) a distancia (de forma remota), sino también tener una sensación de presencia física en la planta. Para ello los sistemas con retroalimentación bilateral (en ambas direcciones) juegan un papel importante. El operario remoto puede sentir a través del tacto, fuerza y/o visión la evolución de determinadas variables físicas del proceso. Así mismo, la formación y adiestramiento de los nuevos operarios también se puede realizar de forma remota. La mayoría de estas aplicaciones se realizan actualmente por Internet, aunque algunas empresas ofrecen líneas dedicadas a este tipo de aplicaciones.

El aprovechamiento de los recursos de Internet para la actividad comercial de las empresas es otra de las partes importantes de la TI Industriales. El *e-commerce* (comercio electrónico) apunta mucho más lejos de la mera utilización de la Red como escaparate de su oferta de productos y servicios. La posibilidad de venta directa reduce los costes para el suministrador y el precio final para el cliente. El comercio electrónico no solamente está pensado para el modelo final empresa-cliente, sino también para el modelo

empresa-empresa (caso del B2B). En el caso del mercado de automatización, algunas empresas ya han puesto en marcha iniciativas para encaminar al menos una parte de sus ventas a Internet.

A6. MICROSISTEMAS Y NANOTECNOLOGÍA

Una de las tecnologías más modernas se refiere al desarrollo de dispositivos y sistemas de tamaño muy pequeño. De hecho, en los últimos Programas Marco de Investigación de la Unión Europea la temática de nanotecnología está definida como prioritaria. A diferencia de la producción actual, que es a escala molecular, la nanotecnología propone trabajar en un futuro próximo a escala atómica. Mientras tanto, los desarrollos tecnológicos se están centrande a escala de microsistemas. Dentro de este tipo de tecnologías se pueden destacar los microsistemas electromecánicos (MEMS - *Micro Electro Mechanical Systems*).

Los MEMS, a diferencia de los sistemas tradicionales, permiten integrar elementos mecánicos, sensores, actuadores y electrónica en un sustrato común de silicio mediante técnicas de microfabricación. Mientras los dispositivos electrónicos convencionales (*chips*) están fabricados siguiendo el procedimiento de circuitos integrados, los componentes micromecánicos incorporan partes fabricadas con procedimientos de micro-mecanizado. De esta forma, los MEMS integran las dos tecnologías, microelectrónica y micromecanizado, con el objetivo de crear sistemas en un sólo chip (*systems-on-chip*).

Las posibles aplicaciones de los MEMS son muchas y cubren numerosos sectores. Una de las aplicaciones más extendidas es el desarrollo de nuevos microsensores con partes móviles. Por ejemplo, los acelerómetros y giróscopos 3D más modernos están integrados en un sólo chip (5 milímetros) con hasta dos micromasas móviles en su interior. Las aplicaciones en medicina son también importantes,

como es el caso de microscopios con partes móviles de hasta 2 μm en un sólo chip para la exploración biológica del cuerpo humano, creando de esta forma la *microrrobótica* y *nanorrobótica*.

El micromecanizado es una de las partes más delicadas de los microsistemas. La fabricación de componentes metálicos o poliméricos puede realizarse bien directamente mediante el micromecanizado o a través de la creación de micromoldes para la obtención de las piezas. En el primer caso, están en fase de desarrollo microfresadoras especiales con cojinetes aerostáticos y husillos que permiten obtener una exactitud de 30 nm, muy superior a las actuales, que alcanzan 1 μm . En el segundo caso, existen máquinas comerciales que permiten fabricar micromoldes para micropiezas de 1,5 milímetros de longitud máxima con espesores de pared de 400 μm .

Usando este tipo de tecnologías pueden ser desarrollados microsistemas activos tales como válvulas, motores y actuadores, con los que, a su vez, se desarrollan microrrobots y nanorrobots. Las microválvulas de fluidos comerciales con partes móviles (membranas actuadas piezo-eléctricamente) tienen una dimensión típica de solo varios mm, un peso de menos de un gramo y un caudal de 200 μl /minuto. Los micromotores MEMS comerciales más típicos tienen un diámetro de 1,9 milímetros y una longitud de 5,5 milímetros, pudiendo girar a una velocidad máxima de 100.000 rpm. Se pueden suministrar con reductores de 47:1 con una longitud de 3,7 milímetros.

El auge de los microsistemas ha hecho que los microrrobots sean una de las tendencias actuales. Aunque básicamente los conceptos en los que se basan los microrrobots no difieren de los correspondientes a los robots convencionales, las especificaciones de éstos los hace singulares. Su tamaño reducido hace que puedan ser orientados a aplicaciones tales como la biología de la salud (microinyecciones, microanálisis in situ), microcirugía cardiovascular, ensamblado de microsistemas, etc.

ANEXO 2

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

AGV: Vehículos Guiados Automáticamente (*Automated Guided Vehicle*): robots móviles que se desplazan por el entorno fabril siguiendo múltiples caminos pre-establecidos.

Autómata: Sinónimo de Autómata Programable: ver PLC.

AV: Vehículos Autónomos (*Autonomous Vehicles*): robots móviles autónomos que incorporan sofisticados sensores y sistemas de control para un movimiento libre en el entorno.

B2B: Negocio para negocio o empresa a empresa (*Business-to-Business*): sistema de negocio en el que las empresas intervienen como usuarias (compradoras o vendedoras) y como proveedoras de herramientas o servicios de soporte para el comercio electrónico.

Batch: Producción discreta o por lotes de productos, ejecutada normalmente de forma secuencial.

Buffer: Almacén intermedio o de reserva.

Bus: Sistema normalizado de comunicación entre dispositivos digitales, consistente en un grupo de conexiones eléctricas usadas para unir circuitos y/u ordenadores entre sí mediante una conexión en paralelo.

Bus de campo: *Field Bus*: sistemas de comunicación serie para entornos industriales que utiliza un número reducido de cables y un protocolo de comunicación específico.

CAD: Diseño Asistido por Computador (*Computer Aided Design*): sistemas automatizados de diseño y creación técnica de un producto.

CAE: Ingeniería Asistida por Computador (*Computer Aided Engineering*): sistemas que analizan los diseños de ingeniería realizados con el ordenador, para simular sus características, propiedades y viabilidad.

- CAM: Fabricación Asistida por Computador (*Computer Aided Manufacturing*): sistemas que permiten controlar la fabricación de un producto de forma interactiva, incluyendo el control numérico, el control de procesos y la robótica.
- CCD: Dispositivo de Carga Acoplada (*Charge Coupled Devise*): tecnología de semiconductores usada en cámaras de visión de alta definición. El *chip* del CCD consiste de una serie de fotocélulas sensibles a la luz que transmiten su carga a las células adyacentes.
- CFF: Célula Flexible de Fabricación de un sistema FMS, normalmente compuesta por robots, sistemas de transporte y almacenamiento, máquinas, etc.
- CIM: Fabricación Integrada con Computador (*Computer Integrated Manufacturing*): sistema conceptual de fabricación industrial que tiene por objeto controlar mediante computador todas las fases de fabricación desde el diseño hasta la distribución.
- CNC: Control Numérico por Computador (*Computer Numerical Control*): sistema de control por computador de máquinas herramientas.
- CPU: Unidad Central de Procesamiento (*Central Processing Unit*) de un computador.
- DGPS: GPS Diferencial (*Differential GPS*): sistema que permite aumentar la precisión de medida del GPS.
- DSP: Procesador de Señales Digital (*Digital Signal Processor*): dispositivo de procesamiento de señales a alta velocidad.
- E/S: Entradas y salidas de un dispositivo de control.
- Edutainment: Nueva área de aplicación de la robótica a la educación y entretenimiento; el término está formado por las palabras anglosajonas *education* y *entertainment*.
- Encoder: Sensor de medición de desplazamiento angular basado en tecnología óptica.
- ERP: Planificación de los recursos de la Empresa (*Enterprise Resource Planning*): sistema de gestión de la in-

- formación que satisface la demanda de soluciones de gestión empresarial de los recursos.
- FMS: Sistema Flexible de Producción (*Flexible Manufacturing System*): sistema de producción flexible.
- Frame grabber: Dispositivo que convierte imágenes de vídeo en imágenes gráficas digitales.
- GDL: Grados de Libertad de un mecanismo (robot) que define el número de movimientos independientes que éste puede realizar respecto a una base.
- GPS: Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System*): sistema de satélites que transmiten continuamente y permiten identificar posiciones sobre la tierra por triangulación mediante una unidad de recepción.
- Grafcet: Grafo de Comandos de Transición (*GRAPHe de Commande Étapes-Transition*): uno de los lenguajes de programación de los PLC.
- HMI: Interfase Hombre-Máquina (*Human-Machine Interface*): entorno o dispositivo que permite que el hombre se comuniquen con la máquina de forma cómoda.
- LAN: Red de Área Local (*Local Area Network*): red de dispositivos (ordenadores, concentradores, impresoras, etc.) conectados entre sí en un área geográfica pequeña que, mediante un sistema de comunicaciones a alta velocidad, permite compartir hardware, software y datos entre los usuarios.
- Láser telémetro: Sensor basado en tecnología láser que mide distancias.
- Man-in-the-loop: Esquema de control en el que el hombre se encuentra en el bucle de control automático, pudiendo actuar según sus criterios.
- MEMS: Sistema Microelectromecánico (*MicroElectroMechanical System*): micromáquinas, generalmente construidas sobre obleas de silicio, con tamaños micrométricos.
- PC: Computador Personal (*Personal Computer*): microcomputador de propósito general monousuario introduci-

do por IBM. El término se ha extendido a todos aquellos ordenadores compatibles, siempre y cuando estén basados en procesadores compatibles.

PDA: Asistente Digital Personal (*Personal Digital Assistant*): computador de reducidas dimensiones, diseñado para usarse sobre la palma de una mano. La vía más común de entrada es el lápiz en lugar del teclado mediante una pantalla táctil.

PID: Controlador Proporcional-Integral-Derivativo: uno de los más extendidos en el control industrial.

Píxel: Punto que representa el elemento más pequeño de un espacio de visualización al que se puede asignar color e intensidad.

PLC: Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller): computador de bajo coste y, aunque de limitada capacidad de cómputo, muy fácil de programar y muy adaptable al entorno industrial.

Programación de alto nivel: Programación en un lenguaje de alto nivel.

Programación fuera de línea: Procedimiento de programación de máquinas (robots) en computadores remotos, que permite simultanear el funcionamiento de la máquina con su programación.

SCADA: Control Supervisado y Adquisición de Datos (*Supervisory Control And Data Acquisition*): aplicaciones que recolectan la información de sensores y máquinas para ser utilizada en la supervisión, gestión y control de procesos.

Tag: Etiqueta, normalmente electrónica, que identifica un producto o dispositivo mediante lectura óptica, magnética o radiofrecuencia.

TCP/IP: Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo Internet (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*): conjunto de protocolos de comunicación, que permiten a ordenadores distintos compartir información en una red. TCP/IP es la base de Internet.

- Telepresencia: Procedimiento de transmisión hacia el operador (y sus computadores) de la información sensorial de las máquinas remotas.
- Teloperación: Procedimiento de control de máquinas a distancia de forma remota.
- Tiempo real: Proceso de datos por un computador en conexión con un proceso externo al mismo y de acuerdo a las necesidades de tiempo impuestas por el proceso externo.
- UAV: Vehículos Aéreos No tripulados (*Unmanned Aerial Vehicles*): robots aéreos no tripulados en forma de aviones o helicópteros que realizan las tareas encomendadas de forma autónoma.
- WLAN: Red de Área Local Inalámbrica (*Wireless Local Area Network*): ver LAN.

Las definiciones de este glosario han sido consultadas electrónicamente en:

- Glosario de Terminología Informática, José Luis Prieto, <http://www.tugurium.com/gti>
- The Free On-line Dictionary of Computing, Denis Howe, <http://www.foldoc.org>
- Control Engineering Online Technical Terminology and Definitions, <http://www.manufacturing.net/ctl>

DOCUMENTOS COTEC sobre OPORTUNIDADES TECNOLÓGICAS

Documentos editados

- N.º 1: Sensores.
- N.º 2: Servicios de información técnica.
- N.º 3: Simulación.
- N.º 4: Propiedad industrial.
- N.º 5: Soluciones microelectrónicas (ASIC) para todos los sectores industriales.
- N.º 6: Tuberías de polietileno para conducción de agua potable.
- N.º 7: Actividades turísticas.
- N.º 8: Las PYMES y las telecomunicaciones.
- N.º 9: Química verde.
- N.º 10: Biotecnología.
- N.º 11: Informática en la Pequeña y Mediana Empresa.
- N.º 12: La telemática en el sector de transporte.
- N.º 13: Redes neuronales.
- N.º 14: Vigilancia tecnológica.
- N.º 15: Materiales innovadores. Superconductores y materiales de recubrimiento.
- N.º 16: Productos alimentarios intermedios (PAI).
- N.º 17: Aspectos jurídicos de la gestión de la innovación.
- N.º 18: Comercio y negocios en la sociedad de la información.
- N.º 19: Materiales magnéticos.
- N.º 20: Los incentivos fiscales a la innovación.
- N.º 21: Minería de datos.
- N.º 22: Wireless.
- N.º 23: Robótica y Automatización.

DOCUMENTOS COTEC sobre NECESIDADES TECNOLÓGICAS

Documentos editados:

- N.º 1: Sector lácteo.
- N.º 2: Rocas ornamentales.
- N.º 3: Materiales de automoción.
- N.º 4: Subsector agroindustrial de origen vegetal.
- N.º 5: Industria frigorífica y medio ambiente.
- N.º 6: Nuevos productos cárnicos con bajo contenido en grasa.
- N.º 7: Productos pesqueros reestructurados.
- N.º 8: Sector de la construcción.
- N.º 9: Sector de la rehabilitación.
- N.º 10: Aguas residuales.
- N.º 11: Acuicultura.
- N.º 12: Reducción de emisiones atmosféricas industriales.
- N.º 13: El mantenimiento como gestión de valor para la empresa.
- N.º 14: Productos lácteos.
- N.º 15: Conservas vegetales.