

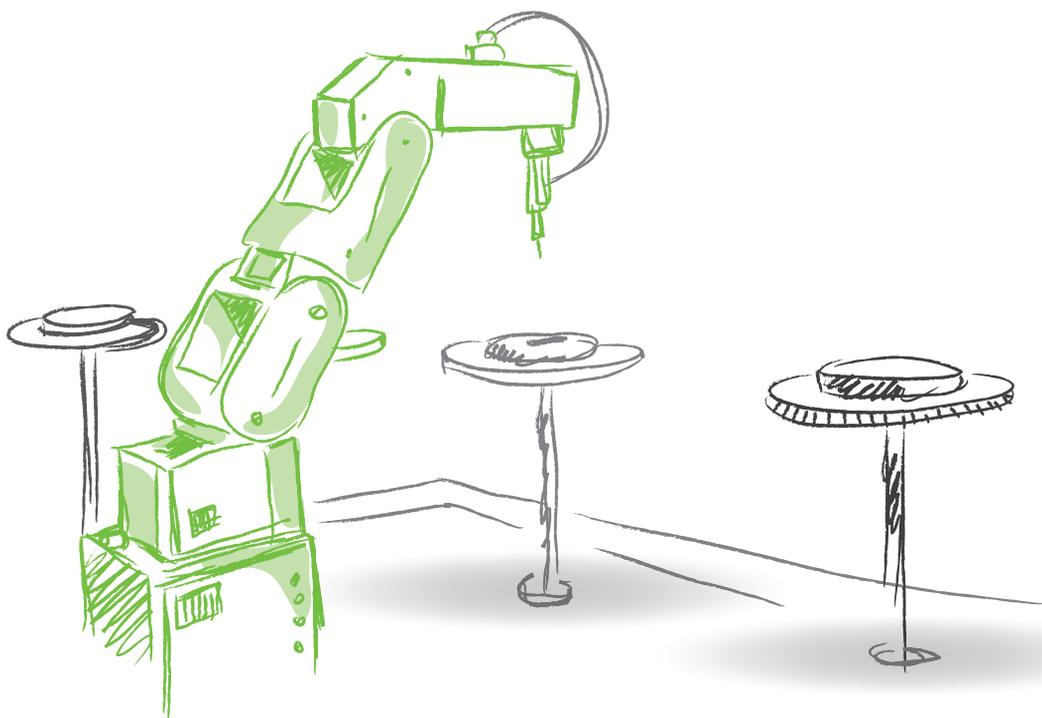


MINISTERIO
DE INDUSTRIA, ENERGÍA
Y TURISMO

EOI Escuela de
organización
industrial

medio ambiente
industria y **energía**

sistemas de **automatización y robótica** para las pymes españolas



EOI 60
aniversario



GOBIERNO
DE ESPAÑA

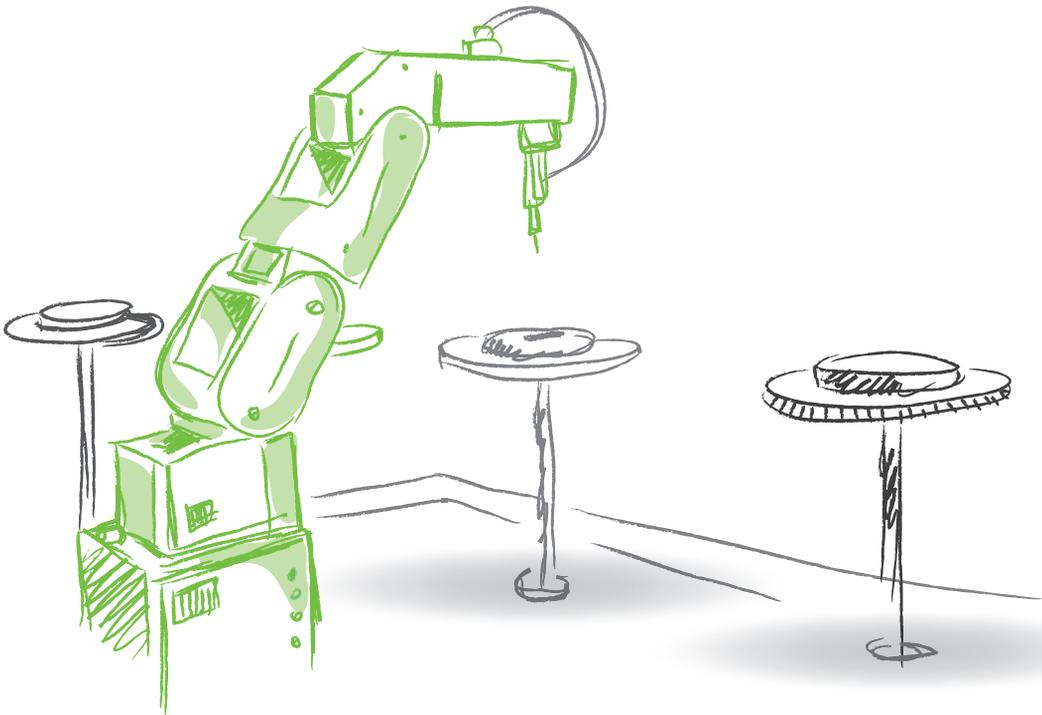
MINISTERIO
DE INDUSTRIA, ENERGÍA
Y TURISMO



Escuela de
organización
industrial

medio ambiente
industria y energía

sistemas de automatización y robótica para las pymes españolas



EOI 60
aniversario

CRÉDITOS

DIRECCIÓN DEL PROYECTO

Eduardo Lizarralde
Vicedecano EOI

Juan Jiménez Morillas
*Responsable de Proyectos
de Investigación EOI*

AUTORES

Juan Carlos Hernández Matías
*Investigador Doctor.
Grupo Ingeniería de Fabricación de la UPM*

Antonio Vizán Idoipe
*Catedrático.
Grupo Ingeniería de Fabricación de la UPM*



Libro digital en:
<http://a.eoi.es/robopyme>

Enlace directo en:



ISBN
978-84-15061-62-5

DEPÓSITO LEGAL
M-35030-2015

© **Fundación EOI, 2015**
www.eoi.es

Madrid, 2015

**EOI no se responsabiliza de los contenidos,
informaciones aportadas u opiniones
vertidas por los participantes en el libro, que
son responsabilidad exclusiva de los autores.**

**Esta publicación ha contado con la cofinancia-
ción del Fondo Europeo de Desarrollo Regional
a través del Programa Operativo de I+D+i por
y para el beneficio de las Empresas - Fondo
Tecnológico 2007-2013.**



“Cuidamos el papel que utilizamos
para imprimir este libro”

Fibras procedentes de bosques sos-
tenibles certificados por el *Forest
Stewardship Council (FSC)*.



Esta publicación está bajo licencia *Creative Commons* Reconocimiento, Nocomercial, Compartirigual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
Capítulo 1	
ESTADO ACTUAL DE LA ROBÓTICA	9
1. Madurez tecnológica	10
2. El mercado mundial de la robótica	11
3. Intensidad de utilización del robot en la industria Española	15
4. Tendencias de futuro	18
5. Sectores demandantes de soluciones robotizadas	19
Capítulo 2	
ROBÓTICA INDUSTRIAL. CONCEPTOS	27
1. Definición y elementos básicos.....	28
2. Manipulador	28
3. Accionamientos	31
4. Elementos terminales.....	35
5. Sistemas de seguridad.....	37
6. Clasificación de los robots según sus ejes.....	39
7. Características técnicas de los robots	43
8. Programación y simulación de robots.....	48
9. Posición del robot en células	51
10. Integración con equipos y sistemas.....	55
Capítulo 3	
APLICACIÓN DE LOS ROBOTS EN LA PYME	59
1. La Pyme frente a la robotización	60
2. Campos generales de aplicación.....	61
3. Ventajas de la robotización	68
4. Autoevaluación de la necesidad de robotización	71
5. Costes y retorno de la inversión.....	73



Capítulo 4

LA IMPLANTACIÓN DE ROBOTS EN LA PYME | 79 |

1. Problemas de implantación | 80 |

2. Factores críticos de implantación..... | 80 |

3. Recursos humanos y técnicos | 82 |

Capítulo 5

GUÍA DE IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS ROBÓTICOS EN PYMES..... | 85 |

1. Análisis preliminar | 86 |

2. Selección del robot..... | 88 |

3. Selección del suministrador de la instalación..... | 90 |

4. Proyecto de robotización. Especificaciones | 91 |

5. Medidas de seguridad..... | 93 |

6. Ejecución final del proyecto..... | 98 |

7. Formación y gestión del conocimiento..... | 100 |

Capítulo 6

CASOS DE ESTUDIO | 101 |

1. Exposición de casos..... | 102 |

2. Automatización del volcado de palots de fruta..... | 102 |

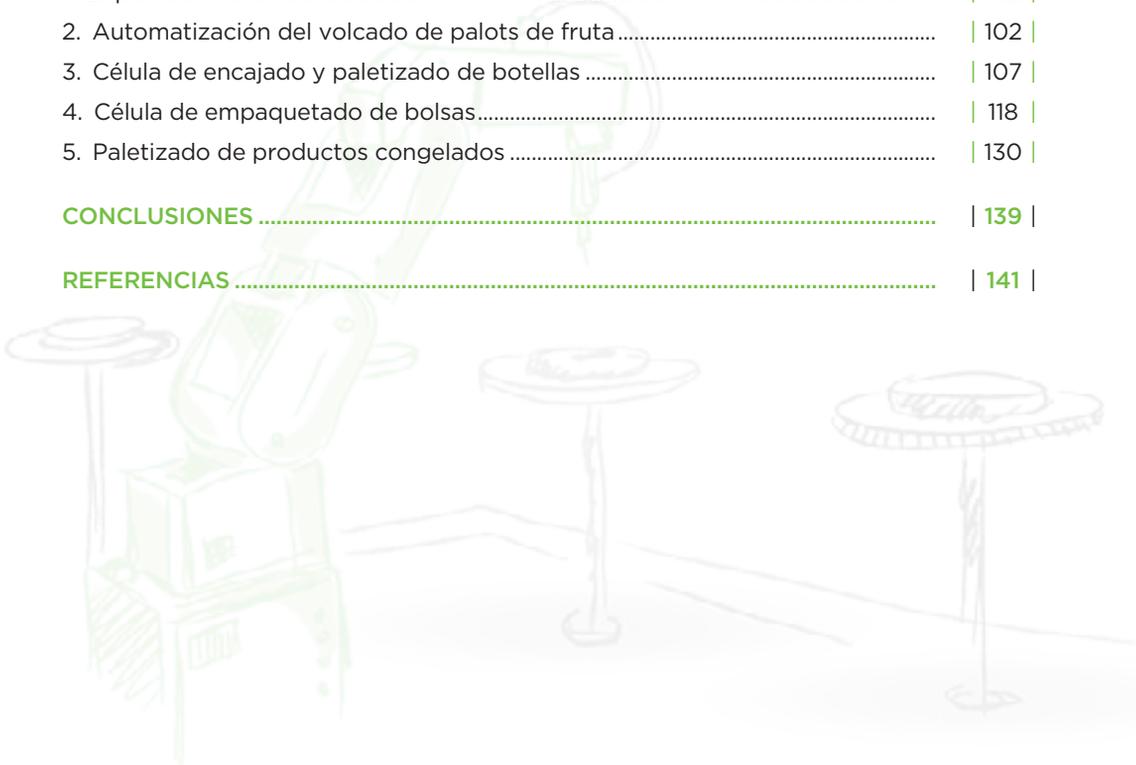
3. Célula de encajado y paletizado de botellas | 107 |

4. Célula de empaquetado de bolsas..... | 118 |

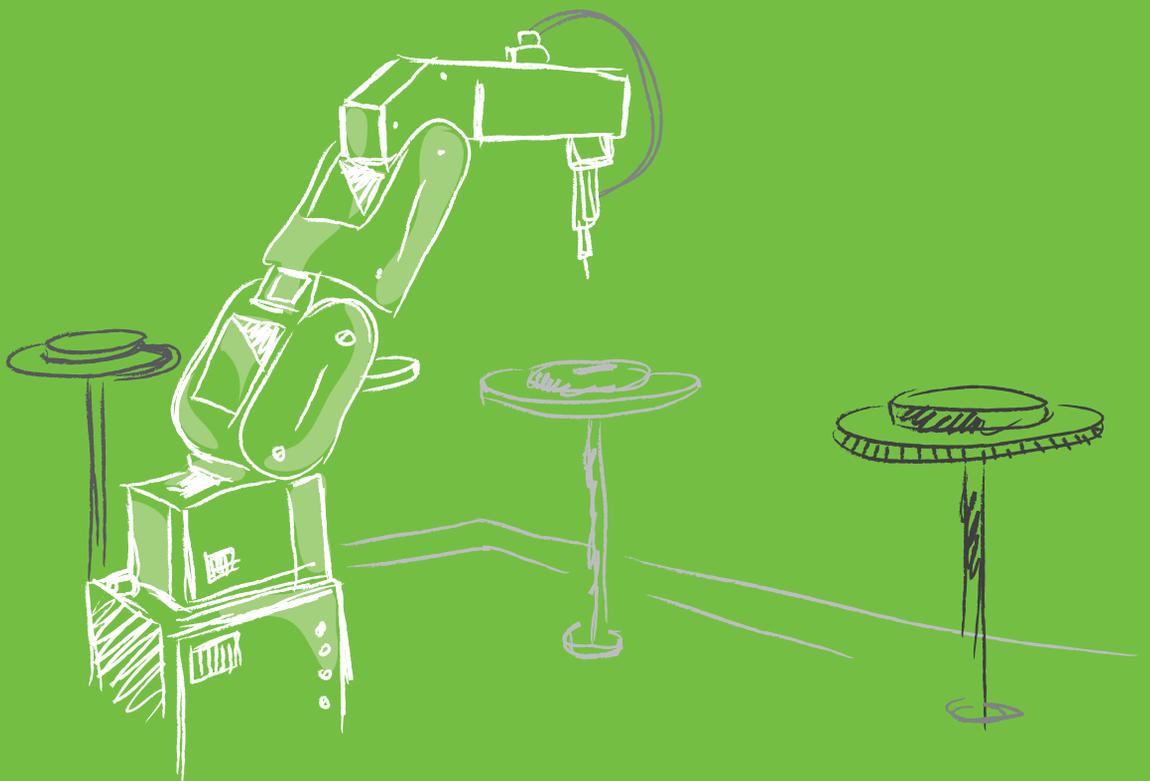
5. Paletizado de productos congelados | 130 |

CONCLUSIONES | 139 |

REFERENCIAS | 141 |



INTRODUCCIÓN





La importancia del sector de la fabricación en la economía de los países se ha puesto de manifiesto en la crisis actual. Todos los expertos abogan por potenciar un sector clave que la sociedad necesita como motor de su economía y que en los últimos años ha sido sometido a una gran presión por parte de países con costes laborales reducidos. Las consecuencias son evidentes y ciertamente traumáticas; deslocalización de muchas empresas y lo que es peor, la desaparición de una parte importante del tejido industrial.

En este difícil entorno, las empresas industriales se enfrentan al reto de buscar e implantar nuevas tecnologías productivas y organizativas que les permitan afrontar el futuro con garantía de éxito. Solo un aumento drástico de la productividad que afecte a los costes y a la calidad salvará al sector de la fabricación y sus empleos. La innovación a través de la implantación de nuevas tecnologías, la mejora continua de los procesos mediante herramientas de fabricación esbelta y la colaboración con proveedores constituyen las tres alternativas más consolidadas. Su aplicación y potencial debe ser tomado en consideración por toda empresa que pretenda sobrevivir y tener futuro en el complejo entorno económico que vivimos.

Dentro de las nuevas tecnologías, la automatización y más concretamente la robótica industrial constituye una estrategia de mejora de la competitividad que ha demostrado poder evitar fenómenos de deslocalización. En EEUU hay cientos de ejemplos de fabricantes que han evitado la deslocalización disminuyendo la relación robots-operarios e incrementando los procesos con máquinas automatizadas. Si el ratio en EEUU es de 1 a 240, las empresas con mayor robotización y altos beneficios están en 1 a 6. En sectores específicos como la fabricación de máquina-herramienta se está promoviendo intensivamente la instalación de robots debido al incremento de productividad que pueden proporcionar.

En sí misma la robotización tiene dos claros objetivos iniciales; reducir costes de fabricación e incrementar la productividad. Los beneficios adicionales relacionados con la flexibilidad, seguridad y calidad no dejan duda sobre la rentabilidad de su implantación. La robótica puede hacer más sencillas tareas que hasta hace poco eran repetitivas, cansadas, tediosas, peligrosas, difíciles, de precisión o desarrolladas íntegramente a mano. El continuo abaratamiento del coste de adquisición de un robot industrial experimentado en los últimos años provocará que en un futuro no muy lejano el entorno de fabricación cambie drásticamente respecto a lo que conocemos. Los operarios de planta serán trabajadores técnicamente formados y con habilidades en nuevas tecnologías que gestionarán células automatizadas. Su misión se centrará en realizar varios niveles de inspección, asegurando el flujo de materiales entre las distintas áreas.



Evidentemente no todos los procesos y productos pueden ser robotizados. Esta posibilidad debe afrontarse a través de un ejercicio interno de identificación y priorización de la automatización basado en el sentido común, el conocimiento técnico y una metodología clara de implantación.

A la hora de implantar soluciones deben tenerse en cuenta múltiples factores; en primer lugar aspectos como el tipo de producto que se va a fabricar, el proceso productivo, los niveles de seguridad, la calidad del producto y la ubicación de la instalación. También es importante el sector y los requerimientos del cliente final. No son iguales los niveles de precisión, exigencia, limpieza y calidad que se exigen en industrias tan distintas como la metalúrgica, metal-mecánica, alimentación o farmacéutica. Y por último, también es muy importante tener claro el tiempo de ciclo final de producción. De nada sirve fabricar o automatizar algo de forma correcta si el tiempo que se tarda no cumple con la premisa de ahorrar trabajo, tiempo y dinero.

Los estudios realizados en los últimos años muestran que la implantación de robots tiene un amplio despliegue en España a nivel de gran empresa gracias al liderazgo de su industria del automóvil. Sin embargo, su grado de implantación en la PyME es muy diverso y todavía queda mucho por hacer.

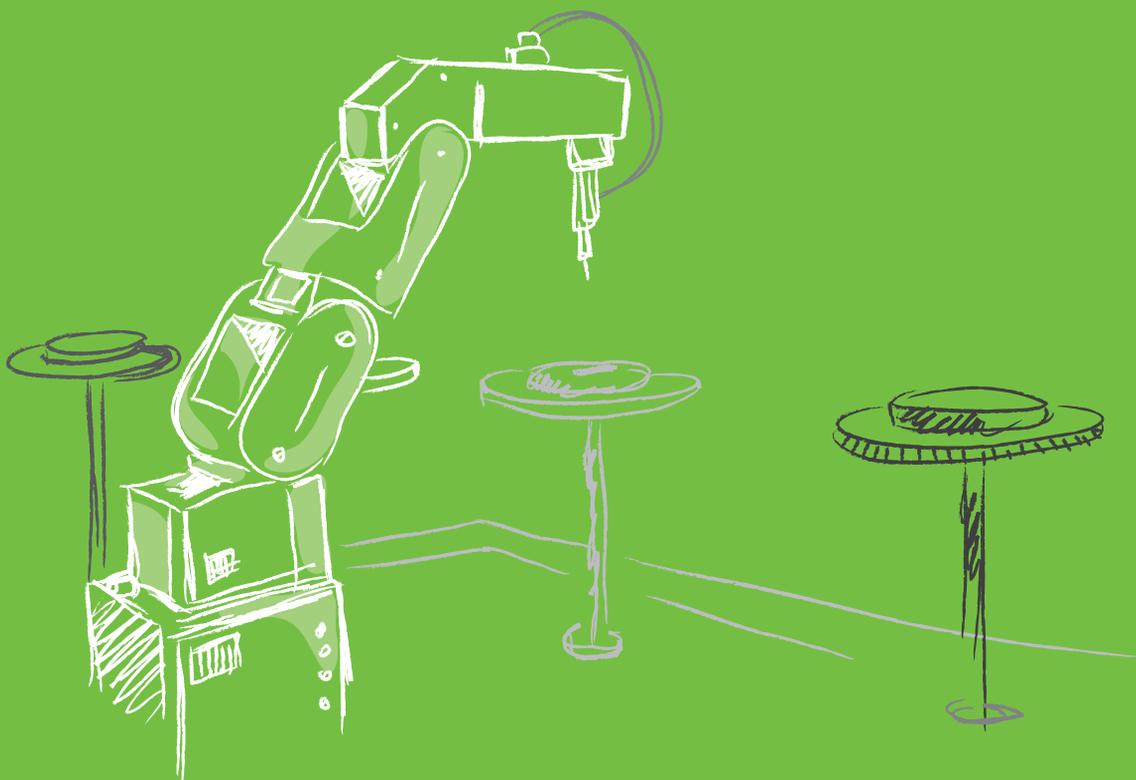
Con el fin de difundir los conceptos, aplicaciones y técnicas de implantación, esta publicación desarrolla a través de siete capítulos los principales aspectos técnicos, económicos y de implantación que deben conocer las empresas interesadas en afrontar la robotización de sus procesos.

El primer capítulo realiza una revisión de estado actual del mercado de los robots, su evolución y su situación en la industria española. El segundo capítulo tiene un carácter predominantemente técnico y permite introducir al lector en los conceptos principales de los robots. Los siguientes capítulos afrontan el problema específico de su implantación, con un enfoque práctico dirigido a las Pymes, incluyendo una guía de implantación para proyectos de robotización y la exposición de casos reales de éxito.

Los contenidos expuestos están basados en informaciones y estadísticas obtenidas de distintas instituciones y asociaciones como AER/ATP, INE o ANFAC así como entrevistas con fabricantes e implantadores a los que los autores desean expresar su agradecimiento por la colaboración prestada.

1

ESTADO ACTUAL DE LA ROBÓTICA



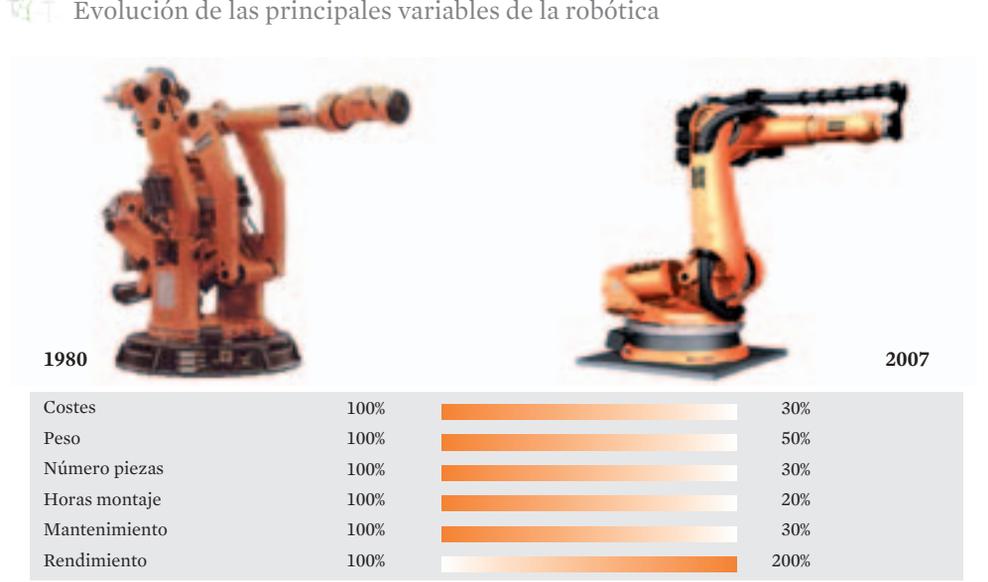


1. Madurez tecnológica

La implantación de la robótica en la industria cuenta con una gran experiencia consolidada a lo largo de más de 30 años. Es, por tanto, una tecnología madura que no para de crecer. Se encuentra en la vanguardia de la integración de los más modernos avances en diferentes sectores, tales como actuadores, sensores, materiales, mecánica, hardware y software, comunicaciones, etc.

Su tecnología está en continuo desarrollo, aumentando continuamente sus prestaciones y, consecuentemente, los campos de aplicación. En los últimos años se han producido mejoras en el rendimiento y funcionamiento de los robots; mejora de las comunicaciones, posibilidad de cooperación y sincronización entre robots, facilidad de manejo, fiabilidad y programación. Los robots actuales disponen de consolas ligeras de programación, táctiles, en color, con menús sencillos y amigables, que permiten incluso el manejo desde un teléfono móvil. Los robots se han hecho más rápidos, más fiables, más precisos, con mayor capacidad de carga y más versátiles. La evolución de las principales características de los robots que muestra la figura 1 es la prueba evidente de la evolución radical que se ha producido en las últimas décadas. Destacan las fuertes reducciones de precio que han disminuido considerablemente las barreras para su aplicación.

FIGURA 1



Fuente: KUKA.



Los avances actuales permiten que un robot industrial, en combinación con útiles, herramientas, sensores y dispositivos de control e identificación sea capaz de intervenir en una gran parte los procesos de fabricación con una gran flexibilidad.

La integración con otros sistemas es un problema menor y ya existen soluciones compactas que integran el robot junto a sus accesorios, periferia y software para soluciones específicas de paletizado, pintura, mecanizado o soldadura. La evolución de los programas específicos de simulación de robots permiten recrear el entorno real de trabajo y la programación de los robots de forma offline. Todo esto va ligado a la búsqueda de la eficiencia, el aumento de la productividad y el ahorro económico.

Los sectores a los que actualmente está orientada la robótica son muy amplios desde la industria manufacturera hasta la exploración de ambientes hostiles, tales como entornos submarinos y espacio.

Además de la robótica industrial, objeto de estudio en la presente publicación, se está empezando a desarrollar la robótica de servicios, incluyendo servicios personales y a la sociedad como asistencia personal, medicina, limpieza, inspección y mantenimiento de infraestructuras.

2. El mercado mundial de la robótica

La robótica es ya el principal motor de competitividad y flexibilidad en las industrias de fabricación a gran escala y es un sinónimo de progreso y desarrollo tecnológico. Los países y las empresas que cuentan con una fuerte presencia de robots consiguen altos niveles de competitividad y productividad. En los países más desarrollados, las inversiones en tecnologías robóticas han crecido de forma significativa y muy por encima de otros sectores. Sin embargo, actualmente el mercado está cambiando y hay un estancamiento significativo de la demanda en Europa en comparación a los países emergentes, especialmente Corea y China.

Según el último estudio de la International Federation of Robotics (IFR), el año 2014 ha sido un año record en cuanto a entrega de robots industriales en el mercado mundial, superando la cifra de 200.000 unidades y duplicando cifras del año 2007 previo al inicio de la crisis. Durante el periodo 2015 a 2017, IFR estima que las instalaciones de robots se incrementarán un 12 % por año, de forma específica un 6% en Europa y un 16% en Asia.

De forma concreta, la cifra de ventas de robots industriales se ha incrementado en un 27% respecto a las ventas del año anterior lo que supone una tasa record de 225.000 unidades vendidas en un año. Las mayores tasas de crecimiento de las

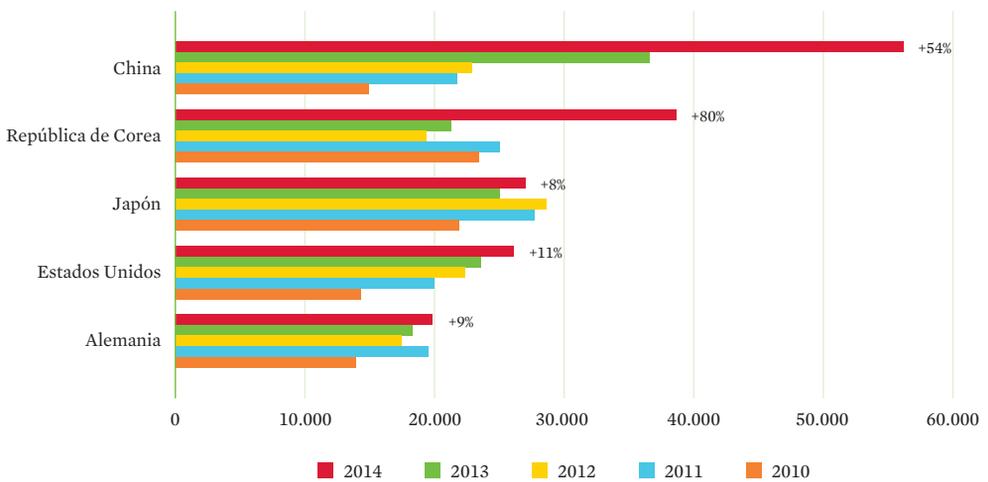


ventas corresponde a Asia en donde las ventas de robots en 2014 son superiores en un 42 % a las que se registraron el año pasado. Los porcentajes de Europa y América están muy lejos de estas cifras.

La figura 2 muestra los datos concretos por países. China con el 54% y sobre todo en Corea del Sur con un 80% muestra los crecimientos más espectaculares. La Federación Internacional de Robótica lo tiene claro: si continúa el actual ritmo de ventas, China será en 2017 el país con más robots trabajando en sus fábricas. En 2015 se espera que el gigante asiático mueva cerca de 8.400 millones de euros en este sector. A fecha de hoy, el número de robots por cada 10.000 trabajadores ocupados en el sector de la fabricación asciende a 437 en Corea del Sur y a 323 en Japón. Para Alemania, la ratio es de 282, mientras que en EEUU se alcanzan los 152. Por su parte, China solamente registra 30 robots por cada 10.000 trabajadores industriales. Hasta ahora, la industria china se benefició notablemente de costes laborales muy inferiores a los países desarrollados. El coste anual de un trabajador industrial chino rondaba los 900 euros (\$1.000 dólares) en el año 2002 cifra radicalmente distinta a los 6.000 euros (\$7.000 dólares) registrados en 2012. Semejante aumento de los sueldos invita a pensar que China realizará un gran esfuerzo en los próximos años en sustituir el uso intensivo de mano de obra por robots. Además de razones de coste laboral están las de descuelgue tecnológico, ya que China apuesta porque sus nuevas plantas tengan la misma tecnología que las de los países más industrializados.

FIGURA 2

Incremento porcentual de las ventas de robots por países



Fuente: IFR.



TABLA 1
Evolución y previsión futura de ventas de robots

País	2012	2013	2014	2017
América	28.137	30.317	33.700	40.000
Brasil	1.645	1.398	2.000	3.500
Norte América (Canadá, México, USA)	26.269	28.668	31.500	36.000
América otros	223	251	200	500
Asia/Australia	86.645	98.807	120.000	186.000
China	22.987	36.560	50.000	100.000
India	1.508	1.917	2.500	5.000
Japón	28.680	25.110	28.000	32.000
República de Corea	19.424	21.307	23.500	26.000
Taiwán	3.368	5.457	6.000	9.000
Tailandia	4.208	3.221	4.200	7.000
Asia/Australia otros	4.650	5.235	5.800	7.000
Europa	41.218	43.284	46.000	55.000
República checa	1.040	1.337	1.800	2.600
Francia	2.956	2.161	2.300	2.800
Alemania	17.528	18.297	19.500	21.000
Italia	4.402	4.701	4.800	5.500
España	2.005	2.764	3.000	3.800
Reino Unido	2.943	2.486	2.500	3.500
Europa otros	10.334	11.538	12.100	15.800
África	393	733	800	1.000
No especificada por países	4.953	4.991	4.500	6.000
Total	159.346	178.132	205.000	288.000

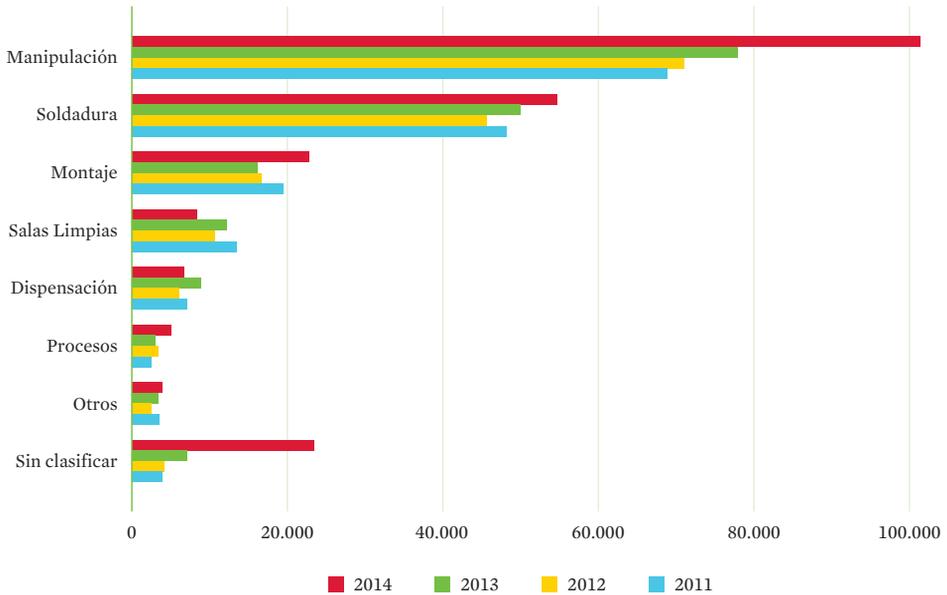
Fuente: IFR.

Hay que resaltar que la mayoría de los robots (59%) están instalados en la industria del automóvil. Las aplicaciones más demandadas son las de manipulación y soldadura, que en los países más industrializados son del orden 50-25% y 60%-30%, respectivamente. Es interesante destacar que, mientras aproximadamente el 35% de robots industriales se encuentran en Japón, los líderes en la fabricación de robots son empresas europeas (ABB, Kuka, Comau, Fanuc, Motoman, Staubli) que dominan casi la totalidad del mercado.



FIGURA 3

Número de unidades vendidas por tipo de aplicación



Fuente: IFR.

En este entorno tecnológico globalizado, Europa no sólo compete con las economías de bajos salarios, sino también economías altamente automatizadas. A medida que la década vaya transcurriendo, el uso de la robótica aumentará en todo el mundo. Sin robótica muchas de las industrias manufactureras de éxito de Europa no serían capaces de competir en sus actuales localizaciones europeas. La robótica se está volviendo cada vez más importante para las industrias de fabricación de menor tamaño, precisamente aquellas que son fundamentales para mantener la capacidad de producción y el empleo en Europa. En la batalla de la competitividad, la productividad y la sostenibilidad, el liderazgo en la tecnología de la robótica será la clave diferenciadora. Los mercados de la robótica están evolucionando rápidamente y este campo será una fuente clave de ventaja competitiva, una forma de afrontar los retos sociales y un camino para destacar en la ciencia. Por la misma razón, la robótica ganará peso en las industrias no manufactureras, como la agricultura, el transporte, la salud, la seguridad y los servicios públicos. El crecimiento en estas áreas durante la próxima década será mucho más intenso. Se espera que los robots de servicio utilizados en áreas no manufactureras se conviertan en la mayor área de las ventas mundiales de robots.

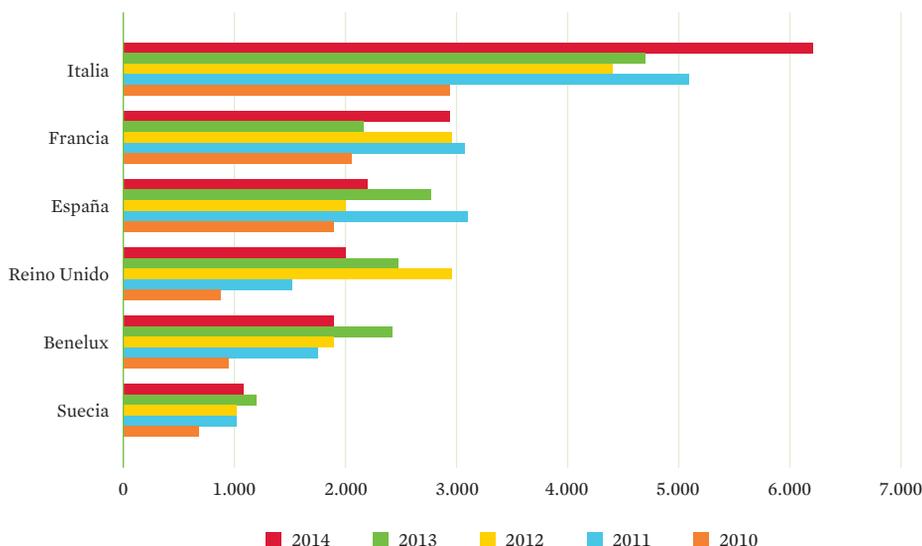


3. Intensidad de utilización del robot en la industria Española

España ocupa un lugar relevante en la robótica industrial, estando en el 8º lugar en el mundo y el 4º en Europa por número de robots instalados, por encima de 32.000 unidades, por encima del Reino Unido y casi al nivel de Francia.

FIGURA 4

Número de unidades vendidas en principales países europeos



Fuente: IFR.

Del mismo modo, si se toma como indicador la tasa de robots instalados por cada 10.000 trabajadores en la industria manufacturera, España se encuentra en un destacado lugar, por detrás solamente de Japón, Corea, Alemania, Italia, Suecia y Finlandia. Esta situación demuestra la importancia de la robótica en la economía española.

Una buena medida del conocimiento y capacidad que existe en el campo de la robótica en España es la presencia de “empresas integradoras” españolas en una gran parte de los proyectos de relacionados con la robótica industrial. Un dato relevante es que las multinacionales afincadas en nuestro territorio acuden a empresas locales para el desarrollo y puesta en marcha de sus proyectos de automatización.

Esta situación tiene su origen en la gran implantación de la industria automovilística en nuestro país que ha confiado desde el principio en la amplia red de subcontratistas especializados de la industria española.



España presenta una gran dependencia tecnológica en el desarrollo de robots pero este no es un factor a tener en cuenta en tanto que existe un fuerte conocimiento de los procesos de ingeniería asociados a su implantación que se ha ido creando a lo largo de los años con las instalaciones en la industria del automóvil.

Hay que destacar que la falta de formación técnica y cultura de la innovación en la pequeña y mediana empresa está dificultando la robotización de un número destacable de actividades de fabricación de la pequeña manufactura. Así, sectores como el calzado, astilleros, cerámica o el juguete, que se enfrentan en la actualidad a una fuerte competencia motivada por la globalización de los mercados, podrían aumentar su competitividad en base a una mayor robotización.

Según el “Estudio sobre estadísticas de robótica 2015” de la AER/ATP, el número de unidades totales instaladas en el año 2014 asciende a 2.129 unidades, lo que significa una disminución del -25% en relación al número de unidades instaladas en el ejercicio anterior y un incremento del 6,6% del número total de robots incorporados al parque nacional. Éste aumento está en línea con las previsiones que emanan de la IFR y que reflejan que, para el período 2014-2017, el incremento medio del número de unidades debe situarse alrededor del 7% anual.

TABLA 2
Evolución del parque de robots en España (Auto-no auto)

Años	Auto*	No auto*	Total
2002	12.631	5.721	18.352
2003	13.727	6.120	19.847
2004	15.340	6.872	22.212
2005	16.471	7.560	24.031
2006	17.453	8.563	26.016
2007	18.132	9.569	27.701
2008	18.790	10.239	29.029
2009	18.731	10.998	29.729
2010	18.866	11.679	30.545
2011	19.514	12.227	31.741
2012	19.421	12.563	31.984
2013	18.790	13.103	31.893
2014	18.044	14.004	32.048

* Sector fabricación vehículos + fabricación componentes vehículos.

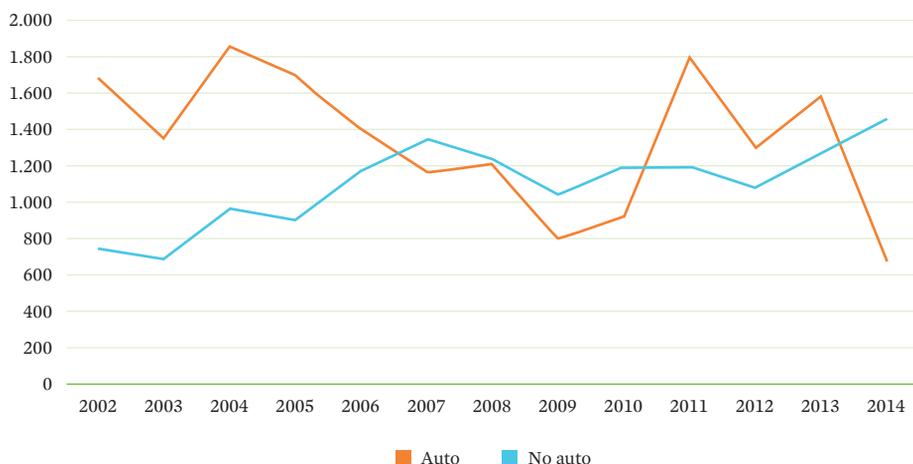
** Resto de sectores.

Fuente: AER.



FIGURA 5

Evolución anual de rotos en España

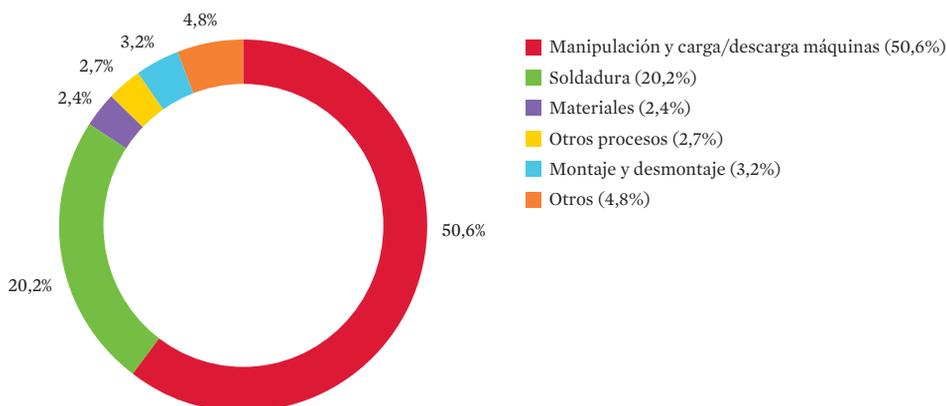


Fuente: AER.

En el último año 2014 ha habido un incremento mucho menor en las ventas de robots a las empresas relacionadas con el automóvil que se ha visto compensado por un incremento en el resto de los sectores, aspecto que, de continuar en los próximos años indicará que la robotización está llegando a otros sectores. Lógicamente, han afectado los ciclos de desarrollo propio del automóvil pero el incremento producido en el resto de los sectores, si se confirma en los próximos años, será una buena señal.

FIGURA 6

Porcentaje de instalaciones por tipo de aplicación

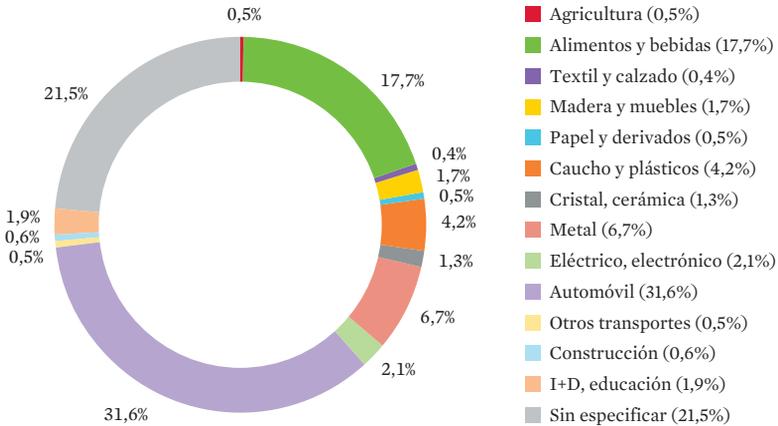


Fuente: AER.

En referencia a las aplicaciones de los robots (figura 6) se constata que la aplicación de manipulación supera en algo más de 5 puntos a la aplicación de soldadura, aplicación líder históricamente en nuestro país. Existe un dato del 20% sin especificar en las encuestas realizadas a las empresas, indicativo que la diversidad de aplicaciones muy específicas está creciendo significativamente.

Por lo que respecta a sectores (figura 7) se observa el liderazgo del sector de automoción con cerca del 31,6% de los robots incorporados, como consecuencia de la tipología de la industria nacional. Resaltar que el sector de alimentación y bebidas con el 17,7% alcanza la segunda posición en número de robots incorporados.

FIGURA 7
Porcentaje de instalaciones por sector de actividad (2005)



Fuente: AER.

4. Tendencias de futuro

Dada la madurez de la tecnología, el futuro pasará por el desarrollo de aplicaciones muy concretas y específicas. Actualmente el desarrollo tecnológico de la robótica industrial va encaminado a la programación por aprendizaje, manipuladores de 7 ejes —que pretenden parecerse cada vez más al brazo humano— control por visión artificial, comunicaciones inalámbricas y mejora del entorno e interactividad hombre-máquina. La robótica industrial afrontará cada vez con mayor frecuencia áreas o campos de trabajo más allá de las grandes fábricas. Por otro lado, los robots tienden a ser más eficientes energéticamente hablando, respetuosos con el medio ambiente,



más ligeros, con automatización flexible, más resistentes, más polivalentes y capaces de usar nuevos materiales. Otro aspecto muy importante es que las expectativas de aplicación de los robots de servicio han superado, en los últimos años, los límites de las aplicaciones industriales. Todos los indicadores confirman que nos encontramos ante una revolución que nos llevará a un mercado de robots de consumo, mediante la utilización en el hogar de electrodomésticos móviles, que complementarán a los actuales estáticos. De la misma forma, las aplicaciones profesionales como la medicina, la construcción o la seguridad y defensa, presentan unas notables expectativas de crecimiento. Los puntos clave que apoyan el crecimiento de la robótica en los próximos años son:

- La competencia global y nuevos mercados requerirán la modernización y ampliación de la capacidad en las instalaciones de producción.
- La colaboración hombre-máquina abrirá nuevas aplicaciones ahora desconocidas.
- La disminución de ciclo de vida de los productos y el aumento de la variedad de productos requerirá la automatización flexible.
- Las mejoras técnicas de los robots industriales aumentarán el uso de robots en la industria en general y en las pequeñas y medianas empresas, por ejemplo, robots fáciles de usar robots, sin complicaciones, y robots de bajo precio para aplicaciones sencillas.
- La mejora de la calidad requerirá de sistemas de robots de alta tecnología sofisticada.
- La Industria 4.0 unirá de forma definitiva la realidad de la planta con la realidad virtual.

5. Sectores demandantes de soluciones robotizadas

Identificación de sectores

Usualmente la mayoría de las estadísticas y estudios de la industria española toman como punto de partida la clasificación de actividades económicas CNAE. Sin embargo, en muchos casos los datos se desvirtúan debido a la dificultad de asignar la clasificación correcta a empresas con actividades que pueden abarcar a varios sectores. Así una empresa del sector de fabricación de piezas plásticas puede encuadrarse dentro del sector del plástico, químico o de industrias manufactureras dependiendo de la tipología de sus productos y de sus clientes.

TABLA 3

Cifra de negocios y personal ocupado por rama de actividad. Año 2013

Rama de actividad	Cifra de negocios			Personal ocupado		
	Millones de euros	% sobre el total	Variación anual (%)	Media anual	% sobre el total	Variación anual (%)
Industria manufacturera						
Alimentación	87.172	15,5	0,9	309.664	15,9	-2,9
Bebidas y tabaco	17.099	3,0	0,9	48.181	2,5	-4,0
Textil, confección, cuero y calzado	13.978	2,5	4,4	120.372	6,2	-1,5
Madera y corcho, excepto muebles	5.118	0,9	-6,1	48.028	2,5	-10,9
Papel y artes gráficas	18.341	3,3	-2,5	105.613	5,4	-6,4
Industria del petróleo	52.602	9,4	-9,4	9.030	0,5	-3,9
Industria química	38.049	6,8	-3,8	81.025	4,2	-1,1
Industria farmacéutica	14.178	2,5	1,5	36.992	1,9	0,5
Caucho y materias plásticas	18.230	3,2	1,9	88.345	4,5	-0,9
Productos minerales no metálicos diversos	14.566	2,6	-7,4	90.469	4,6	-12,1
Metalurgia	28.005	5,0	-4,4	57.800	3,0	-4,8
Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	27.654	4,9	-4,3	224.647	11,5	-4,7
Material y equipo eléctrico, electrónico y óptico	17.166	3,1	-10,6	83.203	4,3	-8,7
Maquinaria y equipo mecánico	17.478	3,1	-1,2	96.924	5,0	-2,8
Vehículos de motor	52.150	9,3	8,1	131.837	6,8	-2,0
Material de transporte, excepto vehículos de motor	10.919	1,9	2,2	40.419	2,1	-3,9
Industrias manufactureras diversas	8.228	1,5	-6,2	97.694	5,0	-8,0
Reparación e instalación de maquinaria y equipo	6.351	1,1	-3,2	64.925	3,3	-7,7

Fuente: INE.

La tabla 3 muestra la clasificación y últimos datos publicados en 2014 por el INE de los sectores que constituyen la industria manufacturera. A estos habría que sumar



los otros tres sectores de la industria española; extractiva, energía y agua. La tabla 3 analiza los mismos datos desde el punto de vista del tamaño de la empresa poniendo de manifiesto la importancia del sector Pyme en España.

TABLA 4
Distribución (%) cifra de negocios por tamaño de empresa y ramas industriales 2013

Rama de actividad	Microempresa (de menos de 10 ocupados)	Pequeña (de 10 a 49 ocupados)	Mediana (de 50 a 249 ocupados)	Grande (250 o más ocupados)
Industria manufacturera				
Alimentación	8,0	22,1	31,0	38,9
Bebidas y tabaco	9,0	22,5	17,6	51,0
Textil, confección, cuero y calzado	18,3	40,9	29,7	11,1
Madera y corcho, excepto muebles	24,6	38,5	36,9	(1)
Papel y artes gráficas	12,5	21,2	30,5	35,9
Industria del petróleo	0,0	0,2	(1)	99,8
Industria química	2,3	14,3	30,1	53,3
Industria farmacéutica	0,4	3,3	20,4	75,9
Caucho y materias plásticas	4,8	24,0	34,7	36,6
Productos minerales no metálicos diversos	9,5	23,2	33,0	34,4
Metalurgia	1,7	10,0	25,4	62,9
Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	17,6	33,1	32,8	16,5
Material y equipo eléctrico, electrónico y óptico	4,0	15,6	27,4	53,0
Maquinaria y equipo mecánico	7,4	26,5	35,0	31,2
Vehículos de motor	0,6	2,3	11,4	85,8
Material de transporte, excepto vehículos de motor	7,4	5,2	13,4	74,0
Industrias manufactureras diversas	25,7	35,3	24,2	14,8
Reparación e instalación de maquinaria y equipo	22,5	28,2	24,6	24,7

Fuente: INE.



Del estudio de estos datos y atendiendo a un criterio exclusivamente tecnológico se ha considerado que un análisis de los sectores demandantes de soluciones robotizadas debe ser lo más general posible, ya que muchas de las tecnologías y aplicaciones son de carácter horizontal y pueden aplicarse a varios sectores de actividad. En este sentido, será más interesante profundizar en el capítulo 2 en los diferentes campos tecnológicos de aplicación. En base a estas consideraciones son tres los principales sectores demandantes de soluciones robotizadas son:

- Sector del automóvil.
- Sector de la alimentación y bebidas.
- Sector manufacturero que engloba los sectores tradicionales y de fabricación de productos metálicos, maquinaria y equipo.

Industria del automóvil

La relevancia de la industria del automóvil en nuestro país es significativa. España escaló tres puestos en 2014 y se convirtió en el noveno país con mayor fabricación de vehículos en 2014. Es el segundo fabricante en Europa de coches y el primero de vehículos industriales. Durante 2014, España adelantó a Rusia, Canadá y Tailandia gracias a un incremento de producción del 11%.

La industria del automóvil en España emplea de manera directa a más de 300.000 personas en las 18 plantas existentes. Si se considera el empleo directo y el indirecto, la población ocupada en este sector se acerca a los 2 millones. Estas cifras ofrecen una clara idea de la importancia que la industria del automóvil, incluyendo la fabricación de componentes, tiene para España.

Desde el punto de vista de la robotización, el examen de la evolución del número de robots dedicados a la industria del automóvil pone de manifiesto que, tras un aumento significativo durante los últimos años, el número de robots en esta industria se ha estabilizado siguiendo una evolución casi lineal.

Frente a un elevado uso de robots en las grandes plantas de fabricación de automóviles hay un gran número de PyMES con un bajo nivel de robotización. La existencia de integradores altamente capacitados que trabajan para las grandes multinacionales supone una gran oportunidad para el resto de las empresas que pueden aprovechar su conocimiento para afrontar nuevos retos tecnológicos.



FIGURA 8

Número de unidades producidas en el sector de automóvil

Clasif.	País	Vehículos (2014)	% Variac. 2013-2014
1	China	23.722.890	7,3
2	Estados Unidos	11.660.699	5,4
3	Japón	9.774.558	1,5
4	Alemania	5.907.548	3,3
5	Corea del Sur	4.524.932	0,1
6	India	3.840.160	-1,5
7	México	3.365.306	10,2
8	Brasil	3.146.118	-15,3
9	España	2.402.978	11,1
10	Canadá	2.393.890	0,6
11	Rusia	1.886.646	-13,6
12	Tailandia	1.880.007	-23,5
13	Francia	1.817.007	4,4
14	Reino Unido	1.598.879	0,1
15	Indonesia	1.298.523	7,6
16	República Checa	1.251.220	10,4
17	Turquía	1.170.445	4,0
18	Irán	1.090.846	46,7
19	Eslovaquia	993.000	1,8
20	Italia	697.864	6,0

Fuente: ANFAC.

Desde el punto de vista de la tecnología, ha habido una gran evolución durante los 30 años en los que los robots trabajan para la industria automovilística. Frecuentemente, con cada nuevo modelo que se lanza al mercado, las empresas aprovechan para



dar un paso más hacia la automatización completa de sus líneas. Los robots se utilizan de forma masiva en aplicaciones de soldadura, fundición, corte por láser, prensado, aplicación de pintura y montaje final.

Industria de la alimentación y bebidas

En la última década, la industria de la alimentación y bebidas ha pasado de ser un sector con un uso intensivo de mano de obra a una industria muy automatizada, pionera en la aplicación de muchas automatizaciones relacionadas con la manipulación, envasado y paletizado. En la actualidad, ya son muchas las empresas de la industria alimentaria que ha incorporado a su estructura procesos robotizados. La utilización de robots aporta flexibilidad, seguridad y protección de los trabajadores frente a ambientes hostiles y trabajos desagradables. Otras ventajas son la repetitividad del proceso, efectividad, elevada producción y mayor higiene del proceso. Al eliminar el contacto humano con los productos en la cadena de producción y envasado, los sistemas robotizados ofrecen la posibilidad de reducir el riesgo de contaminación.

En este tipo de industria la robótica tienen tres usos principales:

- *Manipulación de piezas.* Estas aplicaciones tienen un gran auge en la industria de la alimentación, empezando a entrar con fuerza robots destinados al empaquetado de productos. Igualmente, la aplicación de robots de estructura paralela para manipulación de productos de poco peso está siendo muy frecuente en todos los segmentos de mercado caracterizados por el uso intensivo de mano de obra, como bollería industrial, pastelería y alimentos congelados. Muchas instalaciones tienen unos requisitos de velocidad, con alto volumen de producción y flexibilidad (por ejemplo, al cambio del producto o al cambio en el formato del paquete) que exigen conjugar aplicaciones robotizadas de manipulación con técnicas de reconocimiento por visión artificial.
- *Aplicación de material.* Son pocas las instalaciones de este tipo existentes, estando principalmente localizadas en industrias de pastelería y confitería.
- *Aplicaciones de corte.* Las posibles aplicaciones, como corte de carne, son realmente muy escasas, si bien existen soluciones desarrolladas para los casos avícola y porcino.

Industria manufacturera

Tal y como hemos comentado al principio del apartado en esta definición agruparemos el resto de sectores manufactureros en donde las tecnologías robóticas se pueden aplicar de una manera horizontal. Los sectores considerados son:



- Textil, confección, cuero y calzado.
- Madera y corcho.
- Caucho y materias plásticas.
- Fabricación de productos metálicos.
- Maquinaria y equipo mecánico.
- Industrias manufactureras diversas.

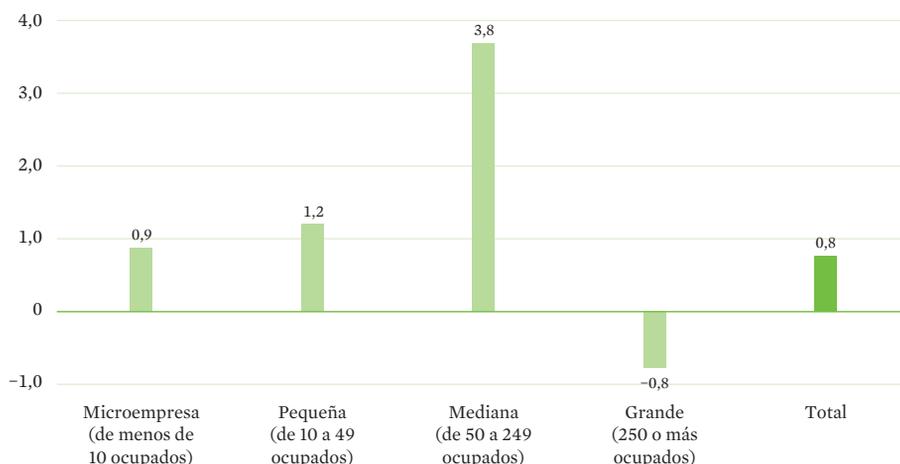
Todos ellos se caracterizan por la predominancia del sector PyME, de manera que entre el 70% y 90% de la facturación de estos sectores es realizada por empresas de menos de 250 empleados.

Según los últimos datos del INE, las empresas medianas (de 50 a 249 ocupados) fueron las que tuvieron mayor dinamismo exterior, con un aumento de su porcentaje de exportación de 3,8 puntos en el periodo 2013-2012, el mayor de todos los sectores industriales.

Aun siendo un sector muy castigado por la crisis, este dato es relevante pues indica que las Pymes supervivientes están realizando un esfuerzo exportador haciendo frente a la competencia de otros países. Evidentemente, la implantación de la robótica para este sector será un elemento clave en el futuro para reforzar este dinamismo y aumentar la competitividad.

FIGURA 9

Diferencia de porcentaje de exportaciones por tamaño de empresa 2013-2012



Fuente: INE.



En estos sectores, la demanda de robots se centra en las siguientes aplicaciones:

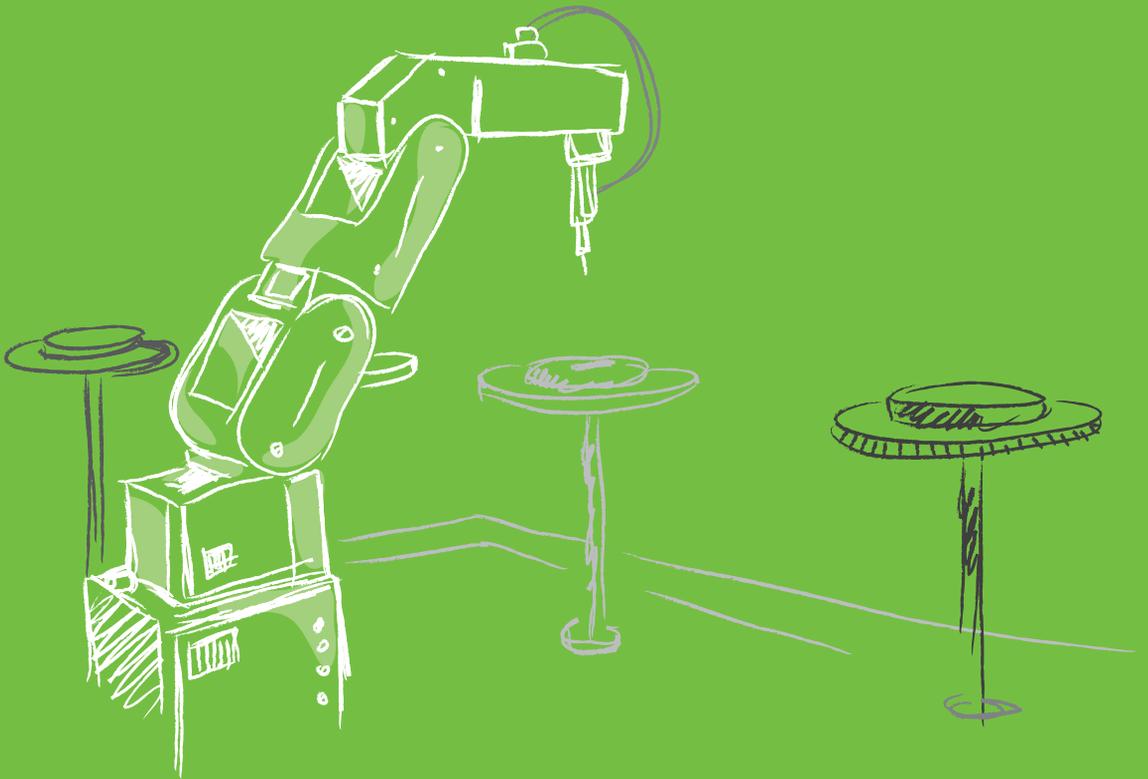
- *Manipulación de piezas.* Estas aplicaciones tienen gran importancia en la industria de transformación de materias plásticas, con un elevado número de robots destinados a la carga/descarga de máquinas, principalmente en máquinas de moldeo por inyección, donde se utilizan tanto robots articulados como robots cartesianos, existiendo soluciones especializadas para este tipo de aplicaciones. En los sectores de la madera, del mueble y manufactureras diversas se pueden usar robots para ensamblado, carga de máquinas, paletizado, etc.
- *Aplicación de material.* Tradicionalmente ninguno de estos sectores ha sido muy dado a este tipo de aplicaciones, si bien existen algunos pocos casos de pintura o encolado.
- *Aplicaciones de mecanizado.* Si bien se podría esperar que en el campo de la madera o del cuero hubiera un número importante de aplicaciones de corte con el uso de robots, esto no es así. De las posibles aplicaciones de mecanizado, el desbarbado en el sector de la madera es quizá la que mayor número de instalaciones pueda tener.
- *Aplicaciones de control de calidad.* Al no ser sectores con fuertes requisitos de precisión, las posibles aplicaciones de medición, inspección y verificación no son normalmente contempladas en estas industrias.
- *Aplicaciones de soldadura.* Las aplicaciones de soldadura de estos sectores se centran, casi exclusivamente, en el sector metal-mecánico.

La crisis en que se encuentran estos sectores representa, sin embargo, una oportunidad de modernización para las empresas, si bien el camino no es fácil. Sectores como el calzado o el mueble no pueden competir con los bajos costes de mano de obra en la producción en los países asiáticos, por lo que deben buscar un mercado diferente, de diseño propio y mayor calidad, a la vez que reducir costes de producción y aumentar la flexibilidad y el nivel de automatización de las líneas de producción. El reconocimiento de defectos en pieles y su corte automatizado para la industria del cuero y el calzado pueden ser ejemplos significativos de como aplicaciones avanzadas de la robótica representan innovaciones o avances tecnológicos en uno de los sectores más castigados por la crisis.

También puede ser importante reseñar el crecimiento de las industrias de reciclaje. Es previsible que en un futuro próximo, como consecuencia del impacto medioambiental asociado al final de la vida útil de los productos industriales, esta tendencia creciente se vea reforzada. Por tanto, parece pues que las empresas de estos sectores pueden ser un objetivo prioritario para la automatización en general y la incorporación de robots en particular, pudiendo destacarse como ejemplo de aplicación significativa el desensamblado automático de productos.

2

ROBÓTICA INDUSTRIAL. CONCEPTOS





1. Definición y elementos básicos

En este capítulo se resumirán aquellos conceptos necesarios para que las empresas sin experiencia en robótica se introduzcan rápidamente en la tecnología. Se expondrán las características asociadas a los robots industriales, sin abordar otros tipos de robots como los androides, móviles, servicios o tele-operados.

Para la definición de concepto de robot utilizaremos la propuesta por la Federación Internacional de Robótica (IFR) que por robot industrial de manipulación entiende a *«una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento»*.

De manera general, una instalación robotizada está compuesta por los siguientes elementos principales:

- Manipulador.
- Accionamientos.
- Elementos terminales.
- Periferia del robot.
- Sistemas de seguridad.

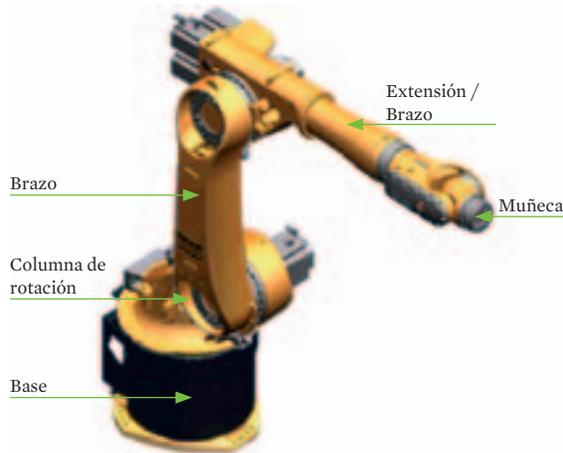
El manipulador o brazo es un sistema mecánico usado para mover un elemento terminal o carga útil desde un lugar a otro. El manipulador es manejado por un conjunto de accionamientos basados en un sistema de potencia controlado por un sistema de control. La muñeca, montada en el extremo del brazo, permite cambios de orientación de la herramienta o elemento terminal final. La instalación se completa con los elementos periféricos asociados a la aplicación específica y los sistemas necesarios para garantizar la seguridad de las personas.

2. Manipulador

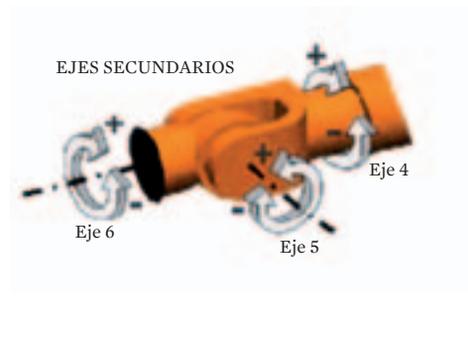
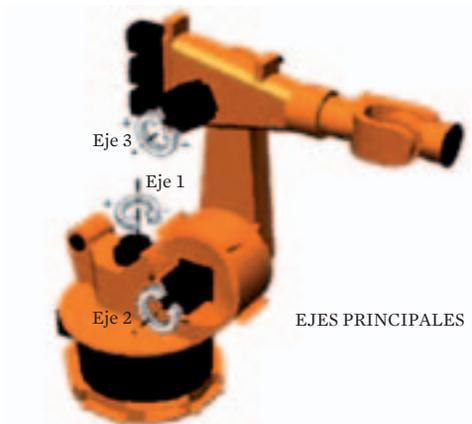
Exteriormente un robot industrial consta de una serie de partes rígidas o manipulador, que están unidas entre sí por medio de articulaciones formando una cadena cinemática. El manipulador es un ensamblaje de eslabones y articulaciones que permiten rotación o traslación entre dos de los eslabones. Estos eslabones son sólidos y son sostenidos



por una base (horizontal, vertical o suspendida), con una articulación entre la base y el primer eslabón.



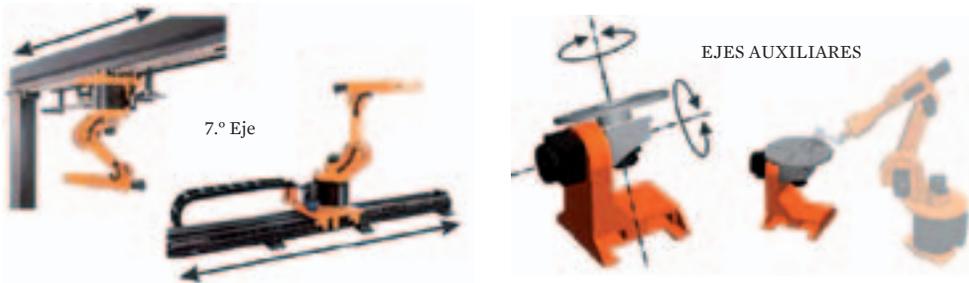
El número de articulaciones definen los “grados de libertad” del robot. Una configuración típica de brazo robot es la de tres grados de libertad (ejes principales), a la que se añaden las posibilidades de movimiento en la muñeca, llegando a un total de cuatro a seis grados de libertad. Algunos robots tienen entre siete y nueve grados de libertad. En robótica se denomina séptimo eje a aquél sobre el cual se coloca el robot y que lo desplaza a lo largo de una dirección longitudinal.



La base es rígida y está sujeta a una plataforma que la sostiene al suelo. Cuando se puede mover, comúnmente lo hace a lo largo de un eje y permite ampliar su zona de trabajo. Son ejes externos al robot, ya que no forman parte de su estructura base pero deben ser controlados por el control del robot. Pueden realizar movimientos



rectilíneos y/o circulares. Normalmente se utilizan, entre otras muchas aplicaciones, para posicionar la pieza a trabajar y evitar posiciones.



Las distintas posiciones y movimientos se logran con las diferentes relaciones entre las articulaciones y los eslabones. La superficie definida por el máximo alcance del extremo del manipulador da lugar a unos espacios de trabajo que deben tenerse claros:

- *Espacio de trabajo.* Zona a la que tiene acceso el robot con el movimiento de todos sus ejes y consecuentemente donde puede colocar su pinza o herramienta. Este espacio es una de las características principales del robot a la hora de su selección.
- *Espacio de movimientos.* Zona generada por cualquier elemento que se mueva del robot. Está formada por el espacio de trabajo más la zona no aprovechable que ocupa la mecánica del robot al realizar los movimientos. Este espacio es siempre mayor que el espacio de trabajo porque lógicamente el primero engloba al segundo.
- *Espacio de peligro.* Espacio en el que existe peligro de ser accidentado por el robot o por los objetos o herramientas que manipula. Esta zona corresponde como mínimo en forma y tamaño con el espacio máximo de movimientos del robot (sin limitaciones de movimiento en todos sus ejes), más el espacio que ocupe la pieza o herramienta que transporta. El espacio mínimo para esta zona según normas es de 10 m² y debe de estar vallado, limitándose el acceso mediante sistemas de seguridad.
- *Espacio de seguridad.* Rodea el espacio de peligro. Este espacio se está a salvo de los movimientos del robot y de sus piezas y/o herramientas.



3. Accionamientos

Los sistemas de accionamiento o elementos motrices dan movimiento a los ejes transformando la fuente de energía del accionamiento en movimientos rotativos o rectilíneos.

Al igual que la cinemática, los sistemas de accionamiento tienen una gran influencia sobre los valores de velocidad y aceleración alcanzables. Para respetar la definición de eje y que cada movimiento sea independiente del otro, cada eje individual del robot debe tener su propio sistema de accionamiento.

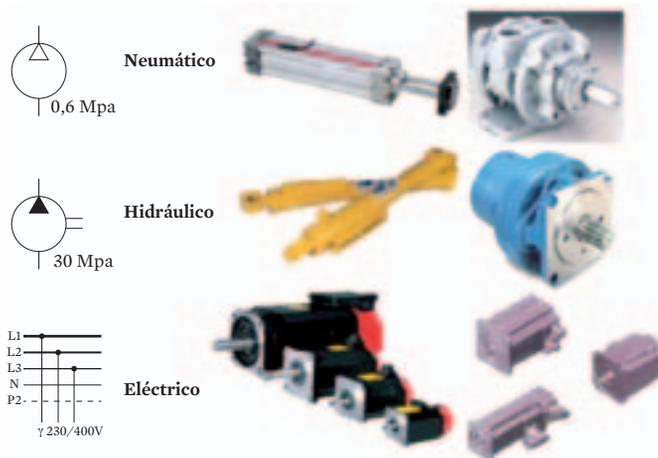
Los sistemas de accionamiento principales para robots son:

- Motores y cilindros.
- Frenos.
- Elementos de transmisión.
- Sistemas de medida de posición.

Los motores y cilindros pueden ser neumáticos, hidráulicos o eléctricos, utilizándose aproximadamente en los porcentajes 85% eléctricos, 10% hidráulicos y un 5% neumáticos.

FIGURA 10

Tipos de accionamientos



Fuente: IFR.



La elección de cada tipo de accionamiento depende de la inversión a realizar, condiciones de funcionamiento, características de la carga a manipular y la tarea a realizar.

Desde el punto de vista de mantenimiento y economía, los preferibles son los accionamientos neumáticos, siendo por el contrario los más caros los accionamientos eléctricos. Con respecto a la complejidad de la regulación de sus movimientos, los tres se encuentran al mismo nivel de complejidad, ya que los neumáticos e hidráulicos necesitan servoválvulas proporcionales y los eléctricos un servoamplificador para controlarlos.

En función de la tarea a realizar deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- *Precisión.* La mejor es la que proporcionan los motores eléctricos, siendo la peor la de los accionamientos neumáticos. Suele tomarse como referencia que, si se necesitan precisiones inferiores a 1 mm, se elijan accionamientos eléctricos y se descarten los neumáticos e hidráulicos.
- *Velocidad.* Los más rápidos son los accionamientos neumáticos ya que no hay retardos desde que llega la presión hasta que se mueve el eje. Los más lentos son los eléctricos, aunque estos últimos son los que paradójicamente mejor responden a cambios de sentido y los que mantienen la velocidad más constante frente a variaciones de la carga.
- *Capacidad de carga.* Los más adecuados para grandes cargas son los accionamientos hidráulicos y los que soportan menos carga son los neumáticos. En cualquier caso, no se recomienda emplear accionamientos neumáticos para cargas superiores a 10 kg.

Motores eléctricos

Son los que equipan la mayoría de los robots actuales debido a que son menos pesados, más pequeños, más precisos y de respuesta más rápida que los accionamientos neumáticos e hidráulicos. Otra gran ventaja es que los sistemas de medida de posición/velocidad y los frenos pueden llegar a integrarse en el propio motor. Una característica común de todos los motores usados es que tienen baja inercia, es decir, el rotor debe pesar poco. Esto quiere decir que acelerarlos, cambiarles la velocidad, o el sentido de giro, y pararlos, se debe hacer en el menor tiempo posible. Este es el motivo por el que los clásicos motores trifásicos asíncronos de inducción son los únicos que, debido al peso de la jaula de ardilla, no se emplean en robótica.

Ordenándolos por el par que pueden ejercer, los que menos par poseen son los “paso a paso” impidiendo su uso en robots industriales, quedando limitada su aplicación en



pequeños robots educativos; mientras que los asíncronos, brushless y de corriente continua poseen pares elevados.

Frenos

Los frenos son los elementos que tienen como misión bloquear la posición de los ejes del robot cuando no están alimentados o están inmóviles. Mientras los accionamientos tienen tensión, los frenos no realizan función alguna, simplemente liberan la articulación para que sea el regulador el que mueva y detenga electrónicamente el motor. Los frenos electro-mecánicos van asociados a los accionamientos eléctricos y están compuestos por un ferodo, un electroimán y una serie de muelles. Cuando el sistema está desconectado los muelles mantienen el ferodo en posición adelantada para mantener frenado el eje. Al recibir tensión, el electroimán atrae el ferodo, venciendo la fuerza de los muelles, liberando así el movimiento del eje.

Transmisiones

Son las encargadas de transmitir a los ejes los movimientos y la fuerza generada en los accionamientos. Otra de sus funciones es la de convertir el movimiento rotativo de un motor eléctrico en un movimiento lineal del eje o bien transformar el movimiento lineal de un cilindro en el giro de un eje de un robot hidráulico. Las transmisiones también son las encargadas de reducir la velocidad de los motores con el objetivo de obtener el mayor par-motor posible con el menor tamaño. En cualquier caso, un sistema de transmisión debe cumplir los siguientes requisitos:

- Compactos, poco tamaño y poco peso.
- Transmisión sin holguras, de forma que el posicionamiento de la herramienta siempre sea preciso. Esta precisión se consigue evitando las holguras en cualquiera de sus elementos.
- Elevada relación de transmisión.
- Larga vida de funcionamiento continuo y mantenimiento mínimo.

Dentro de las transmisiones existen dos tipos de reductores ampliamente utilizados en el campo de la robótica industrial. El reductor armónico se caracteriza por su poco peso, alta precisión, elevado grado de reducción de revoluciones, de hasta 320:1, en un espacio muy pequeño y compacto y su larga duración. El otro reductor es cicloidal, dotado de una leva excéntrica y un disco dotado de lóbulos en vez de dientes que garantiza una operación uniforme y silenciosa.



Sistemas de medida de posición

Estos sistemas son los encargados de indicar al control la posición real de cada uno de los ejes, siendo uno de los elementos más importantes del sistema de accionamientos. Teniendo en cuenta que todos los elementos explicados hasta el momento se mueven solidariamente (motor, transmisiones, reductor y eje), el sistema de medida podrá colocarse en cualquiera de ellos y deberá moverse también solidariamente con todos los demás.

Desde el punto de vista de su colocación, lo ideal es que vengan integrados en el motor o que estén incorporados en el propio eje, teniendo el inconveniente que hay que llevar los cables hasta el eje junto con los de la alimentación del motor. Al final, el lugar donde se coloque, depende del tipo de sistema de medida empleado y de la información suministrada.

Una primera clasificación de los sistemas de medida se realiza en función del tipo de información que suministran:

- *Analógicos.* Suministran una tensión. Son los más propensos a verse afectados por ruidos eléctricos y tarde o temprano, deben convertirse a digital para ser memorizados y procesados.
- *Digitales.* La información que suministran ya es directamente un número con lo que se puede memorizar y procesar inmediatamente. Lógicamente, cuanto más cantidad de información procesen durante el recorrido del eje, mejor será la precisión del sistema.

Más importante que la tecnología empleada en los sistemas de medida es la filosofía de los mismos. Los dos grandes métodos de obtener la posición de un eje son la incremental y la absoluta. En el proceso de medida absoluta la posición instantánea de cada eje del robot, se indica siempre; incluso después de interrupciones en el funcionamiento o fallo de la alimentación de red. En el proceso de medida incremental se mide el recorrido contando impulsos individuales de igual longitud y así se determina la posición del eje. En caso de interrupción de la alimentación, el sistema pierde esta información, por lo que al conectarse de nuevo debe determinarse de nuevo el punto de referencia de los ejes antes de efectuar maniobras con el robot.

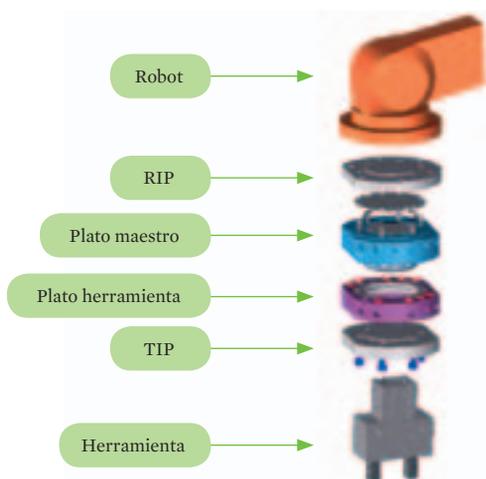


4. Elementos terminales

El propósito de un robot es ejecutar tareas muy diversas que pueden requerir de una amplia variedad de elementos terminales o herramientas acopladas a la muñeca, en el extremo del manipulador. Esta diversidad ha provocado que los fabricantes de robots no proporcionen este útil, que es suministrado aparte por los desarrolladores o integradores de la aplicación.

El diseño de un elemento terminal debe hacerse considerando la tecnología disponible en la planta, el grado de flexibilidad deseado y su función dentro de la célula de trabajo. Dependiendo de los requerimientos del trabajo se debe elegir entre distintas configuraciones, considerando herramientas de sujeción, como dedos mecánicos, electroimanes o ventosas de vacío o bien herramientas específicas para pintar, soldar, etc. La muñeca puede tener de uno a tres ejes de movimiento que permiten dar la orientación de la herramienta, mientras el manipulador le da su posición. Dentro de las capacidades de carga del robot se deben considerar los esfuerzos en la muñeca y las limitaciones de las prestaciones que ella y sus actuadores pueden proporcionar. También, una de las capacidades más importantes de estos elementos es estar dotado de un sistema de cambio de herramientas. En la figura 11 se muestra un ejemplo de sistema de cambio de herramienta formado por dos partes primarias, el plato maestro y el plato herramienta. El plato maestro se fija a la brida del robot, mientras que las herramientas, tales como pinzas, pistolas de soldadura o motores son fijadas cada una en su plato de herramienta correspondiente.

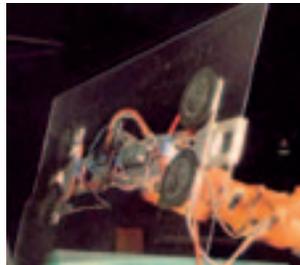
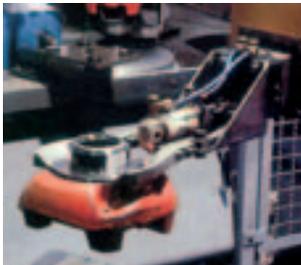
FIGURA 11
Componentes de un elemento terminal





En dichas uniones se han de diseñar las interfaces de acoplamiento siguientes: RIP (Robot Interface Plate) para fijar el robot al plato maestro y TIP (Tool Interface Plate), para fijar el plato de herramienta a cada herramienta. Este sistema de cambio de herramienta permite el paso de conectores con señales neumáticas del plato maestro al plato de herramienta. Además, mediante accesorios puede permitir el paso de señales hidráulicas y eléctricas. En operación, el robot debe ser programado para que seleccione la herramienta a utilizar acoplando el plato maestro con el plato de herramienta correspondiente.

El cambiador de herramienta mejora la flexibilidad y la fiabilidad de una célula robotizada. Se utiliza sobre todo en cambios de herramienta automáticos, pero también puede ser empleado en cambios de herramienta manual. Las herramientas finales, que tienen por función el manejo de piezas y materiales, usan diferentes configuraciones de dedos articulados, medios magnéticos o de vacío. Estos aparatos se diseñan y emplean de acuerdo a la forma en que operarán y el grado de precisión exigido. Por ejemplo, se puede mover un material tomándolo directamente desde arriba, un costado, abajo, en el centro de gravedad de la pieza, etc., ejerciendo distintos esfuerzos en la pieza y en el robot. La pieza puede ser en extremo delicada, pequeña, o puede ser estable. También puede ser movido en forma indirecta, tomando una bandeja o pallet que contenga la pieza. Por otra parte, las herramientas que no tienen por objeto la manipulación y agarre, son en su mayoría las destinadas a la soldadura por puntos y a la pintura con pistola. Otras aplicaciones incluyen otros tipos para soldado, sellado, quitar rebabas y múltiples trabajos menos comunes. Para ejecutar estas tareas los robots deben tener entre cinco y seis grados de libertad, para poder orientar correctamente la herramienta.





Desde el punto de vista de los movimientos del robot, un concepto muy importante es el punto central de la herramienta o TCP (Tool Center Point). Este punto se asocia con el extremo de la herramienta que es lo que el robot en definitiva debe mover a posiciones determinadas durante el desarrollo de la tarea. Esto es importante cuando la herramienta debe seguir una trayectoria con una orientación determinada, por ejemplo, en soldadura por aportación, sellado, corte por láser o desbarbado.

5. Sistemas de seguridad

La seguridad de las personas en las instalaciones robotizadas es un aspecto crítico que debe tenerse muy en cuenta en el diseño de la instalación.

La seguridad se logra definiendo procedimientos y métodos operativos que todo el personal debe conocer e instalando un conjunto de equipos específicos de seguridad. Estos equipos deben preverse en la fase de diseño y suministro del sistema exigiendo a los fabricantes que los tengan en cuenta en el suministro. Estos sistemas están fundamentados en dos principios:

- La ausencia de personas en el espacio controlado durante el funcionamiento automático.
- La eliminación de los peligros o al menos su reducción durante las intervenciones de reglaje, verificación de programa, puesta a punto o mantenimiento en el espacio controlado.

Para poder conseguir estos objetivos existen los siguientes elementos de seguridad:

Barreras materiales

Sistemas de impiden que el trabajador acceda a la zona de peligro del robot. En el caso de que el sistema sea violado, se desencadenaría la acción de otros dispositivos de seguridad, lo que provocaría la parada de la instalación. Esto se consigue con un cerramiento mediante vallas o guardas, de dimensiones concordantes al tipo de riesgo existente y al robot instalado. El sistema de protección se basa en la combinación de altura y distancia con el propósito de no acceder al punto peligroso.



Accesos a zona perimetral

En las puertas de acceso se implementan interruptores de seguridad, preferiblemente con enclavamiento electromagnético. Estos dispositivos van conexionados al circuito de seguridad de cerramientos general de tal forma que si se abre una de estas puertas se debe producir la parada de todos los equipos que forman la célula robotizada. Existen los siguientes tipos de interruptores de seguridad:

- Interruptor de seguridad con dispositivo de bloqueo.
- Interruptor de seguridad sin dispositivo de bloqueo.
- Interruptor de seguridad sin contacto.

Sistemas optoelectrónicos de seguridad - barreras inmateriales

Se pueden instalar en localizaciones específicas de acceso. No es recomendable implementar sistemas optoelectrónicos como protección perimetral, ya que el robot en muchos casos se está utilizando para manipulación y podría fallar la garra de sujeción de pieza por un frenado brusco debido a una emergencia o por un fallo de sistema. Entre estos sistemas podemos destacar:

- *Cortinas fotoeléctricas.* Dispositivos que forman una cortina de radiaciones ópticas que detectan la interrupción de estas por un objeto opaco presente en la zona de detección especificada. Se usan en islas robotizadas de paletizado con objeto de discernir el paso de una pieza o un hombre y permitir con seguridad la entrada o salida de pieza.
- *Escáner láser.* Es un sistema de seguridad que explora su entorno sin contacto por medio de un haz láser infrarrojo, sin necesidad de utilizar reflector o receptor separado. La zona de detección puede adaptarse perfectamente a la zona de protección estableciendo una zona de preaviso. Es interesante para la detección de personas en áreas de alto riesgo o para incorporar en sistemas de transporte sin conductor.
- *Alfombras sensibles.* Son interruptores eléctricos de área sensibles a la presión que pueden detectar la presencia de personal no autorizado en áreas de trabajo peligrosas.



Sistemas de supervisión de elementos distribuidos de seguridad

Los circuitos de seguridad de las células robotizadas deben tener una categoría de seguridad alta nivel 4 según UNE EN 954. Esto se consigue supervisando el funcionamiento de los elementos distribuidos a través de sistemas homologados como:

- *Módulos de seguridad.* Es el sistema más sencillo que existe en el mercado. Con estos módulos podremos supervisar distintos elementos distribuidos de seguridad, desde un interruptor de seguridad, una parada de emergencia o un sistema de doble mando.
- *Módulos programables de seguridad.* Se utilizan para supervisar instalaciones de tamaño medio que poseen varios elementos de seguridad distribuidos pero que no son lo suficientemente complejas como para que resulte económico implementar un autómatas de seguridad.
- *Autómatas de seguridad.* Se utiliza un PLC específico para desempeñar funciones de seguridad, en situaciones de alto riesgo en las que se puede producir un accidente importante y que deben cumplir requisitos muy especiales (utilización de sistemas redundantes, utilización de diversidad, autocontrol, etc...).

6. Clasificación de los robots según sus ejes

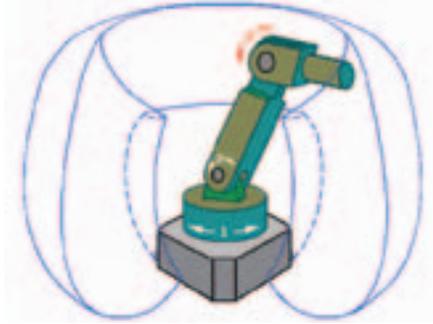
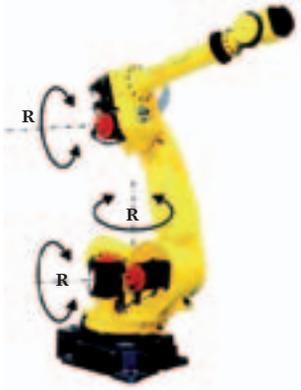
La mayoría de los estudios relacionados con los robots realizan una clasificación atendiendo al tipo de coordenadas con las que se determina la posición final y a la configuración de sus 3 ejes principales. Atendiendo a este criterio, los robots se clasifican en angular vertical/antropomórfico, paralelo, cartesiano, angular horizontal/scara, esférico y cilíndrico. No obstante solo los tres primeros pueden identificarse con robots que se instalan en España.

Robot angular vertical o antropomórfico

También llamado manipulador de codo se llama antropomórfico porque simula los movimientos de un brazo humano. El primer eje se corresponde con el cuerpo, el segundo con el brazo, el tercero con el antebrazo y el resto de con la muñeca-mano; la primera articulación se corresponde con el giro de la cintura, la segunda con el del hombro, la tercera con el del codo y el resto están en la muñeca. Este robot posee gran accesibilidad y maniobrabilidad, es rápido y ocupa poco espacio en relación al campo de trabajo que abarca. Debido a sus características es el modelo más versátil. Es el más adecuado en aplicaciones relacionadas con manipulación de piezas de trabajo como soldadura por puntos, soldadura continua, aplicación de masillas o pintura.

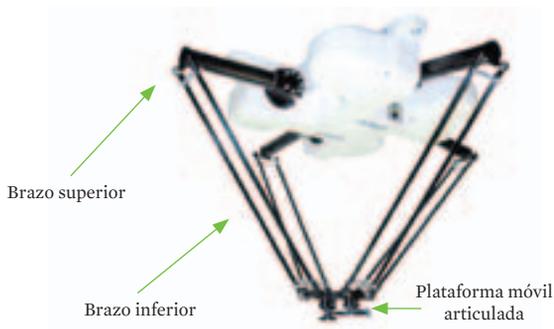


Como inconvenientes se encuentran que tiene menos precisión que otros tipos, que si trabaja con carga y velocidades altas, se producen inercias de giro difíciles de compensar y que sus articulaciones deben tener juego casi nulo pues en caso contrario pueden darse errores de posicionamiento significativos.



Robot paralelos

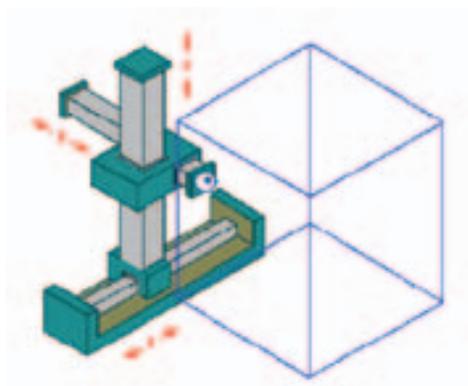
Son cadenas cinemáticas cerradas, cuyo órgano terminal o plataforma móvil, está conectado a la base mediante varias cadenas cinemáticas seriales independientes. Normalmente consta de seis patas accionadas independientemente entre sí, las cuales, al modificar su longitud, posicionan y/o cambian la orientación de la plataforma que tienen en el extremo donde se coloca el actuador del robot. Son robots con características de ligereza, rigidez y altas aceleraciones que se emplean en procesamiento de piezas, transferencia de productos a alta velocidad y posicionamiento de precisión, e incluso, simuladores de vuelo. Por el hecho de converger los seis motores en el desplazamiento del actuador, se consiguen las mayores velocidades, aunque por el mismo motivo los espacios de trabajo son muy reducidos y tienen forma de porción esférica o cilíndrica. En la actualidad es el tipo de robot con un mayor incremento de instalaciones en España en aplicaciones “pick and place” (tomar y colocar) para la industria de la alimentación.





Robot cartesiano

Sus tres articulaciones principales son prismáticas, los ejes son ortogonales entre sí y los desplazamientos sobre ellos dan las coordenadas cartesianas X, Y, Z, de los puntos de trabajo. La estructura puede ser de tipo voladizo o en pórtico. Son rápidos, muy precisos, de fácil control, amplia zona de trabajo y elevada capacidad de carga, pero ocupan mucho espacio relativo y su elemento terminal-herramienta no es especialmente orientable. Se usan en aplicaciones que requieren movimientos lineales de alta precisión en zonas de trabajo grandes que sean fundamentalmente un plano o planos paralelos. Si la precisión necesaria no es alta, los ejes son controlados por medio de PLC y tarjetas electrónicas lo que aventaja notablemente en precio a este tipo de robots. Este tipo de robots, que pueden soportar mucho peso, se utilizan principalmente para la manipulación de piezas de trabajo, almacenamiento, paletización y carga y descarga de máquinas.

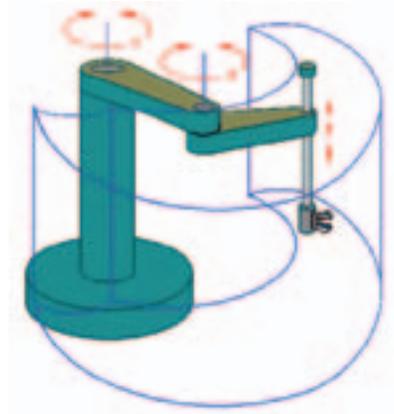
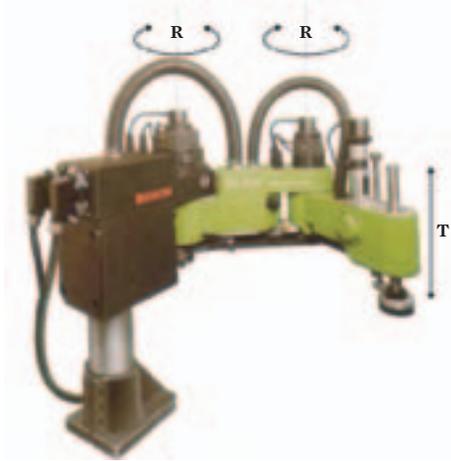


Robot articulado horizontal (SCARA)

La denominación SCARA es el acrónimo de Selective Compliant Assembly Robot Arm, que en español vendría a significar “brazo de robot acodado horizontal para montaje”. Es un robot articulado de cuatro grados de libertad con posicionamiento horizontal. En estos robots hay dos ejes principales que proporcionan movimientos rotativos en un mismo plano para obtener un círculo, mientras que el tercero desplaza ese círculo en línea recta para engendrar un volumen que tendrá forma cilíndrica. El cuarto eje es vertical lineal que es la dirección más fácil para la inserción o montaje de componentes. Se conocen por sus rápidos ciclos de trabajo, excelente repetitividad, gran capacidad de carga y su amplio campo de aplicación. El robot Scara es rápido, barato y preciso, pero solo tiene accesibilidad a zonas de trabajo que estén en planos perpendiculares

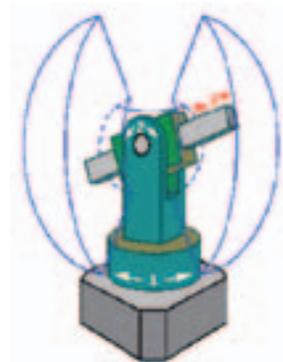
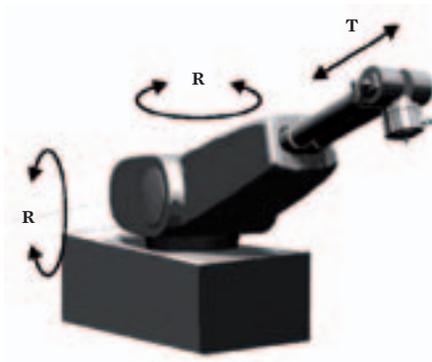


a su eje vertical. Se emplea fundamentalmente en operaciones de montaje o inserción de componentes y tiene gran uso en Japón, de donde es originario. En España tiene nula aplicación actual debido a que aquí se emplean los robots angulares.



Robot esférico

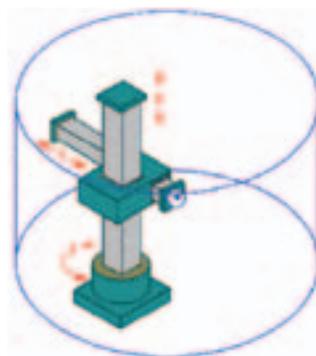
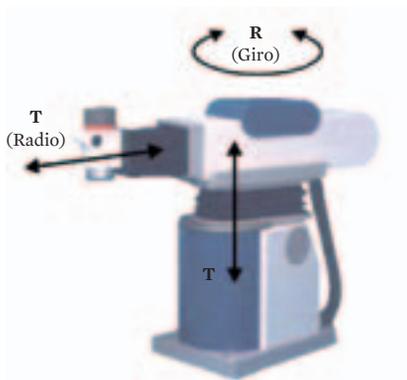
En este robot se colocan dos ejes rotativos perpendiculares para poder realizar circunferencias, tanto horizontales como verticales, obteniéndose con ello una superficie esférica, la cual es expandida o comprimida mediante el desplazamiento del tercer eje en línea recta convirtiéndose este movimiento en el radio de dicha esfera. Los robots polares, normalmente dotados de accionamientos hidráulicos y/o neumáticos, se utilizan principalmente para tareas de carga y descarga de máquinas, paletización de piezas y soldadura por puntos. Este tipo de robot está prácticamente en desuso.





Robot Cilíndrico

Utiliza un giro en la base y dos desplazamientos perpendiculares entre sí, para determinar la posición de los puntos por medio de coordenadas cilíndricas. Se controla fácilmente y es rápido, pero solo se usa en casos en que no haya obstáculos en su zona de trabajo y el acceso a ella se haga horizontalmente. Es una estructura que cuando los robots eran neumáticos y/o hidráulicos era bastante empleada, pero que empieza a quedarse obsoleta con los robots con accionamientos eléctricos.



7. Características técnicas de los robots

La selección del robot más idóneo debe hacerse valorando una gran variedad de factores. Los fabricantes de robots proporcionan una amplia información de sus características pero son los integradores quienes disponen de experiencia para seleccionar el robot más adecuado. Desde el punto de vista técnico, las características que deben considerarse a la hora de seleccionar un robot son:

Área de trabajo

El área de trabajo o campo de acción es el volumen espacial al que puede llegar el extremo del robot. Este volumen está determinado por el tamaño, forma y tipo de la cadena cinemática. El robot debe elegirse de modo que su área de trabajo le permita llegar a todos los puntos necesarios para llevar a cabo su tarea, incluyendo puntos de recogida de piezas (alimentadores), mesa de trabajo, puntos de salida de piezas, etc. También es necesario tener en cuenta la posibilidad de acceso con unas orientaciones o trayectorias determinadas. La disposición óptima de todos los elementos que compondrán la célula junto con el robot, es una tarea crítica por el gran número de variables a considerar. Deberá verificarse que, una vez situados todos los demás



componentes de la célula, el robot no colisione con ellos al efectuar sus movimientos. El empleo de programas de simulación gráfica permite seleccionar interactivamente la disposición óptima de la célula. Con frecuencia la zona de trabajo del robot se extiende por debajo de su base, por cuyo motivo debe instalarse sobre un pedestal.

Velocidad

La velocidad a la que puede moverse un robot y la carga que transporta, están inversamente relacionados. Normalmente la información del fabricante proporciona datos de velocidad para diferentes valores de la carga a transportar. También suele existir una relación de orden inversa entre el error de posicionamiento y la velocidad del robot. La velocidad de movimiento de un robot puede darse por la velocidad de cada una de sus articulaciones o por la velocidad media de su extremo, siendo esta última más útil para el usuario, pero más imprecisa. El valor de la velocidad nominal de movimiento de un robot es un dato relevante para el cálculo de los tiempos de ciclo. No obstante, hay que considerar que el dato proporcionado normalmente corresponde a la velocidad nominal en régimen permanente. Para alcanzar este régimen es preciso que el movimiento del robot sea suficientemente largo. En la práctica, en la mayoría de los casos, los movimientos del robot son rápidos y cortos, con lo que la velocidad nominal se alcanza en contadas ocasiones. Por este motivo, la medida del tiempo de ciclo no puede ser obtenida a partir de la velocidad, siendo ésta una valoración cualitativa del mismo. En vez de este dato, algunos robots indican el tiempo empleado en realizar un movimiento típico (un tomar & poner, por ejemplo). Los valores habituales de velocidad del extremo oscilan entre 1 y 4 m/s con carga máxima.

Precisión, Repetibilidad y Resolución

Las ventajas del robot frente a otras máquinas se basan en el bajo error de posicionamiento con el que realizan su trabajo. Un robot debe tener la capacidad de posicionar rápidamente, sin error, con elevada precisión y repetidas veces las piezas. Para la definición de este error es necesario tener en cuenta tres conceptos complementarios entre sí: la precisión, la repetibilidad y la resolución. De entre los tres, el dato normalmente suministrado por los fabricantes es el de repetibilidad y éste es el utilizado a la hora de seleccionar un robot u otro por su exactitud.

- *Repetibilidad.* Radio de la esfera que abarca los puntos alcanzados por el robot tras suficientes movimientos, al ordenarle ir al mismo punto de destino programado, con condiciones de carga, temperatura, etc., iguales. El error de repetibilidad es debido fundamentalmente a problemas en el sistema mecánico de transmisión como rozamientos, histéresis, zonas muertas.



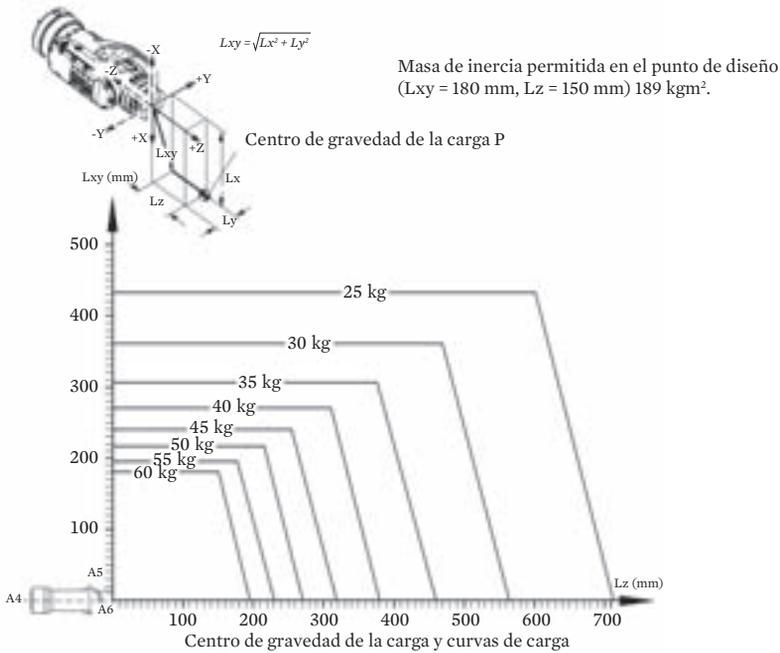
- *Resolución.* Mínimo incremento que puede aceptar la unidad de control del robot. Su valor está limitado por la resolución de los captadores de posición y convertidores A/D y D/A, por el número de bits con los que se realizan las operaciones aritméticas en la CPU y por los elementos motrices.
- *Precisión.* Distancia entre el punto programado y el valor medio de los puntos realmente alcanzados al repetir el movimiento varias veces con carga y temperatura nominales. Su origen se debe a errores en la calibración del robot (punto de sincronismo por ejemplo), deformaciones por origen térmico y dinámico, errores de redondeo en el cálculo de la transformación cinemática (especialmente en las cercanías de puntos singulares), errores entre las dimensiones reales y teóricas del robot, etc.

Capacidad de carga

La capacidad de carga del robot, para una determinada tarea, viene condicionada por el tamaño, la configuración y el sistema de accionamiento del propio robot. Por otra parte, al evaluar la carga a manipular por el robot debe considerarse el peso de las piezas a manipular y el peso propio de la herramienta o pinza que emplee el robot, en muchas ocasiones superior al de los propios objetos. Además de la carga, se debe tener en cuenta el momento de fuerza que la pieza a transportar genera en el extremo del robot. Para ello el fabricante proporciona un cuadro en el que se indica la disminución de la posible carga a transportar para no disminuir prestaciones a medida que el centro de gravedad de la misma se aleja del centro de la muñeca. El dato que normalmente se proporciona en la hoja de características del robot, corresponde a la carga nominal que éste puede transportar, sin que por ello disminuyan sus prestaciones dinámicas, y siempre considerando la configuración del robot más desfavorable. Sin embargo, es posible aumentar esta carga hasta un cierto límite, siempre y cuando se pueda admitir una disminución en la velocidad de los movimientos del robot e incluso en su precisión. Los valores más frecuentes de capacidades de carga varían entre 5-50kg, aunque se pueden encontrar robots que transporten más de media tonelada. Algunos fabricantes distinguen entre la carga nominal y la carga máxima. Esto permite que se sobrepase la nominal, siempre y cuando no se alcance la máxima y sin afectar a la mecánica del robot. También existen robots a los que, además de la carga nominal, se les puede colocar una carga adicional encima del antebrazo. Esto les permite cargar con, por ejemplo, el aplicador de masilla, el carrete de electrodo para soldadura al arco, el transformador de soldadura, etc. Cuanto mayor sea la capacidad de carga del robot, su precisión de posicionamiento y repetibilidad van empeorando en la misma proporción. No obstante, la evolución actual hace que, para las mismas cargas que hace unos años, las repetibilidades sean bastante mejores.



FIGURA 12
Ejemplo de gráfico de disminución de cargas útil según distancias



Control de trayectorias

La trayectoria real que describe el robot en automático para ir de un punto a otro, a partir de la información o programa memorizado, depende del tipo de cálculo que realiza su sistema de control. A este concepto se le denomina “Interpolación” y existen dos tipos:

- *PTP - Point To Point (Punto a Punto)*. En este tipo de desplazamientos el objetivo es realizar el movimiento entre dos puntos en el menor tiempo posible sin que la trayectoria recorrida entre los puntos tenga importancia. Para ello el control desplaza, a velocidad máxima, la herramienta desde una posición programada a la siguiente. El recorrido depende exclusivamente de la cantidad de ejes que tengan que moverse. Dentro de los movimientos PTP existen dos grandes tipos de controles denominados asíncronos y síncronos. En el desplazamiento TP asíncrono, el control desplaza todos los ejes que deban moverse a velocidad máxima, hasta conseguir su posición en el punto de destino; esto conlleva que el tiempo que se está moviendo cada eje dependa del recorrido que tiene que realizar, provocando pequeñas sacudidas en mitad de la trayectoria cada vez que un eje alcance su destino. Para conseguir un movimiento más uniforme, y sin sacudidas intermedias, existe el desplazamiento



PTP síncrono que lo que hace es aplicar, a cada eje, velocidades proporcionales a su recorrido, con respecto al recorrido máximo.

- *CP – Continuous Path (Trayectoria Continua)*. En este tipo del control de la trayectoria, el control toma muestras de la posición del TCP para compararlo con la trayectoria prevista matemáticamente, y corregir pequeñas desviaciones, en el menor tiempo posible, para que la trayectoria real se ajuste a la prevista mediante cálculo. Al poderse calcular las trayectorias a realizar, éstas podrían seguir cualquier función matemática, aunque prácticamente casi todos los sistemas las reducen sólo a dos, lineales y circulares.

Dependiendo del tipo de aplicación será conveniente disponer de uno u otro sistema. Para muchas aplicaciones (tomar & poner, por ejemplo), es suficiente con un control del movimiento punto a punto (PTP) en el que sólo es relevante el punto final a alcanzar por el robot y no el camino seguido. En otras, por el contrario, la trayectoria continua (CP) descrita por el extremo del robot es fundamental, por ejemplo, en soldadura con arco. Casi todos los robots incorporan la posibilidad de realizar trayectorias en línea recta y con interpolación circular.

Control dinámico

Las características del control dinámico del robot, como velocidad de respuesta y estabilidad, son de particular importancia cuando éste debe manejar grandes pesos con movimientos rápidos. En estos casos, un buen control dinámico asegura que el extremo del robot no presente oscilaciones ni errores de posicionamiento. El sobrepasar el punto de destino por una elevada inercia, puede originar colisiones.

Normalmente las prestaciones del control dinámico no son indicadas explícitamente como una característica a conocer por un posible usuario. Algunos sistemas de control de robots permiten variar, incluso en mitad de la ejecución de un programa, algunos de los parámetros de control dinámico.

Otra característica importante relacionada con el control dinámico hace referencia a la posibilidad de realizar un control de esfuerzos de manera selectiva en alguna de las articulaciones o ejes cartesianos. Esta posibilidad, que implica el empleo de sensores de esfuerzos, es importante en aquellas aplicaciones en las que la pieza manipulada deba entrar en contacto con algún objeto durante la realización de la tarea (ensamblaje, desbarbado, pulido, etc.).



8. Programación y simulación de robots

En función del modo empleado para indicar al robot la secuencia de operaciones que debe realizar hay dos métodos de programación: programación por aprendizaje y programación textual. La programación por aprendizaje también se conoce con el nombre de gestual.

Programación por aprendizaje: Este método es el que más se empleó en los primeros tiempos de la robótica. En este tipo de programación el programador mueve el brazo del robot a lo largo de la trayectoria deseada y graba los puntos y configuraciones en el controlador del robot; posteriormente el robot podrá repetir cíclicamente el programa grabado. El método es fácil de aprender y necesita poca memoria para almacenar la información. Por el contrario, el robot y su entorno no pueden usarse en producción durante su programación y hay dificultades para realizar programas complejos. El aprendizaje puede ser activo o pasivo:

- *Aprendizaje activo.* El programador mueve el brazo del robot con el propio sistema de accionamiento del robot, a través de la maleta de programación. También se pueden introducir en el programa otras variables y funciones como: velocidades de ejecución, estado de sensores, modificaciones de puntos de programa, etc.
- *Aprendizaje pasivo.* El programador mueve manualmente el brazo-robot y se memorizan las trayectorias que después repetirá el robot. Normalmente empleado en aplicaciones de pintura y en algunas de soldadura.

Programación textual: En la programación textual, mediante un lenguaje de alto nivel, se editan fuera de línea una serie de instrucciones que indican las acciones que debe realizar el robot. Esta forma de programación es similar a la realizada en las máquinas de control numérico (CNC). La información sobre dónde están los puntos a los que debe ir se le proporciona mediante las coordenadas cartesianas X, Y, Z y la orientación de la herramienta con tres ángulos (A, B, C en KUKA o W, P, R en FANUC) y mediante un computador externo o el sistema de control en línea. El control calcula las trayectorias que debe seguir la muñeca o la herramienta, en función de las coordenadas de los puntos programados. Su ventaja es que la programación puede hacerse sin que el robot deje de trabajar y el inconveniente es que al no realizarse directamente sobre la instalación, es probable que se tenga que “depurar” para corregir pequeñas desviaciones.

Usualmente la elección entre programación por aprendizaje y programación textual está asociada a cada tipo de aplicación. Así, una aplicación de pintura debe realizarse con un robot cuya programación se efectúe fundamentalmente mediante aprendizaje, es decir un sistema en el que la unidad de control memoriza automáticamente el camino por el que se desplaza el extremo del robot durante la etapa de programación. Por el contrario,



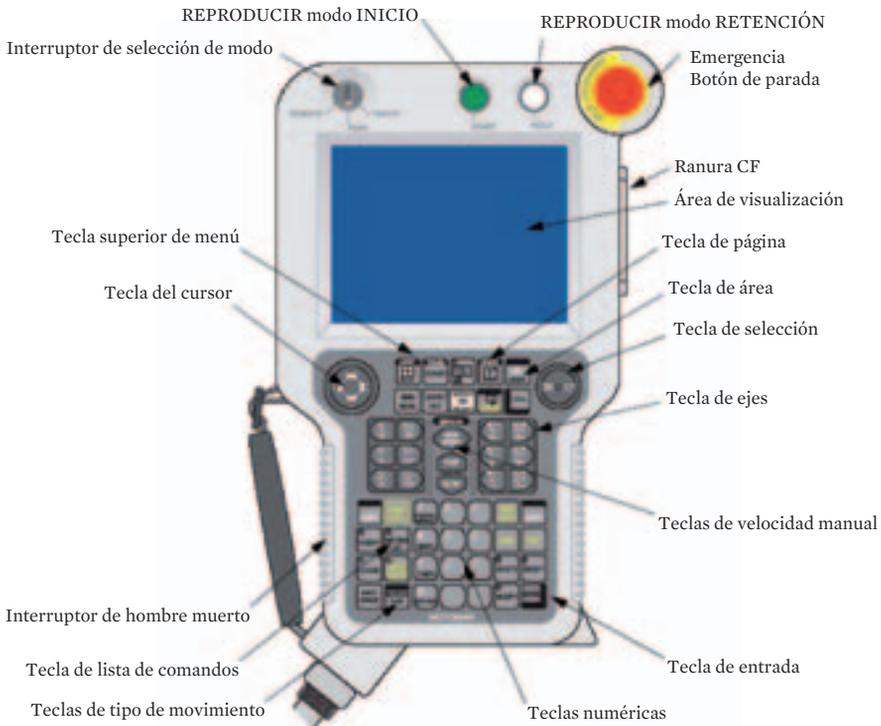
en un robot destinado a tareas de paletizado puede ser interesante la programación textual. Los fabricantes principales tienen sus propios lenguajes de programación que suelen tener muchas similitudes entre sí. No se ha conseguido una estandarización de lenguajes y por ahora se utilizan lenguajes propietarios como: el RAPID de ABB, VAL II y VAL III de UNIMATION, KAREL de FANUC, V+ de ADEPT y STAUBLI.

En ambos casos los puntos son nominados en el programa y los valores de sus coordenadas pueden ser introducidos directamente o desplazando el robot hasta los puntos y guardando en memoria las coordenadas alcanzadas.

FIGURA 13
Ejemplo de programación textual

```
PROGRAM PRG0017                                PRG0017.PE
/ATN
NAME1 = WHEEDTOR;
COMMENT = "STRREL_ASSCP";
PROG_SAFE = 3290;
CREATE = DATE 07-05-24 TIME 20:02:21;
MODIFIED = DATE 07-05-24 TIME 11:45:23;
FILE_NAME = ;
VERSION = 0;
LINE_COUNT = 21;
MEMPH_SIZE = 1530;
PROTECT = READ_WRITE;
FCB: STAIR_SIZE = 0;
    TASK_PRIORITY = 50;
    TIME_SLICE = 0;
    BUSY_LAMP_ON = 0;
    ARMED_REQUEST = 0;
    PAUSE_REQUEST = 0;
DEFINE_TOOL/ = 1;
CONTROL_SIZE = 0000000 0000000;
/APP
RAK06 PRO-FLD Equipment Number : 1 ;
/No
1;
2; J++ ;
3; UTOOL_NUM = 1 ;
4; UFRAME_NUM = 1 ;
5;
6;
7; P=1; 1000 FINE ;
8; P=2; 1000 FINE ;
9;
10;
11; P=1; 5000/sec FINE ;
12; P=1; 5000/sec FINE ;
13; P=1; 5000/sec FINE ;
14; P=1; 5000/sec CNTD ;
15; P=1; 5000/sec FINE ;
16; P=1; 5000/sec FINE ;
17; P=1; 5000/sec FINE ;
18; P=1; 5000/sec FINE ;
19; P=1; 5000/sec FINE ;
20; P=1; 5000/sec FINE ;
21; P=1; 1000 FINE ;
/PO
#1;
G01;
W 1; U1 1;          COMMENT : 'R, O';
X = 5.017 mm, Y = 225.706 mm, Z = 375.097 mm,
W = 179.734 deg, P = -0.636 deg, R = 44.191 deg;
#2;
G01;
W 1; U1 1;          COMMENT : 'R, O';
X = 117.407 mm, Y = 274.121 mm, Z = 49.186 mm,
W = 179.734 deg, P = -0.636 deg, R = 44.191 deg;
```

La forma habitual de programar se basa en una combinación de la programación textual con la de aprendizaje. Por una parte, empleando el lenguaje del robot, se editan off-line las instrucciones que necesita el robot para efectuar la secuencia de movimientos y otras acciones de la tarea a realizar. Por la otra parte, guiando al robot en línea, se memorizan los puntos (posiciones) necesarios, asignándoles la misma variable utilizada en la programación textual.

FIGURA 14
 Ejemplo de consola de programación


Actualmente, la simulación virtual de instalaciones robotizadas es una realidad que se está imponiendo debido a las ventajas que supone el comprobar el funcionamiento de una instalación antes de su programación. En este sentido, las grandes industrias del automóvil exigen modelos de simulación incluidos en las ofertas de ingeniería de los integradores.

Hay varios programas comerciales para realizar el diseño y la simulación de células como Robcad, Robotstudio, Igrid, Workcell, Delmia, etc. O específicos de una marca como el conjunto de los V_CAT, V_TRAISIG y V_ISUAL de Staubli, KAREL de FANUC, etc. En muchos casos incluyen directamente librerías de modelos de robots comerciales con sus características técnicas y dimensionales totalmente configuradas.

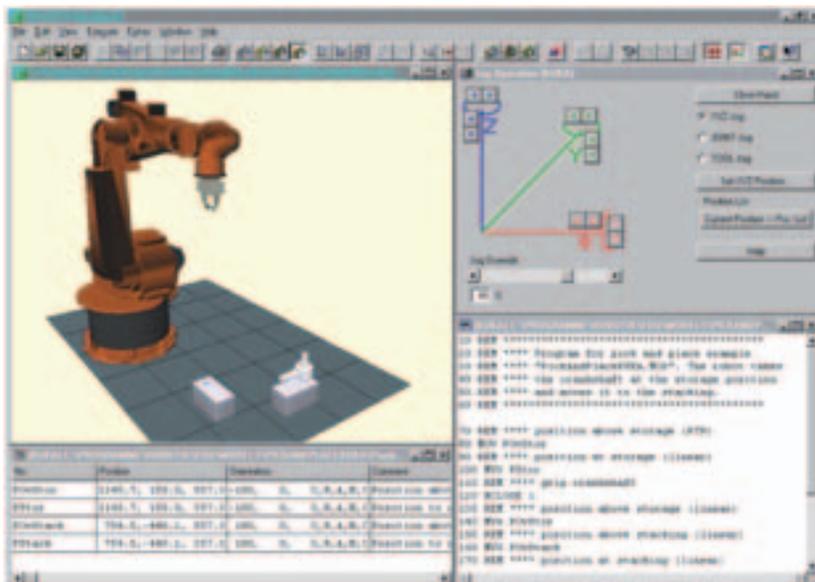
Para realizar la simulación de una instalación de este tipo, primero se diseña la célula en 3D con programas específicos o generales de CAD o bien se insertan los modelos 3D de robots desde librerías. En esta fase de modelado del entorno se definen las características cinemáticas y dinámicas de los robots y de otros elementos móviles de la instalación. En la segunda fase se determinan las trayectorias, movimientos, velocidad-



des y secuencias. En la tercera fase se realiza la simulación de todos los movimientos; en esta etapa se comprueban las posibilidades de la instalación y se corrigen errores. Algunas aplicaciones detectan las interferencias y se optimizan el diseño, los utillajes y los tiempos de ciclo.

Estos paquetes de simulación pueden generar el programa de robot en un lenguaje neutro. Una vez que se ha optimizado el sistema virtual y se ha comprobado su correcto funcionamiento, se genera un programa off-line y por medio de postprocesadores se convierte al lenguaje de los robots que se van a utilizar. Como puede haber diferencias geométricas entre la realidad y el programa generado, será preciso realizar algunos ajustes y la calibración del robot, para introducir las compensaciones necesarias de tal modo que coincidan las posiciones teóricas y reales. En el caso de los paquetes propietarios no es necesario realizar el postprocesado ya que generan el programa en el lenguaje específico de la marca.

FIGURA 15
Ejemplo de simulador off-line de robots



9. Posición del robot en células

Un robot industrial raramente trabaja como un elemento aislado. Normalmente forma parte de un proceso de fabricación en el que debe interactuar con otros muchos elementos como cintas transportadoras, máquinas de producción, dispositivos de



fijación, herramientas, etc. En estas condiciones, la distribución de los mismos juega un papel esencial.

La definición de la distribución de los equipos es un proceso iterativo del que debe resultar la especificación del tipo y número de robots a utilizar, así como de los elementos periféricos, indicando la disposición relativa de los mismos. Habrá que definir, e incluso diseñar, los elementos periféricos pasivos (mesas, alimentadores, etc.) o activos (manipuladores secuenciales, máquinas CN, etc.) que intervienen en la célula, y situarlos físicamente en el sistema. En este proceso iterativo es clave la experiencia del equipo técnico responsable del diseño.

La utilización de herramientas informáticas, simuladores específicos para robots y simuladores de sistemas de fabricación flexible facilitan enormemente esta tarea. Un simulador de sistemas robotizados permite, de manera rápida y eficiente, evaluar las diferentes alternativas en cuanto al robot a utilizar y la disposición física de todo el sistema. Utilizando la interacción gráfica, se puede analizar qué robot de los existentes en la librería del programa se adapta mejor a la tarea programada, detectando posibles colisiones y verificando el alcance. Un simulador de sistemas de fabricación flexible permite dimensionar adecuadamente la célula, informando sobre su productividad, rendimiento y comportamiento ante cambios de la demanda o situaciones imprevistas (averías, cambios en el producto, etc.). Así mismo permite ensayar diferentes estrategias de control de la célula encaminadas a optimizar su funcionamiento. A la hora de decidir la disposición del robot en la célula, cabe plantearse cuatro situaciones básicas:

Robot en el centro de la célula

En esta disposición, el robot se sitúa de modo que quede rodeado por el resto de elementos que componen la célula. Se trata de una disposición típica para robots de estructura articular, polar, cilíndrica o SCARA, en la que se puede aprovechar al máximo su campo de acción, que presenta una forma de sección circular en planta. La disposición del robot en el centro se usa frecuentemente en aquellas aplicaciones en las que un robot sirve a una o varias máquinas como aplicaciones de carga-descarga de máquinas herramientas, soldadura por arco, paletización o ensamblado, en las que el robot debe alcanzar diversos puntos fijos dentro de su área de trabajo.

Robot en línea

Cuando uno o varios robots deben trabajar sobre elementos que llegan en un sistema de transporte, la disposición de robots en línea es la más adecuada. El ejemplo más



representativo son las líneas de soldadura de carrocerías de vehículos, en las que éstos pasan secuencialmente frente a sucesivos robots alineados, cada uno de los cuales realiza una serie de puntos de soldadura. En este tipo de disposición cabe diferenciar que el transporte sea de tipo intermitente o continuo. En el primer caso, en un momento determinado cada robot tiene delante una pieza sobre la que realiza las operaciones establecidas. Una vez acabadas éstas, bien se espera a que todos los robots finalicen sus tareas, para que entonces el sistema de transporte avance un puesto, o bien, si el sistema lo permite, da salida a la pieza que proceda, quedando disponible para recibir una nueva. Si el transporte es continuo, el robot deberá trabajar sobre la pieza en movimiento, y la línea de transporte deberá limitar su velocidad de modo que la pieza quede dentro del alcance del robot durante al menos el tiempo de ciclo.

Robot móvil

En ocasiones es útil disponer al robot sobre una vía que permita su desplazamiento lineal de manera controlada. Esta posibilidad permite, por ejemplo, seguir el movimiento de la pieza en el caso de que ésta se desplace sobre un sistema de transporte continuo, de modo que la posición relativa entre pieza y robot durante el tiempo que dura el proceso se mantenga fija. Para ello es necesario una precisa sincronización de los dos movimientos: transporte de la pieza y transporte del robot, lo que se puede conseguir con un acoplamiento mecánico desembragable o mediante un adecuado control en cadena cerrada de ambos transportes. En cualquier caso, una vez acabado el procesamiento de la pieza, el robot debe regresar rápidamente a su posición inicial para recibir una nueva.

Otra situación ventajosa de esta disposición es cuando éste debe cubrir un elevado campo de acción. Por ejemplo, en la pintura de carrocerías de coches, se dota al robot de este grado de libertad adicional que permite que dos robots de dimensiones medias (2 metros de radio de alcance aproximadamente) lleguen con la orientación adecuada a todos los puntos de proyección correspondientes a un coche. También en procesos de soldadura para piezas de grandes dimensiones. Asimismo, esta disposición del robot puede utilizarse cuando éste tenga que dar servicio a varias máquinas, por ejemplo, para carga-descarga de máquinas herramientas, obteniendo el máximo rendimiento del robot. Una célula de robot móvil es apropiada cuando el robot está siguiendo a algunas máquinas de herramientas con ciclos de procesamiento largos. Uno de los problemas en el diseño de células de robots móviles es encontrar el número de máquinas a las que tiene que servir el robot sin originar tiempos muertos en ninguna de ellas.

Robot suspendido

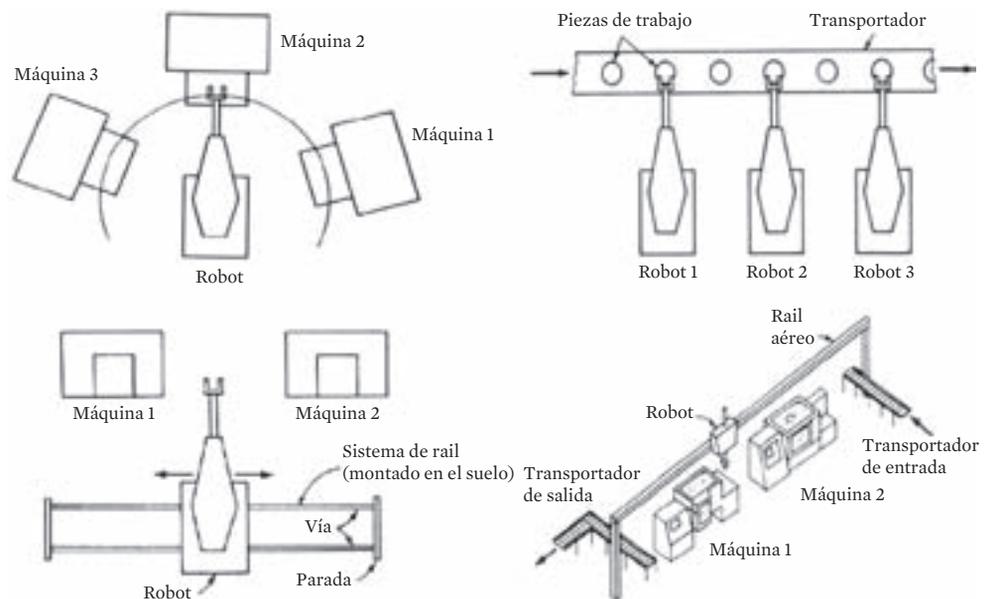
La disposición de robot suspendido se da cuando la base del robot se dispone de forma invertida colgada de una estructura. De esta manera, el robot se sitúa con su zona de trabajo hacia abajo de la estructura. En este caso, el robot tiene que estar preparado para que su funcionamiento sea correcto, como por ejemplo, en relación con la lubricación. Esta disposición permite operara sobre un plano de trabajo desde su parte superior y por lo tanto, alcanzando una mayor accesibilidad. También la disposición puede hacerse lateralmente con la superficie de la base perpendicular al suelo sobre una estructura adecuada.

Las ventajas de esta disposición están relacionadas con una menor necesidad de espacio de suelo, y se hace un mejor aprovechamiento del área de trabajo, pues de este modo el robot puede acceder a puntos situados sobre su propio eje vertical. La desventaja es el mayor coste de construcción del sistema aéreo.

Las operaciones típicas donde se utiliza el robot suspendido son en aplicación de adhesivos o sellantes, proyección de material (pintura, acabado superficial, etc.), corte (chorro de agua, láser, etc.) y soldadura al arco.

FIGURA 16

Tipos de distribución de los robots en las células





10. Integración con equipos y sistemas

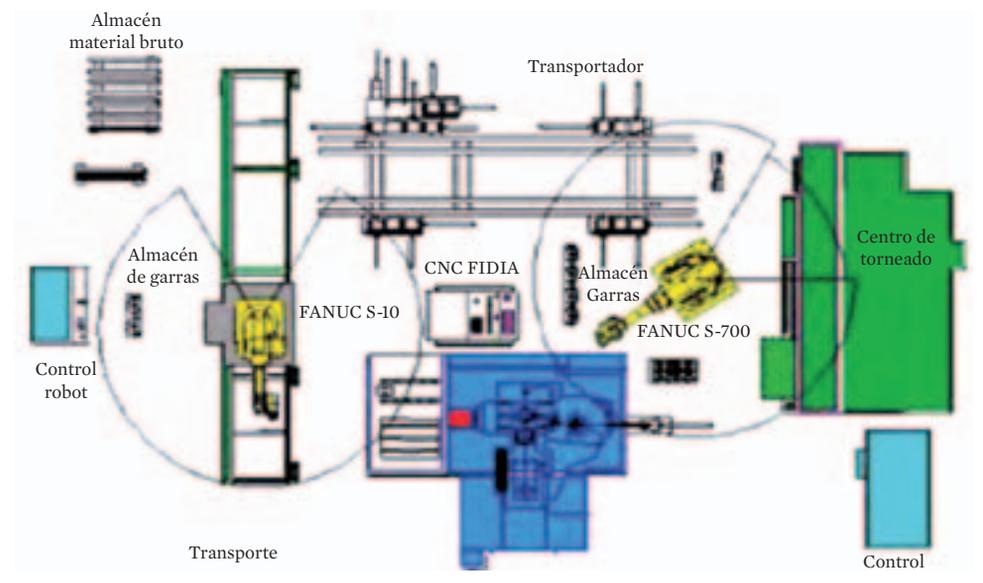
En la mayoría de los casos hay que considerar a los robots como elementos de una instalación de fabricación o de montaje automatizada de la cual debe recibir, y a la que debe proporcionar, informaciones y materiales. De aquí que normalmente forman parte de un sistema complicado y controlado de flujo de materiales y de información. Esta situación implica la necesidad de integrar diferentes sistemas de control en mayor o menor grado de dificultad.

En casos pequeños puede que solo se integre con sencillos PLC que controlen los sistemas de manutención mientras que en otros más complejos puede ser necesaria una integración con máquinas de proceso o incluso con los sistemas de gestión informática de la empresa.

Algunos Sistemas de Fabricación Flexible (FMS) integran máquinas CNC, centros de mecanizado automatizados, robots y periféricos. En estos casos, todo el sistema está interconectado mediante señales por una red de comunicación. En los FMS más complejos se dispone de un control central que controla el sistema, gestionando la comunicación entre todos los elementos del sistema y realizando la función de supervisión activa.

FIGURA 17

Ejemplo de FMS





En algunos sistemas más avanzados se incluye la integración de la información del almacén de materiales, las máquinas de medida, control automático de herramientas y el control de calidad.

TABLA 5
Componentes de un sistema FMS

Ordenador de control y Central
Red industrial de comunicaciones
Sistema de medida, control y vigilancia
Sistema de elaboración y ensamblaje
Robots Industriales / Manipuladores
Cambio de herramientas y su transporte automatizado
Cambio de piezas de trabajo automatizado
Desabastecimiento automático (Viruta, refrigerante, etc.)

En estos sistemas FMS, los robots realizan funciones de manipulación de piezas de trabajo o de herramientas, por ejemplo en la fabricación de piezas torneadas, montaje de engranajes, en chapistería, en pintura, etc. Frecuentemente se equipan con sistemas de cambio de pinzas o de herramientas. El control del robot recibe, a través del sistema central de control, de programas de usuarios y de sensores descentralizados, las informaciones correspondientes, las cuales regulan el flujo de material e información y el ciclo de movimientos del robot.

Las funciones realizadas por el sistema de control abarcan:

- Control individual de cada una de las máquinas, transportes y demás dispositivos, incluidos robots, que compongan la célula.
- Sincronización del funcionamiento de los diferentes dispositivos entre sí.
- Detección, tratamiento y recuperación de las situaciones anómalas de funcionamiento que puedan presentarse.
- Optimización del funcionamiento conjunto de los dispositivos de la célula, distribuyendo si es posible las funciones de manera dinámica, para así evitar paradas por espera o acciones innecesarias.
- Interfase con el usuario, mostrando la información adecuada para que en todo momento se conozca con el detalle necesario el estado del sistema, así como permitiendo que el operador acceda, con las restricciones pertinentes, al funcionamiento del mismo.



- Interfase con otras células, para permitir la sincronización entre ellas, optimizando el funcionamiento de un sistema de fabricación flexible compuesto por varias células.
- Interfase con un sistema de control superior que realiza básicamente funciones de supervisión y actualización de programas cuando se diese un cambio en la producción.

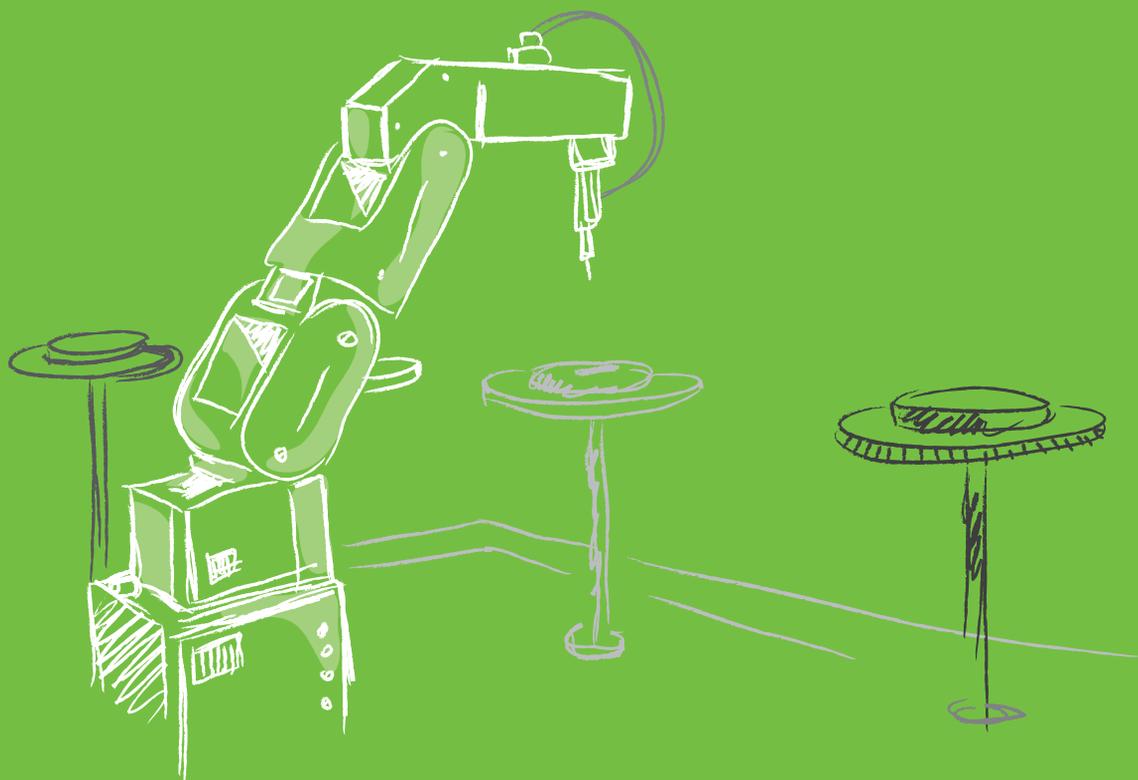
Estas funciones, que pueden ser necesarias en mayor o menor medida en el control de una célula robotizada, se implementan en un hardware que es preciso definir y dimensionar. En aquellas ocasiones en las que la simplicidad de la célula lo permite, el propio controlador del robot puede simultanear las funciones propias de control de sus ejes con el mando del resto de los dispositivos. Para ello utiliza sus entradas/salidas digitales/análogicas, o si es necesario la posibilidad de incorporar ejes externos servocontrolados. Si por el contrario, la célula incluye un mayor número de dispositivos, algunos de los cuales incluso disponen de su propio controlador, será preciso disponer de una estructura jerarquizada en la que un elemento central (computadora, PLC, etc.) mantenga una comunicación con el resto de los controladores.

En toda integración de sistemas, especialmente en las redes con robots, existen generalmente grandes problemas y dificultades debido a lenguajes de programación distintos. En estos casos existe lo que se denominan puntos de intersección de comunicación y protocolos de transmisión para los diversos elementos de los sistemas, que por falta de normas y directrices se fabrican normalmente según las necesidades de la empresa y dificultan el intercambio de datos. Para resolver estos problemas de comunicación se necesitan “programas interprete” capaces de permitir el intercambio de datos entre sistemas distintos

En cualquier caso, el correcto dimensionamiento del control de la célula es tarea que no debe desestimarse, pues repercutirá en los costes de implantación y explotación.

3

APLICACIÓN DE LOS ROBOTS EN LA PYME





1. La Pyme frente a la robotización

Las pequeñas y medianas empresas (Pymes) constituyen con mucha diferencia el núcleo del tejido industrial español pero es fuera de ellas donde se concentra el mayor número de robots industriales instalados. Esta realidad contrasta con el hecho de que la actividad de muchas de ellas sería susceptible de usar tecnologías bien desarrolladas y consolidadas internacionalmente. La PyME tiene unas características intrínsecas que muchas veces la hace ir por detrás de la implantación de nuevas técnicas de fabricación. Entre estas características diferenciales podrían destacarse:

- Desventajas competitivas frente a grandes empresas; de mercado, regulatoras, ayudas.
- Insuficiente formación en técnicas de automatización y prácticas de gestión, tanto de personal técnico como directivo.
- Reducidas oportunidades de interactuar con compañías similares.
- Mayores dificultades para acceder a fondos de modernización.
- Carencia de planes estratégicos de mejora continua de la productividad.

Desde un punto de vista estrictamente técnico, también existe en un gran desconocimiento sobre las posibilidades de aplicación de los robots, lo que hace que muchas pequeñas y medianas empresas vean lejana su aplicación.

Las PyMES deben apostar decididamente por la implementación de la robótica como una nueva herramienta para optimizar sus sistemas de producción. El incremento del uso de la robótica será uno de los indicadores relacionados con el cambio de modelo productivo en nuestro sistema de innovación y fabricación. Las empresas que no hacen algún cambio en el trabajo tradicional son empresas que se mueren. Implementar equipos que faciliten sus procesos, les da competitividad.

En estas condiciones, muchas empresas saben que necesitan robotizar pero no saben cómo. Una manera de iniciarse en este campo es identificar el proceso con mayor garantía de éxito. Es muy probable que siempre exista una posibilidad de robotización. El reto está en identificar y empezar el primer proyecto.



2. Campos generales de aplicación

Existen un conjunto de aplicaciones específicas que son las más adecuadas para una aplicación de la robotización. Estas aplicaciones están suficientemente maduras y cualquier PyME puede encontrar suministradores e ingenierías con numerosas experiencias en estos campos generales. En muchos casos, cada una de estas aplicaciones tiene asociadas tipos específicos de robots o soluciones integradas. De manera usual, las aplicaciones más frecuentes se agrupan en ocho campos generales:

- *Manipulación y atención a máquinas.* Utilización de manipuladores para desplazamiento de materiales, piezas y productos dentro de una célula de trabajo.
- *Soldadura.* Procesos de unión de materiales y piezas mediante las distintas técnicas de soldadura.
- *Aportación de materiales.* Aplicación o dispensación de sustancias como adhesivos, pintura o sellantes sobre superficies.
- *Procesado.* Procesos de fabricación con herramientas específicas de mecanizado de materiales metálicos y no metálicos como corte, pulido, desbarbado, fresado, etc..
- *Ensamblado y desensamblado.* Montaje o desmontaje de partes en conjuntos mecánicos.
- *Empaquetado y paletizado.* Formado de paquetes y palets de productos terminados.
- *Manutención y almacenaje.* Utilización de robots en tareas logísticas de transporte y almacenaje de productos, normalmente ya terminados e incluso empaquetados.
- *Inspección.* Comprobación de la calidad de cada producto durante el proceso de fabricación y también bancos de ensayos robotizados para el análisis de muestras de producto.
- *Salas blancas.* Procesos de fabricación y manipulación en espacios con una contaminación mínima, habitual en la fabricación de ciertos productos electrónicos.

Manipulación y atención a máquinas

En este tipo de aplicaciones, el robot realiza el desplazamiento de cargas entre distintos puntos del espacio. La carga puede ser una pieza en proceso, una parte de material, un subconjunto, un contenedor, un paquete, etc. La herramienta que utiliza el robot para esta tarea es la pinza o garra robótica, elemento montado en la parte final del brazo robot que se puede encontrar en una gran variedad de formas y modos de agarre. En este tipo de aplicaciones un parámetro fundamental en la



selección del robot será la carga que debe ser capaz de desplazar, ya que puede ser modificada al variar el modelo de pieza que desplaza. Aplicaciones habituales de esta aplicación son:

- *Alimentación y extracción de piezas en máquinas.* En estas aplicaciones el robot coloca una pieza en el interior de una máquina para que una herramienta realice un procesado sobre la pieza. El robot no participa en la actividad de procesado. Un ejemplo típico son los manipuladores entre prensas, que extraen piezas de una prensa y la colocan en la siguiente. Dado que la forma de agarre de las piezas y su movimiento puede imponer reorientar la pieza desplazada, son habituales los robots de seis articulaciones.
- *Extracción de piezas de máquinas de fundición o inyectoras.* La retirada de piezas en este tipo de aplicaciones ha permitido mejorar la seguridad y condiciones de trabajo en las plantas, al evitar que los operarios realicen este tipo de tareas en ambientes de elevadas temperaturas. También se usan robots articulados verticales de seis articulaciones.
- *Manipulación de piezas entre líneas de mantenimiento.* Ejemplos frecuentes son el desplazamiento de piezas entre bandas o líneas de rodillos, tareas de clasificación en las que se separan piezas de dos o más tipos, o la colocación de productos de forma ordenada en bandejas. En este caso, donde normalmente la carga se desplaza entre superficies horizontales a alturas próximas, con una elevación pequeña de la carga durante su movimiento, es habitual la configuración de robot de tipo SCARA. Este tipo de robots tiene también sólo cuatro grados de libertad, como los robots de paletizado, pero su rango de desplazamiento vertical es menor. Por otro lado, pueden alcanzar velocidades más elevadas con cargas pequeñas, por lo que son muy habituales en tareas “tomar & poner”.

Carga y descarga de máquina herramienta



Apilado de tableros de madera





Soldadura

Son las aplicaciones más extendidas y conocidas, más ensayadas y con mayor oferta en el mercado. Existen empresas que sólo se dedican a la implantación de este tipo de aplicaciones, incluso en forma de células compactas, en las que el robot y el equipo de soldadura se rodean de un cerramiento de configuración fija que se instala de forma rápida en las industrias.

Normalmente, las aplicaciones no son generalmente complejas, precisando una integración de sensores pequeña y una programación de trayectorias relativamente sencilla. Las aplicaciones más extendidas son la soldadura por puntos y la soldadura por arco. Existen soluciones robotizadas para prácticamente cualquier modalidad de soldadura, incluida la soldadura por láser. La configuración de robot típica en estas aplicaciones es el robot antropomórfico, dado que la herramienta requiere aproximarse a la pieza en cualquier orientación y que el brazo no interfiera con la pieza.

Soldadura láser



Soldadura por arco



Procesado y acabado de materiales

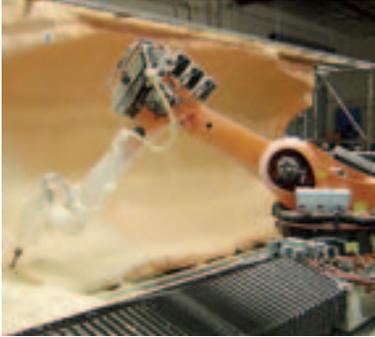
Comprende un amplio rango de aplicaciones actualmente no muy elevadas pero con un gran potencial de crecimiento. En estas aplicaciones el robot puede intervenir de dos posibles formas: puede llevar instalada una herramienta y procesar la pieza fija en un utillaje, o puede tener instalada una pinza y presentar la pieza a la herramienta que va realizando el procesado. En esta aplicación el robot debe ser capaz de generar la fuerza requerida entre herramienta y pieza más el peso de la herramienta o pieza. Este tipo de aplicaciones son en general más complejas al ser necesaria la generación de trayectorias CAM para ir desbastando la pieza o en algunas aplicaciones medir y controlar la fuerza que la herramienta ejerce sobre la pieza. Actualmente las aplicaciones más comunes son:

- Corte por chorro de agua.



- Corte por láser.
- Corte mecánico.
- Pulido, desbarbado, fresado...

Fresado



Acabado de superficies



Automatización cortes en mataderos



Plegado automático de chapas



Aportación de materiales

Son aplicaciones en las que se cubren superficies con algún material. Normalmente se utilizan en aplicaciones de dos tipos:

- Pintado, esmaltado, pulverizado sobre superficies.
- Aplicación de adhesivos, sellantes y lubricantes.

Dependiendo de la calidad necesaria en el acabado pueden ser necesarias instalaciones de alta precisión y complejidad para controlar adecuadamente el tamaño del área de superficie que es cubierta en cada instante. El robot habitual es el robot antropomórfico de seis o cinco grados de libertad. El disponer de seis articulaciones ayuda en estas aplicaciones a conseguir un mayor alcance y accesibilidad a la geometría del producto.



Aplicación de pegamento



Aplicación de antiadherente



Ensamblado y desensamblado

En este tipo de aplicaciones se encuentran aplicaciones de:

- Ajuste por presión.
- Ensamblado, montaje o inserción de componentes.
- Desensamblado.
- Atornillado.

En relación con las otras aplicaciones estos casos requieren de una elevada precisión y repetitividad, y también pueden precisar que se mida la fuerza que se ejerce en cada instante sobre los distintos componentes, lo que requiere una instalación sensorial y un control de las trayectorias más complejo. Incluso existen aplicaciones en las que se han diseñado dos brazos robóticos trabajando de forma coordinada, igual que trabajarían los brazos de un operario montador.

Montaje de bloques



Montaje piezas pequeñas





Empaquetado y paletizado de productos finales

Son aplicaciones en las que el robot debe ir formando una distribución geométrica espacial (mosaico o apilado) con los productos que debe paletizar o empaquetar. En este caso es habitual que los robots utilizados sólo dispongan de cuatro grados de libertad, de modo que pueden colocar la carga en cualquier punto del espacio. Estos robots se identifican claramente por el conjunto de segmentos que se mueven paralelos al cuerpo principal, cuyo objetivo es que la pinza permanezca siempre en posición horizontal.

Paletización barriles



Empaquetado



Salas blancas

Se trata de aplicaciones robotizadas que requieren una total ausencia de partículas. Ejemplos de aplicación se encuentran en el sector electrónico, en la fabricación de pantallas, circuitos integrados y otros componentes electrónicos en los que no se puede permitir la existencia de impurezas. El tipo de manipulador a utilizar depende de la operación o manipulación que se realice. Normalmente se usan robots de tipo antropomórfico, SCARA o cartesiano. Los requisitos de estas aplicaciones afectan a los componentes del robot y su posible recubrimiento protector.

Insertión elementos en sala limpia



Alimentación de equipos de análisis





Manutención y almacenaje

En esta categoría se engloban aplicaciones logísticas relacionadas con almacenes automatizados y los vehículos de autoguiado automático para el transporte de cargas (AGVs). El radio de acción de estos robots AGVs alcanza áreas amplias de la planta de fabricación, siendo generalmente robots móviles dotados de ruedas y guiados según distintas tecnologías; filoguiados, por láser, sistemas radio, visión artificial. Este tipo de robots tendrá una fuerte crecimiento en la industria en los próximos años. La oferta actual ya se puede considerar alta y los sistemas están suficientemente probados.

Vehículo guiado láser



Vehículo arrastre cargas rodadas



Inspección

La utilización del robot en la detección de fallos y comprobación de calidad en los productos fabricados pueden permitir la inspección del 100% de la producción. Para realizar estas tareas existen varios métodos. Lo normal es que el robot sirva para colocar el producto en la máquina de inspección o de reglaje, como sería el caso de operaciones de equilibrado. En otras aplicaciones el robot desarrolla directamente la operación. En muchas de estas aplicaciones se utiliza un robot para la manipulación del producto, de modo que el robot coloca de forma adecuada el producto delante de un sensor o sistema de visión de manera que tras el chequeo devuelve el producto a la línea de fabricación principal o a una línea de productos rechazados. En otros casos se coloca un sensor como elemento terminal del robot que se encarga, de forma autónoma, de realizar la pauta de inspección. Generalmente se trata de inspección de piezas de mayor tamaño, como la inspección de soldaduras, superficies y metrología, en las que se aprovecha el alcance del robot y su capacidad de seguimiento de trayectorias programadas para obtener multitud de observaciones con un sensor de alta precisión. Por último, también se utilizan robots en celdas de ensayo de productos. Los robots permiten de forma repetitiva aplicar fuerzas puntuales o continuas sobre

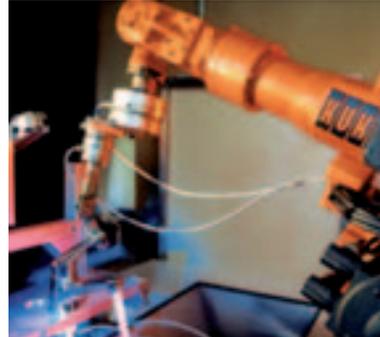


una muestra de producto, o movimientos con diferentes velocidades y aceleraciones de la muestra o sus componentes para comprobar la calidad y robustez de un nuevo diseño o un producto en fabricación.

Prueba carga asientos



Test de apertura/cierre de grifos



3. Ventajas de la robotización

Las ventajas que aporta la robótica, como medio de automatización de los procesos de producción, son múltiples y bien conocidas. La robotización tiene dos claros objetivos iniciales; reducir costes e incrementar la productividad. Los resultados de su aplicación práctica no dejan duda sobre la rentabilidad de su implantación; productividad por aumento de la producción, reducción de costes laborales, flexibilidad, calidad y seguridad. Un análisis detallado de la robotización permite identificar diez ventajas competitivas:

3.1. Mejora la disponibilidad

Los robots trabajan rápido y a menudo se configuran en un sistema de múltiples estaciones para que puedan trabajar de forma continua, si es necesario las 24 horas del día. Incluso con una comparación directa con la mano de obra para el mismo volumen de producción se obtiene una tasa de rendimiento más favorable.

3.2. Mejora los tiempos de proceso

La robotización tiene relación directa con la reducción de tiempos de ciclo, siendo en muchos casos la solución necesaria para romper cuellos de botella. Un robot no tiene paradas ofreciendo un tiempo operativo mayor y por tanto reduciendo el tiempo ciclo final.



3.3. Mejora la flexibilidad

Un robot es un operador flexible, programable y reutilizable. Se puede utilizar para llevar a cabo diferentes procesos como corte, soldadura y el acabado. Puede modificar su trabajo modificando el elemento terminal del brazo de robot. El uso de interfaces y técnicas de programación apropiadas permite una mayor rapidez de programación que reduce los tiempos necesarios para el cambio de tarea. Los robots pueden adaptarse a la fabricación de una familia de productos sin necesidad de que se modifique o se detenga la cadena de producción. Esta flexibilidad cobra mayor importancia cuando es precisa la fabricación de series cortas o de un amplio número de referencias. En casos de paletización, soldadura o carga de máquinas, la flexibilidad de un robot es superior a cualquier solución de producción especializada y a menudo tiene un nivel de inversión más bajo.

3.4. Mejora la calidad

Los robots tienen un alto grado de precisión en el seguimiento de la trayectoria y la repetibilidad. En combinación con los parámetros de proceso óptimos, por ejemplo, en la soldadura por arco, pegado, o desbarbado, el robot ofrece una calidad constante.

3.5. Reduce el espacio

Las células robotizadas se pueden construir ocupando el mínimo espacio y, en comparación con procesos manuales, requieren menos espacio para la misma producción.

3.6. Reduce la dependencia de mano de obra

Un robot puede ser usado para cumplir, y a menudo superar, un nivel de competencia cualificado y así reducir el coste de la rotación de personal. Elimina la variabilidad del trabajo humano cada vez que una persona hace cargo de un proceso. Si la demanda de la empresa es temporal o depende de las entregas repentinas de proyectos de gran envergadura, puede ser un reto atraer la mano de obra adecuada. Puede ser demasiado caro mantener al personal en espera del siguiente pedido.

3.7. Reduce los problemas de salud y seguridad

Los robots pueden levantar objetos pesados, con altas temperaturas o se pueden implementar en procesos peligrosos que reducen los riesgos en el personal. También



se reducen y evitan problemas ergonómicos, así como la realización de tareas repetitivas o desagradables.

3.8. Reduce el trabajo en curso

Los robots pueden producir según pedido en lugar de acumular existencias. De esta manera el coste de almacenamiento y manipulación de productos se puede reducir considerablemente.

3.9. Reduce los residuos y desechos

Por su propia naturaleza un robot es una máquina consistente que produce resultados consistentes, día tras día, año tras año. La producción del robot es estable y puede ayudar a reducir considerablemente los costes asociados a los residuos, deshecho o reproceso.

3.10. Reduce el coste de capital

Los sistemas robotizados son asequibles y reducen los costes de capital y gastos generales. La moderna tecnología robotizada es también respetuosa con el medio ambiente y reduce costes de energía. Por otra parte, los procesos con robotización, como medio de automatización, tienen un mayor nivel de autonomía, permitiendo un mayor control del proceso, y precisando un menor mantenimiento fruto de su alta fiabilidad.

El efecto de todas las ventajas anteriores revierte sobre los resultados finales de la empresa aumentando la productividad, la rentabilidad y el beneficio económico de la empresa.

En estas condiciones parece concluyente que toda empresa debe plantearse la viabilidad de implantar robots en su sistema productivo, siguiendo un proceso de reflexión que se expondrá a lo largo de la publicación.



4. Autoevaluación de la necesidad de robotización

El apartado anterior justifica ampliamente la necesidad de que toda empresa industrial se plantee una reflexión sobre la viabilidad de implantar robots en su sistema de producción. A pesar del volumen de ventas de robots en España, un muy alto porcentaje de empresas aún no han instalado su primer robot. Los responsables de la toma de decisión aún se planean reflexiones del tipo:

- Tengo que automatizar/robotizar pero no sé dónde.
- Las preparaciones de máquina son muy significativas y un robot no me sirve.
- ¿Cuánto cuesta un robot? ¿Cuesta mucho?
- No encuentro personal fiable y consistente y debemos hacer algo.
- Que sucederá si robotizo y debo realizar el proceso manual por cualquier razón.
- La tecnología de la robótica es demasiado complicada.
- Puedo crear un mal ambiente entre los operarios por temor a la desaparición de sus puestos.

Este miedo a lo desconocido desaparece rápidamente en el momento en que las empresas tienen una mayor información y conocimiento. Evidentemente no todos los procesos y productos pueden ser automatizados pero no cabe duda que, en el entorno actual, conviene que toda empresa haga una reflexión sobre las posibilidades de robotización. Incluso debería hacerse la pregunta ¿cuál es el coste de no automatizar?. En muchos casos, problemas internos generan unos costes ocultos elevados; conflictividad, falta de formación, pérdidas de capacidad. Estos costes “ocultos” pueden llegar a justificar por si mismos la necesidad de robotización. La siguiente lista de autopreguntas constituye un test rápido que ha sido diseñado como ayuda a la toma de decisión para los responsables de la empresa:

- ¿Son los operarios que intervienen en operaciones manuales exactas, consistentes y seguros, turno a turno, todo el día?
- ¿Qué clase de eficiencia estamos obteniendo?
- ¿Cuál sería la producción añadida si se eliminasen los tiempos de parada programados y no programados?
- ¿Cuál es la relación entre la producción que se obtendría con el mínimo tiempo ciclo básico o el tiempo tecnológico y la producción actual?
- ¿Varía mucho la producción turno a turno?



- ¿Se producen errores frecuentes en las operaciones manuales que implican reprocesos o rechazos?
- ¿Se ha interrumpido la producción porque un operario no estaba disponible?
- ¿Existen defectos que deberían haber sido detectados aguas arriba?
- ¿Se envían productos defectuosos por fallos del proceso al cliente?
- ¿Se realizan horas extras adicionales no programadas para cumplir los plazos de entrega?

Las respuestas a estas cuestiones pueden clarificar si las operaciones manuales están asociadas a una variabilidad que disminuye la productividad y que por tanto son susceptibles de ser robotizadas. No obstante, la decisión debe tomarse considerando múltiples factores que serán abordados a lo largo de la publicación. Un aspecto importante será que, al igual que en el proceso de evaluación de cualquier otra innovación o mejora técnica, es recomendable hacer una reflexión interna sobre si se va a automatizar una operación que no es eficiente y no da valor. De cualquier forma, también se pueden identificar casos en donde directamente no conviene robotizar:

- Intervenciones elevadas de operario para toma de decisión en el proceso, ejemplo, requerimientos especiales de inspección para los que no existen dispositivos de medida automática, sensores o sistemas de visión.
- Requerimientos de preparación muy elevados.
- Diversidad elevada de piezas distintas entre ciclos.
- Procesos en donde intervienen máquinas con baja fiabilidad.
- Limitación de espacio o instalaciones.
- Actitudes críticas a la automatización por responsables/operarios.



5. Costes y retorno de la inversión

Uno de los principales factores por lo que muchas empresas no han evaluado la posibilidad de robotización es la creencia de que son inversiones de alto coste. La reducción significativa en los costes de los robots ha cambiado drásticamente el escenario.

Los suministradores evalúan el valor medio de la inversión necesaria para la implantación de una celda robotizada en aproximadamente 90.000 €, de los cuales solo una tercera parte corresponde al coste de adquisición del robot.

TABLA 6

Costes de aproximados de una célula de manipulación

Robot	30.000 €
Periferia: Vallado, sistemas de seguridad, pinza, utillaje	30.000 € - 40.000 €
Servicios, Ingeniería, Programación. Puesta en Marcha, Formación	10.000 € - 20.000 €

Fuente: Elaboración propia.

Lógicamente, el valor real de una implantación depende de la aplicación de que se trate, de su complejidad y de los elementos periféricos necesarios. La tabla 7 muestra el valor aproximado del robot respecto al resto de los elementos de su periferia que, como puede verse, varía mucho de un tipo de aplicación a otra.

TABLA 7

Porcentaje de costes de la periferia respecto al robot

Campo de Aplicación	Valor robot/Periferia
Soldadura	50%
Pintura	75%
Manipulación	65%
Mecanizado	45%
Montaje	Menos de 40%

Fuente: Elaboración propia.



Sin duda, la forma más rápida de obtener una aproximación precisa al valor real es la solicitud de presupuestos para instalaciones “llave en mano” a integradores de robots. Según los estudios realizados por las asociaciones sectoriales, la amortización de una instalación por el ahorro de costes salariales, aumento de la calidad y productividad puede durar entre 1 y 2 años trabajando a dos turnos. De aquí que usualmente los suministradores aconsejan que si el plazo de amortización de la robotización es aproximadamente de 18 meses, la inversión es viable. En el siguiente cuadro se expone el método usual empleado para la estimación del número de meses de retorno de la inversión de una instalación robotizada.

$$N^{\circ} \text{ meses retorno inversión} = \text{Inversión Inicial} / \text{Ahorros Anual}$$

$$\text{Inversión Inicial} = \text{Costes de los robots} + \text{Herramientas} + \text{Equipos auxiliares} + \text{Dispositivos} - \text{Coste recuperable de los equipos que se liberan con la robotización}$$

$$\text{Ahorros Anuales} = \text{Coste anual por ahorro de los gastos salariales} - \text{Costes de programación y mantenimiento de los robots} + \text{Costes de recolocación del personal excedente (formación o jubilación)} + \text{Costes asociados a los impuestos}$$

Sin embargo, este plazo de amortización de 18 meses se corresponde solo con instalaciones sencillas y de tamaño reducido. Cuando las instalaciones son más grandes y afectan a una parte significativa del proceso, el coste de los sistemas auxiliares y periféricos es ampliamente superior a los robots. En estos casos será necesario evaluar factores cuantitativos (tabla 8) y cualitativos (tabla 9) para comparar mejor el proceso actual con el automatizado.

TABLA 8
Factores cuantitativos de evaluación de la inversión

Horas anuales empleadas en el proceso teniendo en cuenta los diferentes turnos
Número de trabajadores por turno
Producción de la operación manual en términos de piezas por hora
Tiempo ciclo para la operación manual
Cantidad de tiempo en descansos, vacaciones y otras paradas
Inversión en conceptos auxiliares: instalaciones, formación
Otros gastos asociados como beneficios sociales, ropa de trabajo o EPI's



TABLA 9
Factores cuantitativos de evaluación de la inversión

Mejora de la calidad
Eliminación de trabajos repetitivos, peligrosos, tediosos
Mejora del servicio
Posibilidades de crecimiento

Un aspecto que muchas veces se olvida es realizar la comparación en términos de productividad. Considerando a la eficiencia como la relación entre el tiempo de trabajo y el tiempo en el que realmente se está produciendo, la automatización rentabiliza al máximo la habilidad de producir más piezas en el mismo tiempo porque su tasa de eficiencia es mayor, produciendo más con menos trabajo. La clave fundamental de la eficiencia de los robots es que su MTBF, es decir su tiempo medio entre fallos, es de 70.000 horas. Su eficiencia va a depender simplemente de la preparación, cambio de herramientas, alimentación/descarga de producto y por supuesto, demanda constante del producto. Una eficiencia normal de un robot alcanza el 90% mientras que en los procesos manuales las tasas varían entre el 25% y 70% (tabla 10).

TABLA 10
Tasa eficiencia aplicaciones Manual & Robot

Aplicación	Eficiencia (%) Proceso Manual	Eficiencia (%) Proceso Robot
Soldadura	30-35	90 +
Acabado (pulido, desbarbe...)	25-30	90 +
Atención de máquinas	55-60	90
Prensado	40-50	90
Pick& Place	70-75	90
Paletizado	70-75	90
Despaletizado	65-70	90

Fuente: Glaser 2009.

La eficiencia disminuye por las tareas sin valor añadido y es fundamental tener en cuenta estas tareas para la justificación de la robotización. La regla debe ser que si no hay una mejora significativa de la productividad en términos de mejora de la eficiencia de proceso, el proyecto no debe ser candidato a la robotización.



Esto significa que no hay que centrarse solo en el tiempo ciclo desde que comienza una tarea manual hasta que termina. Existen casos en los que un tiempo manual, considerado de forma individual, es menor que el obtenido mediante un robot. La eficiencia de los robots gana cuando hablamos de la producción en un turno, día o anual. Un robot no tiene “valles de producción” ni periodos perdidos para la formación de nuevos operarios. Un operario no puede repetir el mismo ciclo siempre con la misma cadencia, un robot sí. El parámetro importante a medir es la cantidad de piezas al final del periodo, no la magnitud de un tiempo ciclo individual.

Hay casos especiales en los que los anteriores factores no son definitivos y debemos recurrir al análisis de otros benéficos para poder establecer un criterio de decisión. Por ejemplo, casos en donde el robot va a ser necesario un operario para supervisar la célula y realizar tareas auxiliares. En estos casos, será fundamental valorar los beneficios adicionales en forma de “calidad consistente”, la posible reducción del uso de consumibles y la disminución del trabajo penoso.

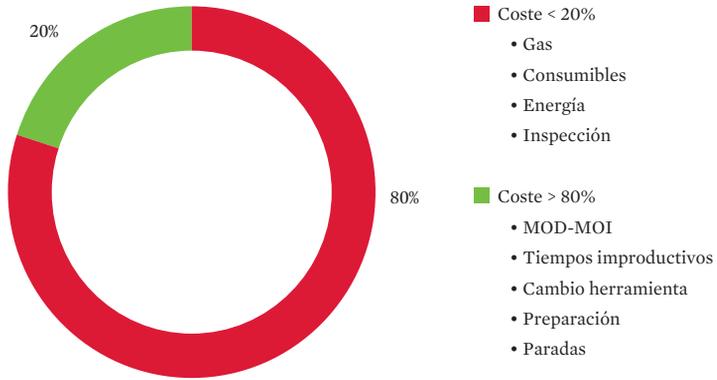
No obstante, hay que tener en cuenta que si se considera que un objetivo es alcanzar la tasa de eficiencia del 90% de un robot, es necesario confirmar que existe demanda de producción para cubrir el aumento de productividad o si la rapidez del proceso puede provocar algún desequilibrio en el flujo de producción.

Es importante analizar el reparto porcentual entre el coste de mano de obra y el resto de los costes de fabricación (material, costes indirectos ...). En EEUU las cifras son muy evidentes. Las estadísticas de BLS indican que en EEUU la contribución media de los costes laborales directos es del 60%. Esto datos bajan al 30% en empresas que han implantado principios de fabricación esbelta y al 15% en empresas con un alto nivel de automatización y robótica.

Los procesos de fabricación con alto contenido en MOD como soldadura, pintura o acabado de piezas deberían ser priorizados a la hora de robotizar. En el caso específico de la soldadura la robótica debe ser considerada en todos los casos. La figura 10 muestra la distribución, en términos de costes, de un proceso de soldadura manual. La distribución 80%-20% es la razón por la que estos procesos están siendo robotizados masivamente en sectores como la automoción.

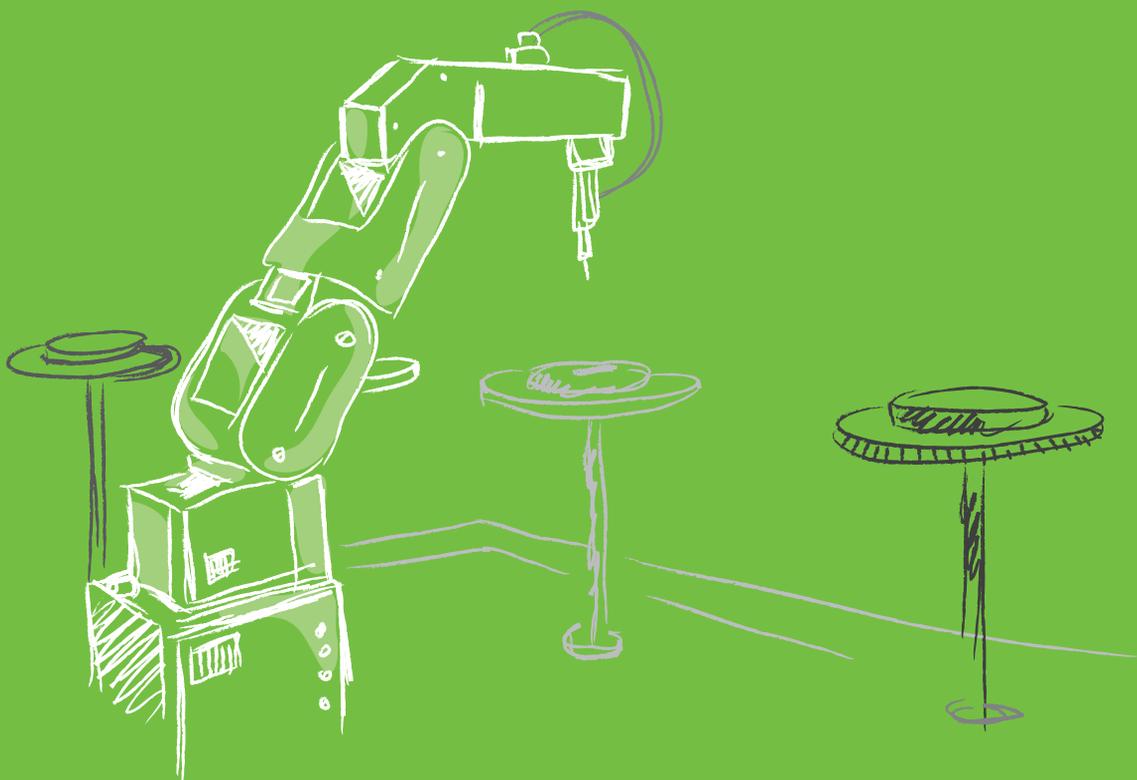


FIGURA 18
Componentes de costes en proceso de soldadura



4

LA IMPLANTACIÓN DE ROBOTS EN LA PYME





1. Problemas de implantación

Una PYME sin experiencia en implantación de robots se enfrenta a la incertidumbre en los resultados de la aplicación y a la falta de conocimientos de por dónde debe comenzar. Establecer un método general aplicable a todas las casuísticas y sectores industriales es imposible. Cada aplicación, proceso, producto, cultura tecnológica y formación en cada empresa es distinta. Este capítulo pretende poner el acento en los puntos clave que deben tener en cuenta los responsables de una PYME para evaluar, diseñar, subcontratar o implantar un proyecto de robótica con garantía de éxito.

La mejor forma de empezar es ser consciente de aquellas causas que pueden provocar el fracaso de un proyecto de este tipo:

- Ausencia de una definición clara y concreta del objetivo de la automatización.
- Selección de un proceso inadecuado con alto nivel de riesgo.
- Cambios en las tolerancias o especificaciones de producto a lo largo del proceso.
- Sistema puesto en producción sin un adecuado rodaje y pruebas.
- Cambios en las personas responsables a lo largo del proyecto.
- Discrepancias entre el contenido técnico del suministro y lo que la empresa quería.

2. Factores críticos de implantación

Antes de abordar un proyecto de robotización es conveniente conocer los factores críticos que intervienen en el éxito de una implantación, más si es la primera experiencia para una empresa. Su conocimiento permitirá anticipar aquellos riesgos e imprevistos que pueden desembocar en fracasos de las expectativas, bien técnicas o económicas.

TABLA 11

Factores críticos

Análisis de rentabilidad

Integración con procesos

Seguridad y espacios

Programación

Utillaje y herramientas

Formación y gestión del conocimiento



- *Análisis de rentabilidad.* La realización de un estudio económico justificativo de la inversión a partir de los costes de la instalación y los ahorros detectados es imprescindible para justificar la implantación. Un estudio detallado de todos los factores involucrados es la mejor forma de reducir la posible incertidumbre con la que se enfrenta una empresa cuando aborda un proyecto de robotización. En muchas ocasiones no se tienen en cuenta conceptos de gasto como el mantenimiento posterior, programación de nuevos productos o gastos de utillajes que producen desviaciones significativas respecto al presupuesto inicial. De la misma forma, hay ocasiones en las que no se tienen en cuenta otros beneficios ocultos menos cuantificables pero que por sí mismos pueden justificar la instalación de robots.

“Un presupuesto realista que tenga en cuenta todas las posibles de gastos de implantación y explotación es garantía de éxito en la toma de decisión de la robotización”

- *Integración con procesos.* Los robots deben integrarse en la línea con otras máquinas y personas. Las tolerancias, precisión y velocidad con que trabajan los robots pueden requerir que otros elementos o procesos de la línea deban rediseñarse. Por ejemplo, a la hora de posicionar piezas que a continuación deba manipular un robot o de garantizar una cadencia de alimentación de productos adecuada que no haga perder eficiencia al robot.

“Diseñar, integrar y optimizar el proceso integrado antes de robotizar”

- *Seguridad y espacios.* Los requisitos de seguridad aumentan dado el espacio de trabajo y elevadas velocidades que pueden alcanzar los robots. Esto puede implicar problemas de espacio para la colocación de los robots y necesitar soluciones como el desplazamiento de elementos de la planta o la colocación de los robots suspendidos o sobre paredes.
- *Programación de los robots.* En muchos casos, la programación de los robots se realiza desplazando y grabando el programa punto a punto para cada posible pieza o referencia. Este método puede ser insuficiente en caso de fabricación de series cortas con una amplia gama de referencias en su catálogo. Se debe prever el diseño de metodologías de programación que permitan crear programas con parámetros variables, de modo que el cambio de referencia solo implique cambiar valores en variables del programa para que el mismo programa sea válido para las nuevas referencias. Existe también la opción de buscar soluciones en las que la programación de los robots se realice de forma automática mediante aplicaciones que se integren con los sistemas CAD. Para algunas aplicaciones como el mecanizado 3D con robots, son imprescindibles. Con estas herramientas, la fabricación de series cortas o con



elevado número de referencias, deja de ser un problema si el software es capaz realmente de obtener del CAD el programa del robot de forma directa. Su precio en general es elevado pero reducen enormemente el tiempo de cambio de producción. En estos casos, se recomienda testear su funcionamiento antes de la compra y si es posible visitar y poder hablar con otros clientes del integrador sobre la calidad del software y qué soluciones reales aporta. De cualquier forma, la programación de las piezas, bien sea a través de personal formado internamente o de herramientas externas debe ser un tema que esté claro desde el comienzo del proyecto.

- *Utillaje y herramientas.* Los utillajes y alimentadores utilizados en las celdas robotizadas pueden tener un coste elevado. Esto puede resultar también un problema tanto técnico como económico en el caso de un elevado número de referencias de productos a fabricar que exijan duplicar estos elementos. Hay que tratar de buscar soluciones que permitan la estandarización.
- *Formación y gestión del conocimiento.* Un buen plan de formación es imprescindible para garantizar la operación, mantenimiento y evolución del sistema. La introducción de un nuevo tipo de tecnología es una excelente oportunidad de motivar al personal permitiéndole la actualización de nuevos conocimientos y constituye un buen aliado en el cambio cultural de la empresa. Una vez que las tecnologías de automatización o robótica han sido implantadas con éxito es fundamental evitar la pérdida de conocimiento mediante medidas que permitan la reutilización de los desarrollos por personal que se inicia en la empresa o nuevos suministradores.

“Una implantación de robots apoyada en un buen plan de formación es una vía efectiva para provocar un cambio cultural en la empresa hacia la adopción de nuevas tecnologías de producción”

3. Recursos humanos y técnicos

Un proyecto de robotización es un proyecto multidisciplinar que implica la intervención de muchos perfiles profesionales de la empresa, si bien no es necesario que estos puestos de trabajo existan en las empresas. En la mayoría de los casos, las empresas se ponen en manos de un integrador que le diseñará, desarrollará e implantará un proyecto llave en mano. Sin embargo, existen una serie de roles dentro de la empresa que, aunque no existan de forma diferenciada, deben ser tenidos en cuenta en todo proyecto:

- *Responsable de proyecto.* Interlocutor único entre la empresa y el suministrador/integrador.

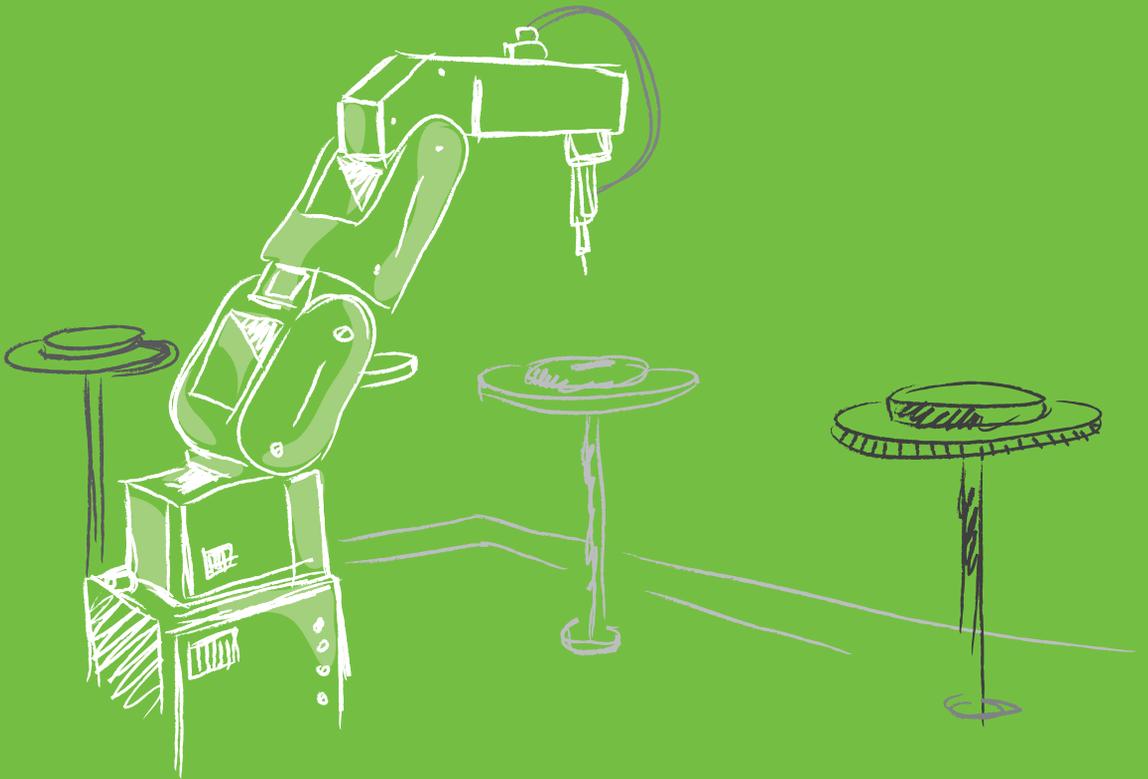


- *Diseño/Ingeniería.* Personal para diseño de útiles y herramientas.
- *Producción.* Personal técnico actual o nuevos operarios a formar que serán responsables de la gestión diaria del sistema, de su rendimiento y disponibilidad de consumibles.
- *Mantenimiento.* Personal con formación capaz de resolver las incidencias del sistema.
- *Instalaciones.* Responsable de proporcionar las instalaciones auxiliares de electricidad o neumática para el proceso de instalación del robot.
- *Finanzas.* Responsable de evaluar el retorno de la inversión del proyecto.
- *Programación.* Personal con capacitación para modificar los programas iniciales suministrados por el integrador.
- *Seguridad.* Responsable de garantizar el cumplimiento de la normativa específica en cuestiones de seguridad para los trabajadores.

La situación expuesta es la más compleja pues en el caso de pequeñas empresas lo lógico será que varios de estos roles sean asumidos por la misma persona. Por ejemplo, tareas de mantenimiento, programación, ingeniería e instalaciones son asumidas por el mismo personal, normalmente operarios de mantenimiento, que con la ayuda puntual del servicio técnico del suministrador pueden garantizar la operatividad del sistema sin ningún problema.

5

GUÍA DE IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS ROBÓTICOS EN PYMES





1. Análisis preliminar

Antes de robotizar es necesario entender en profundidad el proceso y su secuencia de operaciones a través de un análisis preliminar. Tener bien definido el proceso actual es la mejor referencia posterior para comparar después el proceso automatizado. Por otra parte, este análisis permite conocer el valor añadido de cada fase e introducir mejoras antes de automatizar.

Por este motivo es muy conveniente hacer un análisis preliminar que permita tomar una decisión sobre la viabilidad y conveniencia de la robotización. Un análisis de este tipo no supone un sobreesfuerzo injustificado. Si la conclusión es que no es viable robotizar es muy probable que nos haya servido para identificar otro tipo de mejoras en el proceso. En caso de respuesta positiva este estudio permitirá elaborar junto a los suministradores/integradores unas especificaciones de calidad tal como exponemos en el siguiente apartado. En cualquier caso, este tipo de análisis se hace muy necesario en casos específicos como:

- Cuando el robot controla las propiedades del producto final, por ejemplo, soldadura o acabado.
- Cuando las variables relacionadas con la accesibilidad del robot (interferencias), la funcionalidad de los elementos periféricos o la flexibilidad de los elementos de agarre no pueden ser simuladas fuera de línea.
- Cuando se aplican nuevas tecnologías en aplicaciones donde no hay suficiente experiencia.

Un análisis preliminar tipo consta de cinco pasos bien diferenciados:

1. Identificación del proceso robotizable y evaluación preliminar del retorno de la inversión. Si es el primer proyecto de robotización que acomete la empresa, identificar una fase “ganadora” que permita el cambio “cultural” de la empresa. Lógicamente, la identificación del proceso es más sencilla realizando una estimación de los posibles ahorros que se pueden obtener, siempre y cuando los datos económicos estén disponibles fácilmente.
2. Recopilación de datos. Existe una información general común a todas las aplicaciones de la robótica que debe ser recopilada para las fases posteriores:
 - Unidades por día/turno para satisfacer la demanda de cada producto a procesar.
 - Fases secuenciales del proceso. Hojas de proceso. Carga de trabajo de cada fase.
 - Requerimientos de preparación de lotes y tiempos asociados.



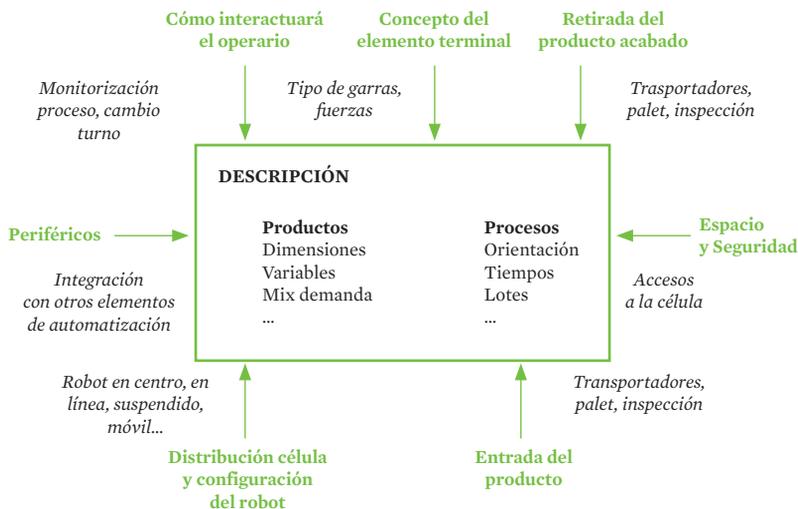
- Características de la inspección y frecuencia.
 - Procedimientos para asegurar la producción con máxima calidad.
 - Condiciones de seguridad, ergonomía o entorno de trabajo a tener en cuenta.
 - Tasas de reprocesos/rechazos y causas.
 - Restricciones de espacio actual o instalaciones del proceso.
 - Forma de alimentación y retirada de la pieza.
 - Disponibilidad de planos de cada producto a automatizar.
3. Definición del proceso y producto. Con toda la información disponible puede realizarse un esquema general del proceso robotizado y de los productos específicos a los que va a afectar.
4. Diseño de la solución general. Definido el objetivo ya se está en condiciones de afrontar el desarrollo general de la solución en relación con todos los factores que intervendrán en el suministro. De manera general el desarrollo incluiría:
- Solución preliminar de automatización.
 - Distribución en planta.
 - Identificar factores “imprevistos”.
 - Identificar recursos para operar el sistema.
5. Decidir el lanzamiento del proyecto. Al llegar a este punto se dispone de toda la información necesaria para tomar una decisión final sobre la viabilidad de lanzar el proyecto.

Cada empresa, en función de sus características y disponibilidad de recursos cualificados, puede adaptar estas sugerencias a su propia situación y procedimientos de análisis de inversiones.

La figura 19 resume de manera visual todos aquellos aspectos que permitirán definir un análisis preliminar útil para la toma de decisión y las etapas posteriores de desarrollo en detalle.

FIGURA 19

Modelo de información para el análisis preliminar



2. Selección del robot

La selección del robot más idóneo debe hacerse valorando una gran variedad de características, siendo este un proceso de difícil sistematización. La tabla 12 muestra la totalidad de las características que pueden llegar a tenerse en cuenta en una evaluación detallada.

TABLA 12

Características de los robots

Características Geométricas

- Área de trabajo
- Grados de libertad
- Errores de posicionamiento
- Distancia tras emergencia
- Repetitividad
- Resolución
- Calidad de una línea recta, arco...
- Precisión con mínimo incremento posible

Características Cinemáticas

- Velocidad nominal máxima
- Aceleración y deceleración

Características Dinámicas

- Fuerza de agarre
- Carga máxima
- Control de fuerza-par
- Frecuencia de resonancia



Tipo movimientos

- Movimiento punto a punto
- Movimientos coordinados
- Trayectorias continuas (CP)

Modo programación

- Enseñanza (aprendizaje)
- Textual
- Comunicaciones:
- E/S Digitales/Analógicas
- Comunicaciones Ethernet

Tipo accionamiento

- Eléctrico (por corriente continua o corriente alterna)
- Neumático
- Hidráulico

Servicio proveedor

- Mantenimiento
- Servicio Técnico
- Cursos de formación

Sin embargo, desde el punto de vista técnico, puede ser suficiente con considerar el sistema de control, la capacidad de carga, la velocidad y las tres características básicas del robot relacionadas con la resolución, precisión y repetibilidad. En los catálogos de robots, los fabricantes proporcionan los valores de las prestaciones de sus productos. Estos valores están con frecuencia medidos en condiciones óptimas, diferentes de las reales. No obstante, sirven como medida comparativa para la selección del robot.

Según la aplicación que vaya a desempeñar el robot puede ser necesario valorar más unas características sobre otras. También dentro de una misma aplicación surgen diferencias. Por ejemplo, no es lo mismo si un robot se dedica a manipular microcircuitos o si se dedica a manipular tochos de acero para fundición. En este último ejemplo, el tamaño y peso que debe soportar el robot es un claro elemento diferenciador.

TABLA 13

Características asociadas a aplicaciones específicas

Pintura

Programación por aprendizaje
Campo de acción similar al humano
Estructura antropomórfica
6 grados de libertad

Paletización

Elevada capacidad de carga
Relación grande entre área de trabajo y tamaño de robot
Control PTP

Procesado

Sistema de programación
5-6 grados de libertad
Campo de acción similar al humano
Control de trayectoria continua

Ensamblado

Elevada precisión y rapidez
Campo de acción similar al humano
Potencia del sistema de programación
Sistema sensorial



Con la evaluación de las características ya se está en una primera disposición de poder evaluar el robot más adecuado. En este punto destacar que siempre hay que buscar un buen balance entre velocidad y precisión. La facilidad de programación e integración es fundamental, ya que una característica principal del sistema debe ser su flexibilidad actual y futura.

En cualquier caso, los integradores de sistemas, gracias a sus experiencias anteriores, son los mejor capacitados para aconsejar y seleccionar el robot más adecuado a cada aplicación específica.

3. Selección del suministrador de la instalación

Los proyectos de automatización robotizada implican en muchos casos la necesidad de integrar diferentes sistemas de control. En casos sencillos los robots se integrarán con PLC que controlarán los sistemas de manutención mientras que en otros más complejos será necesaria la colaboración de suministradores que integren sistemas de visión, máquinas de proceso y sistemas de gestión de la empresa. En estos casos, se necesita claramente la ayuda de un suministrador cualificado. En general pueden encontrarse los siguientes tipos de suministradores:

- *Fabricantes de robots.* Suministran robots, accesorios y periféricos para las aplicaciones.
- *Fabricantes de componentes.* Fabrican pinzas, posicionadores de piezas, alimentadores, etc.
- *Integradores.* Diseñan, integran e implantan células o sistemas completos.
- *Mantenedores.* Mantienen y/o operan los sistemas robotizados.
- *Reconstructores.* Reacondicionan robot viejos.

De todos ellos, los denominados “integradores” juegan un papel esencial. En España, fruto de la larga experiencia en el sector del automóvil, existen empresas muy cualificadas capaces de abordar cualquier proyecto llave en mano. Es conveniente en la selección del proveedor o integrador exigir referencias y deseable visitar instalaciones ya operativas de la misma aplicación que deseamos implantar. Puede resultar más atractiva la oferta de un suministrador con amplia experiencia en un tipo concreto de aplicación, aunque su precio sea mayor que otras ofertas de suministradores que aún no se hayan planteado dicha aplicación. Es interesante también solicitar pruebas previas o piloto de la aplicación. Algunos integradores montan primero la aplicación robotizada en sus instalaciones y una vez comprobada su funcionalidad se monta en las instalaciones del cliente. Estos especialistas pueden realizar estudios previos de viabilidad y buscar soluciones tecnológicas, ya sea para la aplicación de una nueva



tecnología de fabricación o para nuevos retos necesarios en la implantación como un nuevo tipo de elemento sensor, actuador o método de control. También es importante conocer las ayudas regionales y nacionales existentes que pueden subvencionar parte de esta inversión, sobre todo en el caso de aplicaciones que precisan acciones de investigación y desarrollo. Finalmente, en el caso de empresas que aborden su primer proyecto de robotización es aconsejable acometer el proyecto en aquellos procesos con garantía de éxito que supongan una ventaja competitiva, por ejemplo, reduciendo tiempos de cambio o aumentando calidad.

4. Proyecto de robotización. Especificaciones

La diferencia entre las empresas que han tenido éxito en la implantación de la robótica está en la claridad de la definición completa de lo que quieren hacer. Como en cualquier suministro “a medida” de ingeniería, la realización de una buenas especificaciones en colaboración con el suministrador es fundamental para garantizar el éxito del proyecto. Las especificaciones constituyen el documento de trabajo que establece las reglas alrededor de las cuales se desarrolla el trabajo del equipo interno de la empresa, suministradores e integradores. Para la empresa le permite dejar claro sus necesidades y requerimientos, las reglas de recepción del sistema y el marco económico. Para los integradores constituye el documento que define que, como, cuando y quien. Las especificaciones deben ser sencillas y claras, no es necesario un manual completo de toda la instalación. La realización del análisis preliminar expuesto anteriormente permite estar en condiciones de elaborar un documento de especificaciones de calidad. No obstante, será necesario profundizar al máximo en aspectos técnicos relacionados con cada aplicación específica. La tabla 10 expone ejemplos de información a tener en cuenta para algunas de las aplicaciones clásicas de la robótica.

TABLA 14
Datos básicos del proyecto por tipo de aplicación

Soldadura	Atención a máquina	Prensas	Paletizado	Acabado
Posicionamiento pieza	Peso	Pesos y espesores	Tipo pallet y tamaño	Criterios de calidad
Pesos y materiales	Tipo de Tolerancias	Materiales	Dimensiones y pesos	Fuerzas de aplicación
Materiales	Orientación pieza	Tipo prensa	Contenedores/ envases	Tolerancias



Soldadura	Atención a máquina	Prensas	Paletizado	Acabado
Secuencia	Superficies a evitar	Trasferencia piezas	Materiales	Zonas de trabajo
Tolerancias	Fases de máquina	Secuencias	Limpieza	Trasferencia producto
Evacuación humos	Señales con máquina	Tolerancias/ Inspección	Estrada/salida	Velocidades de proceso
Criterios calidad	Monitorización	Cambios utillajes	Etiquetado	Vida de herramientas
Cordones soldadura	Distribución célula	Plásticos protectores	Inspección	Material base
Monitorización	Accesos		Identificación	
Carga/descarga	Vida de herramientas			

En la tabla 15 se muestra un esquema de referencia de especificaciones de suministro para proyectos de robótica industrial que pueden ser usadas también por PyMES como lista de chequeo del contenido deseable de una oferta de robotización. Lógicamente cada caso siempre es diferente. El esquema expuesto debe considerarse simplemente como una lista de puntos que todas las partes deben tener claros a lo largo del proyecto, independientemente si es antes o después de la oferta.

TABLA 15

Especificaciones técnicas de una célula robotizada

Introducción

- Descripción de los requerimientos generales del sistema, como se pretende que trabaje, el valor añadido y beneficios que aportará al sistema actual

Criterios de diseño

- Información sobre el producto y proceso:
 - Definición del producto procesado. Planos y características
 - Proceso y secuencia de operaciones
 - Plan de distribución de espacios
 - Equipos suministrados por el cliente
 - Tolerancias



Descripción del suministro y entregables

- Definición de la solución general
- Descripción del equipo: Robot y soporte general
- Cabezal, elementos de agarre, utillaje.
- Descripción de dispositivos para alimentación (transportadores, visión, sensores ...)
- Funcionalidad y comunicación con dispositivos/máquinas de proceso periféricos
- Dispositivos de comunicación hombre-máquina
- Desarrollos específicos de programación/control

Requerimientos de instalaciones auxiliares

- (Obra civil, aire, electricidad, ...)

Equipo de trabajo. Roles y responsabilidades

Objetivos técnicos rendimiento del sistema

- Producción esperada. Cadencia de producción. Tasa de mejora
- Eficiencia del sistema
- Definición del estado del producto antes/después

Procedimientos de gestión del proyecto/suministro

- Reglas sobre cambios en los parámetros del proyecto
- Comunicaciones entre cliente-suministrador

Documentación a entregar

Criterios de aceptación de la instalación

- Procedimiento de puesta en marcha y validación
- Protocolos de aceptación: cualificación de la instalación IQ-cualificación operacional IO
- Definición de “pieza correcta”

Formación

5. Medidas de seguridad

La utilización de robots introduce los riesgos propios de la maquinaria móvil y la energía eléctrica, lo cual transforma los tipos de peligros o los desplaza a otros operarios. Diversas investigaciones señalan que la robótica disminuye el número de accidentes laborales, pero aumenta el riesgo de sufrir accidentes más graves. Es por ello que toda instalación robotizada debe ser analizada desde el punto de vista de determinar las medidas de seguridad que disminuyan el riesgo y la gravedad. Según estudios realizados por el Instituto de Investigaciones de Seguridad en el Trabajo de Tokio, el 90% de los accidentes en líneas robotizadas ocurren durante las operaciones de mantenimiento, ajuste, programación, etc., mientras que sólo el 10% ocurre durante el funcionamiento normal de la línea. Este dato es de gran relevancia y pone de manifiesto la gran importancia que tiene, para lograr un nivel de seguridad adecuado, el impedir el acceso de operarios al campo de acción del robot mientras éste está en funcionamiento.



La seguridad en sistemas robotizados presenta dos vertientes: aquella que se refiere a la seguridad intrínseca al robot y que es responsabilidad del fabricante; y aquella que tiene que ver con el diseño e implantación del sistema y su posterior utilización, programación y mantenimiento, que es responsabilidad del usuario. En general, las consideraciones de seguridad que deben tenerse en cuenta en las instalaciones robotizadas son las siguientes:

- La instalación debe ser diseñada con el requisito principal que el personal, quede protegido de los riesgos creados por una disfunción de su sistema de control, del sistema de suministro de energía o de una intromisión del personal. Para ello deben identificarse todos aquellos peligros que pueda generar la máquina durante las fases de trabajo a través de la determinación de los límites del sistema. Se deben incluir los riesgos derivados de un trabajo conjunto entre la máquina y el ordenador y los riesgos derivados de un mal uso de la máquina.
- Debe proveerse un nivel de iluminación y emisión de ruidos de acuerdo a las normas legalmente establecidas.
- Los suministradores deben proveer toda la información de seguridad necesaria, para las operaciones del robot, en el momento de su venta, en el idioma del país donde se instale.

Medidas de seguridad a tomar en la fase de diseño de la célula robotizada

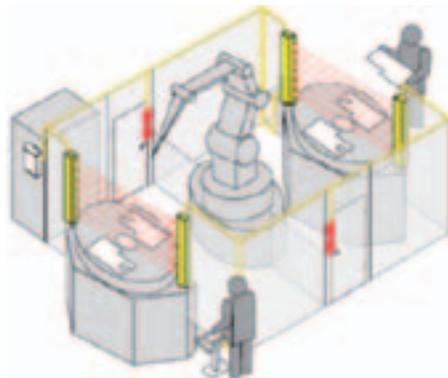
En el diseño de distribución de equipos en la célula se ha de considerar la utilización de barreras de acceso y protección que intenten minimizar el riesgo de aparición de un accidente. De forma general se pueden citar las siguientes:

- *Barreras de acceso a la célula.* Se dispondrán barreras en torno a la célula, que impidan el acceso a personas (parada inmediata al entrar en la zona de trabajo).
- *Dispositivos de intercambio de piezas.* En caso de que el operador deba poner/recoger piezas situadas dentro del área de trabajo del robot, se utilizarán dispositivos que permitan realizar estas acciones a distancia, utilizando, por ejemplo, mesas giratorias.



FIGURA 20

Célula con barreras de acceso



- *Movimientos condicionados.* En el caso de que durante el funcionamiento de la célula el operario deba entrar en determinados momentos dentro del campo de acción del robot (para alimentar de nuevas piezas al robot, por ejemplo), se programará a éste de manera que no efectúe movimiento alguno durante estos instantes.
- *Zonas de reparación.* Se preverá la existencia de zonas de reparación y mantenimiento. Estas zonas, dentro del campo de acción del robot, estarán fuera de su zona de trabajo.
- *Condiciones adecuadas en la instalación auxiliar.* Sistema eléctrico con protecciones, aislamientos, etc., sistemas neumáticos o hidráulicos correctos.

Medidas de seguridad a tomar en la fase de instalación y explotación del sistema

Por otra parte, durante la utilización del sistema y en especial durante las fases y puesta en marcha, deben respetarse rigurosamente determinadas normas que reducirán el riesgo de accidente. Además, es importante que exista información en la propia planta de la posibilidad de esos riesgos, así como que los operarios tengan la formación adecuada. Estas consideraciones se pueden resumir de forma breve en los siguientes puntos:

- *Abstenerse de entrar en la zona de trabajo.* Durante la programación e implantación de la aplicación, se procurará permanecer, dentro de lo posible, fuera del campo de acción del robot. Éste trabajará a velocidades lentas. En cualquier caso, se deberá salir fuera del área de trabajo cuando el robot vaya a trabajar de manera automática, aun siendo en fase de pruebas. Es también aconsejable que, siempre que sea



posible, la fase de programación se realice con dos operarios, observando uno de ellos la marcha del proceso, estando dispuesto a accionar el paro de emergencia en caso de necesidad.

- *Señalización adecuada.* La célula debe estar dotada de una adecuada señalización del estado del robot o línea robotizada mediante señales luminosas y acústicas. Así, es aconsejable que, antes de comenzar el ciclo de trabajo tras una parada, se avise mediante una sirena e indicación luminosa. Del mismo modo, se deben incorporar señales luminosas para avisar del estado de funcionamiento del robot está funcionando y su riesgo potencial de accidente.
- *Prueba progresiva del programador del robot.* El desarrollo y ejecución del programa del robot, y de toda la célula en sí, deberá hacerse con sumo cuidado. El programa deberá ejecutarse primeramente a velocidad lenta y paso a paso. A continuación se podrá ejecutar de manera continua, pudiéndose aumentar progresivamente la velocidad.
- Formación adecuada del personal que manejará la instalación.

Medidas de seguridad proporcionadas por los fabricantes

Existen una serie de consideraciones generales relativas a seguridad que deben proporcionar los suministradores. Estas medidas son muy importantes y la empresa debe asegurar su conocimiento por parte de todo el personal involucrado en explotación y mantenimiento del sistema.

- No permitir que el personal no formado trabaje con los robots.
- Instalar un mecanismo de acceso a la célula con código para impedir la entrada de personal no autorizado, así como barreras de seguridad fotoeléctricas industriales, sensores de presencia o proximidad y sistemas de visión para reforzar la seguridad.
- Identificar claramente la zona máxima en que se produce el movimiento del robot con marcas en el suelo, señales y barreras especiales y colocar todos los controles de los equipos fuera de esa zona. Los operarios deben conocer perfectamente el área de la célula de trabajo completa (robot y su área de trabajo), más el área ocupada por los mecanismos externos y otros equipos con los que interactúa.
- No confiar el software como elemento principal de seguridad.
- Instalar un número adecuado de botones o interruptores de “parada de emergencia” para el operador y en puntos críticos dentro y alrededor de la célula de trabajo. Los operarios deben conocer dónde están colocados dichos botones.



- Instalar luces destellantes y/o mecanismos audibles (alarmas) que se activen cuando el robot esté funcionando.
- Revisar los mecanismos de seguridad periódicamente.
- Proporcionar suficiente espacio dentro de la célula de trabajo para que el personal pueda guiar el robot y realizar operaciones de mantenimiento de forma segura. Eliminar los puntos de peligro de quedar atrapado entre el robot móvil y el equipo.
- Antes de la operación manual del robot, verificar que no hay condiciones potenciales de peligro con el robot y en su entorno y probar que la maleta de programación opera correctamente antes de entrar en el área de trabajo.
- El área cercana al robot debe estar limpia y sin aceite, agua o residuos.
- Conocer el camino para salir de la célula en caso de movimiento anómalo del robot y cerciorarse de que no está nunca bloqueado.
- Aislar el robot de cualquier señal de control remoto que pueda causar movimiento mientras se está dentro de su alcance.
- Asegurarse de que todo el personal está fuera del área de trabajo antes de comenzar con la producción, y por supuesto, no entrar nunca en el área de trabajo si el robot están en operación.
- El personal que opera con el robot durante la producción debe comprender bien la tarea completa para la que está programado el robot antes de empezar la operación de producción y saber la localización y estado de todos los interruptores, sensores y señales de control que podrían causar el movimiento del robot.
- Nunca suponer que un programa ha acabado porque el robot no se está moviendo, ya que éste podría estar esperando alguna señal de entrada que le permita continuar con su actividad. Si el robot está ejecutando un diseño, no asumir que continuará con dicho diseño.
- Nunca intentar parar el movimiento del robot con el cuerpo. Durante la inspección de la célula es necesario apagar el controlador y los posibles suministros de aire a presión, y en caso de que se necesite encender para revisar los circuitos eléctricos o de movimiento del robot, el operario debe estar preparado para apretar el botón de parada de emergencia en caso de necesidad.
- Durante en mantenimiento, si es necesario entrar en el área de trabajo del robot mientras está encendido, el operario debe apretar primero el botón de parada de emergencia y llevar siempre la maleta de programación en la mano. Cuando se reemplazan o instalan componentes, asegurarse de que no entra suciedad o residuos al sistema.



- La conexión de los elementos terminales a la brida del robot será aconsejable que se realice con un dispositivo que, en caso de golpe o presión, se desmonte de la brida y no provoque un accidente a las personas o equipos.

6. Ejecución final del proyecto

La realización de un proyecto de robotización como el expuesto en los anteriores apartados es una herramienta muy útil que aumenta la probabilidad de éxito de proyecto, entendiéndose como tal, que tanto cliente como suministrador cumplan sus expectativas técnicas y económicas en plazo. El tiempo medio de implantación es de 5 meses, periodo que abarca desde el planteamiento de la solución general hasta que la celda entra en producción.

Normalmente, las ofertas de los integradores incluyen un diseño muy general de la solución. A partir de la aceptación de la oferta se profundiza en el detalle técnico completo de la instalación. Las empresas con mucha experiencia en robotización son capaces por sí mismas de elaborar proyectos detallados que envían a varios suministradores para poder evaluar técnica y económicamente la mejor opción. Sin embargo, este caso es difícil para las Pymes, ya que estas no suelen disponer de personal especializado para profundizar con este grado de detalle.

En cualquier caso, siempre es conveniente que en algún momento del desarrollo del proyecto se elabore una documentación consensuada que garantice el éxito de la implantación. Para ello se deben definir correctamente las especificaciones técnicas y funcionales que se espera del suministro y elaborar unos protocolos de cualificación que validen el sistema. Tanto especificaciones como protocolos deben ser acordados y firmados antes de proceder a la instalación de los equipos por parte del integrador.

Conocido y acordado todo el detalle del proyecto, el integrador procede a la adquisición de los diferentes equipos de la instalación. Evidentemente cada caso es diferente y así por ejemplo para un proyecto de soldadura, además de los robots deberá adquirir diferentes equipamientos como fuente de potencia (máquina de soldar), paquete energético, antorcha de soldadura, anticolisión de la antorcha, devanadora de hilo, vallado de seguridad, cortinas de protección, barreras fotoeléctricas, etc.

Por parte del cliente, se deben ejecutar aquellas necesidades contempladas en el proyecto, como acondicionar el espacio donde se ha de implantar la célula y garantizar todos los servicios necesarios como electricidad, aire o agua.



En muchos casos el integrador o un tercero debe diseñar y construir los utillajes necesarios para la célula, diseño que se debe fundamentar en una correcta y completa información del proceso y de los planos de todas las piezas a procesar.

Dependiendo de la tipología y complejidad de la aplicación, la instalación puede montarse previamente en las instalaciones del suministrador para una vez validada proceder a su transporte e instalación a la ubicación definitiva. En el montaje, se disponen todos los equipos según se indica en los planos de implantación y se realizan los cableados y conexiones necesarias. Posteriormente se realizan las pruebas y tests de funcionamiento necesarios para comprobar que todos los equipos están instalados correctamente, y su funcionalidad es la adecuada. Tras estas pruebas se realiza la programación de la célula robotizada, que puede ser una programación completa, o una programación para un conjunto reducido de piezas, a modo de programas de muestra, con los que la empresa realiza el resto de la programación.

Una vez que el suministrador considera que la instalación está terminada comienza la validación de la instalación. La validación tiene como fin establecer una evidencia documental, mediante la ejecución de pruebas, de que los equipos y sus componentes poseen los atributos requeridos para obtener un producto con una calidad determinada de forma consistente y continuada. Como se ha comentado anteriormente, estos protocolos de cualificación deben estar acordados previamente y normalmente consisten en una cualificación de la instalación y en una cualificación operacional.

En la cualificación de la instalación (IQ) se revisan todos los aspectos clave de la instalación verificando las características, su idoneidad con las especificaciones y requerimientos, su correcta instalación y la existencia de la documentación técnica relacionada.

En la cualificación operacional (OQ) se realiza un conjunto de pruebas para verificar que el equipo funciona de la forma esperada y es capaz de operar satisfactoriamente sobre todo el rango de los parámetros operacionales para los que ha sido diseñado.

Tras finalizar la implantación es importante definir el tipo de servicio técnico de mantenimiento que lógicamente tiene distintos niveles de intervención y coste. Normalmente existen contratos anuales que contemplan inspecciones y acciones de mantenimiento periódicas que se deben realizar a los robots y ejes externos, como cambio de garras o baterías.



7. Formación y gestión del conocimiento

La introducción de un nuevo tipo de tecnología en la empresa, como es la robótica, implica la adaptación y especialización de parte del personal en dicha tecnología. En una PyME es suficiente con que una o dos personas, normalmente del departamento de mantenimiento, tengan unos conocimientos más avanzados de robótica (programación desde cero, funcionamiento, conceptos avanzados) mientras que los dos o tres operadores de maquina tengan conocimientos de nivel medio (retoque de programas, mantenimiento...). De forma habitual, esta formación es impartida por el suministrador/fabricante o el integrador de robots. En otras situaciones, tras recibir formación del fabricante o integrador, la empresa transmite el conocimiento necesario al resto de trabajadores a través de formación interna. Cuando la empresa alcanza un nivel alto de conocimiento puede llegar a prescindir de la formación externa para nuevas implantaciones de robots y usar sólo sus propios medios. Nadie debe ser autorizado a trabajar con un robot sin haber recibido una formación especial relacionada con la operación, mantenimiento, supervisión y métodos de trabajo que garanticen la seguridad. Es indispensable que el trabajador afectado conozca el funcionamiento de los sistemas de mando y control con el mismo grado de eficiencia que el del propio robot y esté debidamente informado de las consecuencias de los fallos y de no seguir los métodos de trabajo correctos. Por esta razón, dichos métodos deben estudiarse en todos sus detalles, plasmándolos mediante procedimientos escritos y divulgados entre los mandos y trabajadores afectados.

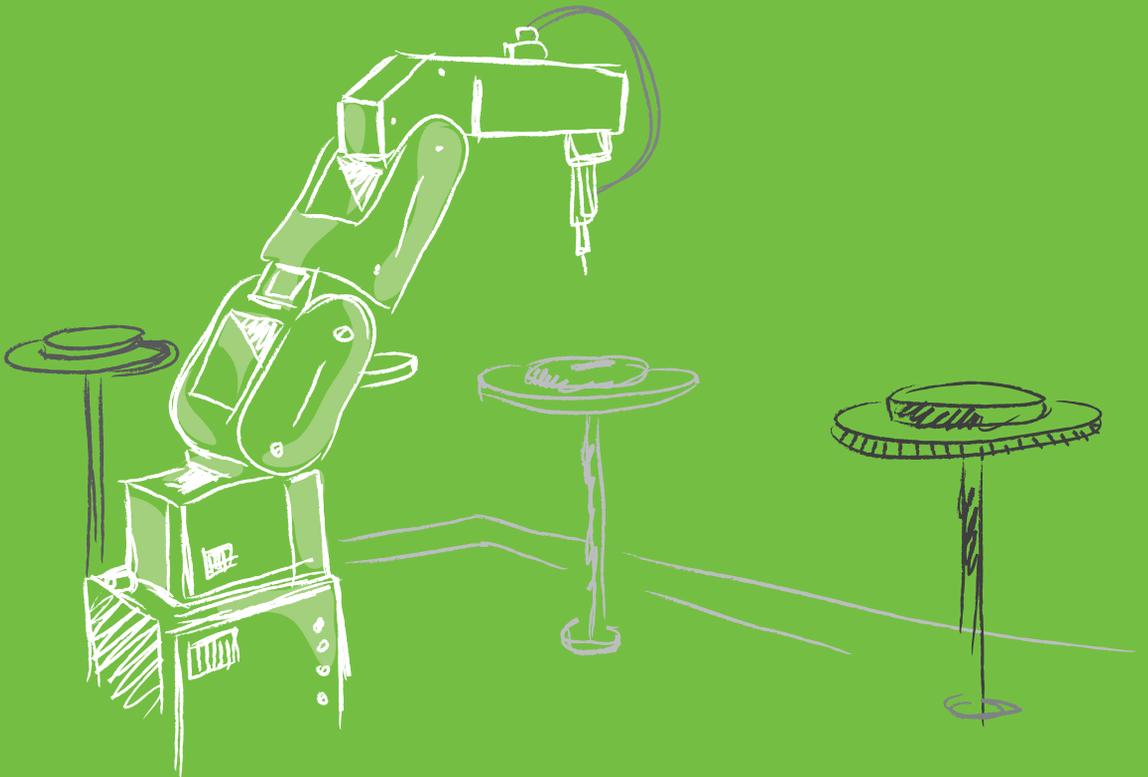
Una vez que las tecnologías de automatización o robótica han sido implantadas con éxito es fundamental evitar la pérdida de conocimiento. Basta que todo el conocimiento resida en una persona para que todo se pierda, aunque se tengan identificados los programas pero no así sus especificaciones, diseños y modificaciones.

Se deben crear procedimientos documentados de cómo realizar las distintas tareas de mantenimiento o cambio de herramienta. Se deberá documentar la metodología de programación que sigue la empresa, de modo que los programas tengan una estructura semejante. Deben comentarse correctamente los programas para facilitar su comprensión, modificación y reutilización incluso por personal que se inicia en la empresa o nuevos suministradores. Los cursos de formación interna representan otra forma de almacenar toda esta información y permitir su traspaso rápidamente. Todas estas opciones implican un coste de tiempo de dedicación que debe tenerse en cuenta durante el proceso de análisis de la rentabilidad.

“Una implantación de robots apoyada en un buen plan de formación es una vía efectiva para provocar un cambio cultural en la empresa hacia la adopción de nuevas tecnologías de producción”



CASOS DE ESTUDIO





1. Exposición de casos

En este capítulo se exponen cuatro casos reales de aplicación que pretenden dar una visión práctica de todos los aspectos relacionados con un proyecto de implantación de robots. Todos ellos pertenecen a entorno de empresas pequeñas y medianas que ha afrontado el reto de identificar áreas de mejora y proponer soluciones robotizadas que incrementen su productividad.

Los casos comienzan con una aplicación sencilla del sector agroalimentario para volcado de palots de fruta caracterizado por el desarrollo de un elemento terminal especial. Un segundo caso corresponde a la automatización de las tareas de encajado de botellas y posterior paletizado con un único robot, en la que se hace uso de un sistema de visión para control de etiquetado. El tercer ejemplo es también una aplicación de empaquetado y paletizado en donde finalmente se recurre a la utilización de dos robots. Por último, se expone la automatización completa de una zona de almacén de productos congelados con una muy amplia variedad de referencias que lleva asociado un completo sistema de manutención y manipulación.

2. Automatización del volcado de palots de fruta

2.1. Empresa

Empresa del sector hortofrutícola dedicada a la manipulación de frutas de hueso o pepita radicada en le levante español. Su actividad se centra en el tratamiento de los productos desde su recogida a granel del campo hasta su expedición a los centros de distribución y consumo una vez clasificada, envasada y paletizada. La fruta es recibida desde el campo en contenedores de gran capacidad tipo “box-palet” que deben ser volcados por inmersión en balsas para su limpieza y manipulación posterior. Al ser estos productos perecederos, su manipulación debe ser la mínima imprescindible para que pueda consumirse posteriormente en cualquier destino, bien sea nacional o europeo. En esta situación, la empresa se plantea automatizar este proceso para lograr su máxima eficiencia. La empresa encarga a la ingeniería especializada SERFRUIT desarrollar una solución robotizada al volcado de palots por inmersión.

2.2. Situación de partida y justificación de la automatización

La alimentación de las líneas de clasificación y empaquetado de frutas de hueso y pepita se inicia con un volcado de la fruta desde contenedores del tipo “box-palet”.



Estos contenedores tienen normalmente unas dimensiones en el caso del palé europeo de 1.200 x 800 mm con una altura variable entre 50 mm y 600 mm. El peso que puede alcanzar cuando están llenos de productos es de alrededor de 370 kg.

Actualmente esta operación se realiza con un volcador mecánico automático que se sitúa al inicio de la línea, realizando el volcado sobre una balsa de la que posteriormente se extraen los productos por medio de una banda de lona. El volcado de la fruta sobre la balsa es esencial para evitar el golpeteo de las frutas entre ellas y con los equipos, lo que da lugar a una reducción del deterioro de la misma con el tiempo.

Con el fin de ganar en flexibilidad y en rendimiento se ha pensado implantar una célula de volcado diseñada a partir de la utilización de un robot. Las ventajas que presenta la utilización del robot frente a una solución convencional son:

- Aumento de flexibilidad al poderse adaptar con facilidad a diferentes tamaños de los palots.
- Mejor control del volcado del contenedor sobre la balsa, pudiendo sumergir parcialmente el contenedor en la misma.
- Mayor rendimiento como consecuencia de una reducción de las paradas por mantenimiento.
- Una capacidad de producción ajustable y trabajo continuado en tres turnos en los momentos álgidos de la campaña de recogida de la fruta.
- La solución técnica basada en un robot es más sencilla que la convencional, al no utilizar equipos de construcción especial.



2.3. Solución desarrollada

Los aspectos más importantes de la célula han sido el dimensionamiento del almacenamiento de entrada para conseguir el funcionamiento autónomo del robot y obtener

un funcionamiento continuado durante toda la jornada y posibilitar la manipulación de palots de distintas dimensiones.

La alimentación de entrada se ha resuelto con un transportador de rodillos motorizado en el que se depositan los palots apilados en tres o cuatro filas según sus dimensiones. Para conseguir un mayor almacenamiento se ha duplicado la línea de entrada, de manera que finalmente se disponen de dos líneas convergentes que parten de puntos opuestos.

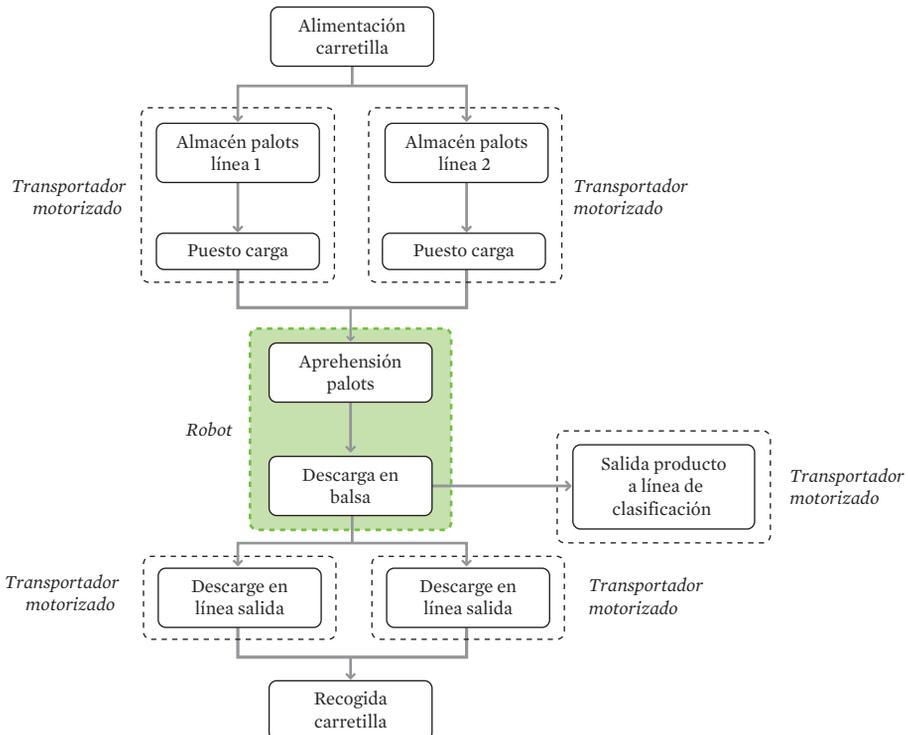
Los puntos de alimentación se han situado de esta forma ya que se facilita el acceso de las carretillas desde el pasillo.

Al final de la línea de alimentación se sitúa el puesto desde donde el robot toma el palot situado en la fila superior de la pila. En este puesto se escuadra los palots para asegurar la misma posición y orientación de todos los contenedores.

La figura 21 expone el diagrama del proceso final diseñado.

FIGURA 21

Diagrama del proceso

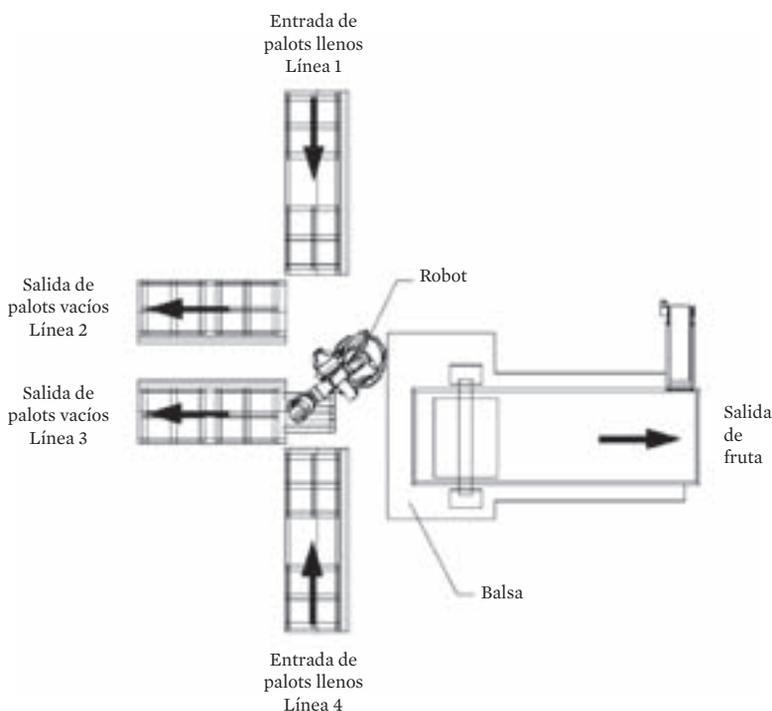




La figura 22 representa una vista en planta de la instalación, donde el robot ocupa la posición central. De acuerdo con la zona de trabajo del robot y del movimiento final de aprehensión de la pinza es preciso montar el robot sobre un pedestal. Adicionalmente, este montaje facilita el vaciado del palot sobre la balsa de volcado de la fruta al hacerse en altura.

El tiempo de ciclo del robot es de 40 s, lo que da lugar a una capacidad real de manipulación superior a 70 palots por hora.

FIGURA 22
Esquema de alimentación y retirada



Para la aprehensión de los palots es preciso diseñar una pinza específica (figura 23) que no solo permita la toma de los contenedores sino también facilitar el trabajo del robot. Por ello esta pinza posee el movimiento de volteo del palot sobre la balsa.

La pinza está formada por un armazón metálico con forma rectangular que se ajusta al exterior del palot y dos palas con accionamiento neumático que permiten tomar el contenedor. Este armazón está ubicado dentro de una estructura en forma de U

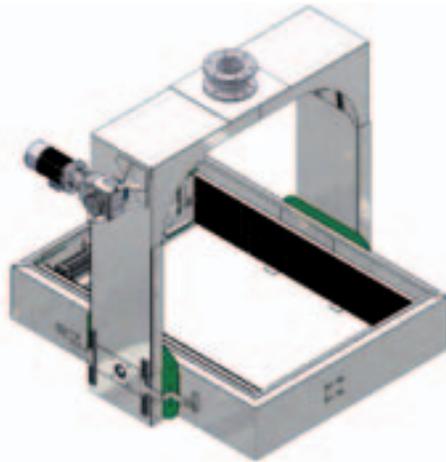


invertida con dos ejes en los laterales de forma que, mediante un moto-reductor, se puede realizar el giro del armazón y por consiguiente el giro del palot. El motorreductor está colocado en la parte superior con el fin de que cuando se opera sobre la balsa no sea sumergido. A través de la correspondiente interfase mecánica situada en el montante del puente se conecta a la brida del robot. El conjunto está realizado en acero inoxidable y al ser su peso considerable debe tenerse en cuenta en la selección de la capacidad del robot.



FIGURA 23

Pinza de agarre y volteo



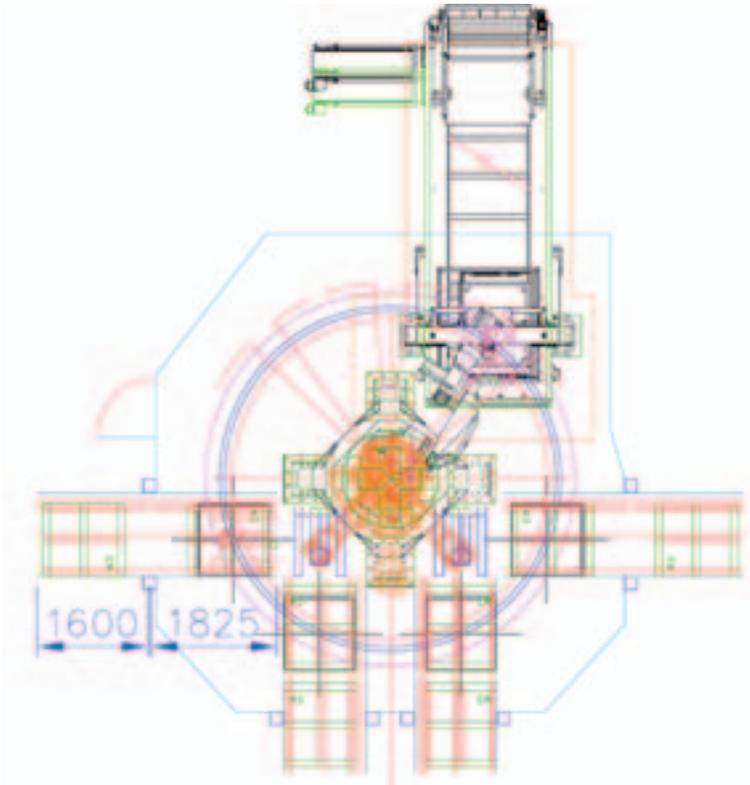
El volcado se hace sobre una balsa llena de agua. De esta de manera, al vaciarse los contenedores sobre un líquido, se reducen los pequeños golpes que se producen entre las frutas. Para ello se sumerge parcialmente el palot y sumergido se voltea. Al final de la balsa se tiene una banda de cangilones que recoge las frutas desde el interior y las van depositando sobre una cinta que las conducen a la estación de clasificación.

El palot vaciado se saca de la balsa y se sitúa en la posición horizontal para ser descargado en la línea salida. En la línea de salida se apilan en columnas de 3 o 4 contenedores, de manera que una vez alcanzada esta altura el transportador motorizado los sitúa en el puesto de salida desde el cual una carretilla los retira al almacén.

El esquema de la instalación final diseñada se muestra en la figura 24, en donde el robot seleccionado es un Kuka KR-360 FORTEC, robot para cargas pesadas con un amplio campo de trabajo.



FIGURA 24
Esquema final de instalación



El coste de la instalación actualizado para el año 2015 es de 140.000 €.

Los resultados más significativos que se han conseguido están relacionados con el aumento de la flexibilidad y un mejor control del volcado de los contenedores. Por otro lado, se ha confirmado que el tiempo entre averías es muy elevado y las necesidades de mantenimiento bajas.

3. Célula de encajado y paletizado de botellas

3.1. Empresa

Invesa (Industrial Veterinaria, S.A.) es una compañía farmacéutica veterinaria del Grupo Animedica, con más de tres décadas de trayectoria, dedicada al desarrollo, fabricación



y distribución de productos farmacéuticos y nutricionales de alta calidad para la sanidad animal. La oficina central y la unidad de producción están ubicadas en Barcelona. La compañía cuenta con más de 130 empleados en todo el mundo.

Con objeto de automatizar su proceso de etiquetado, empaquetado y paletizado de botellas con productos específicos para sanidad contó con la empresa de Ingeniería y automatización Industrial VOLTEC Electrosistemas S.L. para el diseño, desarrollo, desarrollo y puesta en marcha llave en mano de una célula de encajado y paletizado robotizada.

3.2. Situación de partida y justificación de la automatización

La empresa realizaba todo el proceso de encajado y paletizado de botellas de forma completamente manual, tanto las fases de formado de cajas y etiquetado de botellas como cierre y paletizado (figura 25).

Los productos procesados son botellas cilíndricas de 1 litro y botellas rectangulares de 5 litros que se agrupan en cajas de 5 y 2 unidades, respectivamente.

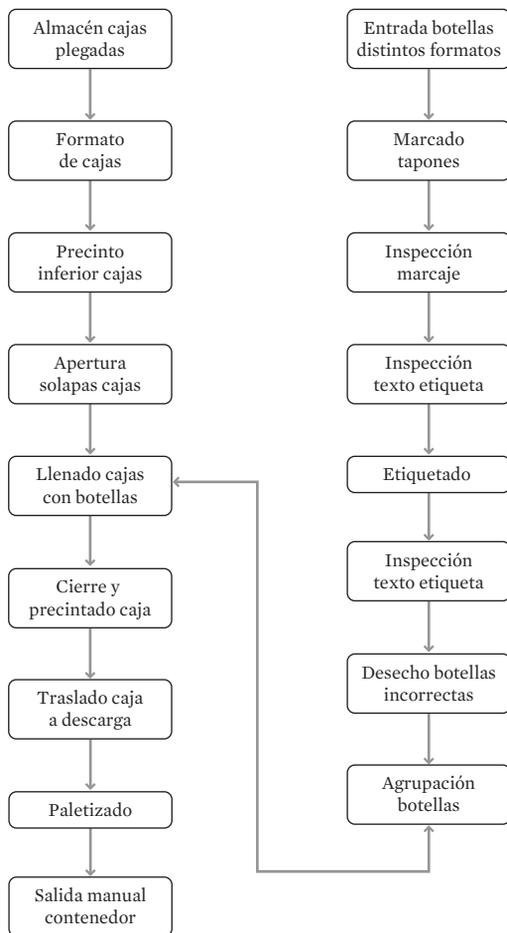
INVESA se plantea la automatización completa del proceso para resolver las siguientes problemáticas:

- Mejora de la trazabilidad del proceso de etiquetado y encajado, eliminándose el posible error humano.
- Disminución de la carga de trabajo para los operarios.
- Atender el incremento de volumen de producción.
- Disminución de pérdidas por tiempos muertos o reprocesado de errores en el proceso de etiquetado y encajado debido a las múltiples referencias del proceso.
- Reutilización del personal implicado en el proceso de encajado manual en actividades productivas de mayor valor añadido.



FIGURA 25

Diagrama de flujo del proceso manual



3.3. Especificación de datos

El principal criterio de diseño en una instalación de este tipo es la variedad, dimensiones y cadencia de producción de los distintos productos afectados, aspecto que se fijó desde el principio de la elaboración del proyecto. Un segundo factor está relacionado con distribución de espacios, aspecto muy frecuente en la mayoría de automatizaciones de procesos ya existentes. En este caso específico, la instalación se encuentra en una planta piso, con la correspondiente limitación de altura por el techo de la sala y limitación de carga por la necesidad de anclar la base del robot sobre un forjado.



TABLA 16

Identificación de productos y datos de aplicación. Caso botellas

- La producción de la línea de botellas:
 - Botella de 1 litro: 32 botellas/minuto
 - Botella de 5 litros: 6 botellas/minuto
- La producción de la línea de cajas 190 cajas/hora
- Se prevén dos tipos de botella:
 - Botella cilíndrica de 1 litro, diámetro 90 x 250 mm de alto
 - Botella rectangular de 5 litros, de medidas 137 x 187mm y 292 mm de alto
- Se prevén dos tipos de cajas a paletizar:
 - Caja para botellas de 1 litro de medidas aprox. 185 x 442 x 268 mm
 - Caja para botellas de 5 litros de medidas aprox. 205 x 290 x 305 mm
- Dos agrupaciones de botellas:
 - Agrupación de botellas cilíndricas de 2 x 5 botellas
 - Agrupación de botellas rectangulares de 1 x 2 botellas
- Dos tipos de palets: 1.200 x 800 y 1.200 x 1.000 mm
- 6 alturas de paletizado de cajas
- Tipos de mosaicos de paletización:
 - Botella de 1 litro + palet de 800 x 1.200 mm: 1 x 6+2 x 2cajas, capa y contracapa (10 cajas por capa) 6 alturas
 - Botella de 1 litro + palet de 1.000 x 1.200 mm: 2 x 4 + 1 x 4 cajas, capa y contracapa (12 cajas por capa) 6 alturas
 - Botella de 5 litros + palet de 800 x 1.200mm: 2 x 5 + 1 x 4 cajas, capa y contracapa (14 cajas por capa) 6 alturas
 - Botella de 5 litros + palet de 1.000 x 1.200mm: 3 x 5cajas, capa y contracapa (15 cajas por capa) 6 alturas

3.4. Descripción general de la solución automatizada

La solución final se basa en un robot articulado KUKA KR180-PA encargado del encajado de las agrupaciones de botellas y del posterior paletizado de las cajas ya llenas y precintadas. Las cajas procedentes de la línea de envasado vienen por la cinta transportadora que finaliza el proceso de embotellado. Un agrupador se encargará de realizar las agrupaciones de los dos formatos de botellas, cilíndricas y rectangulares. En este punto el robot coge mediante ventosas de vacío y un sistema de fijación mecánico el grupo de botellas para su posterior encajado.



Una formadora de cajas automática entrega las cajas formadas y precintadas por su parte inferior a un camino de rodillos motorizado provisto de un fijador-centrador, que transporta la caja vacía hasta la zona de llenado, asegurando una posición fija. Una vez llena la caja, pasa a una precintadora, que precintará la tapa de la caja. A la salida de la precintadora, dos caminos de rodillos motorizados en combinación con un transfer, llevan la caja hasta la zona en que el robot coge dicha caja para su paletizado. En la última de estas cintas y previo a la zona de paletizado un aplicador de etiquetas procede al marcado de las cajas. Tanto la colocación del palé vacío, como la retirada del palé una vez lleno, se realizan de forma manual.

FIGURA 26
Distribución de equipos en la solución propuesta

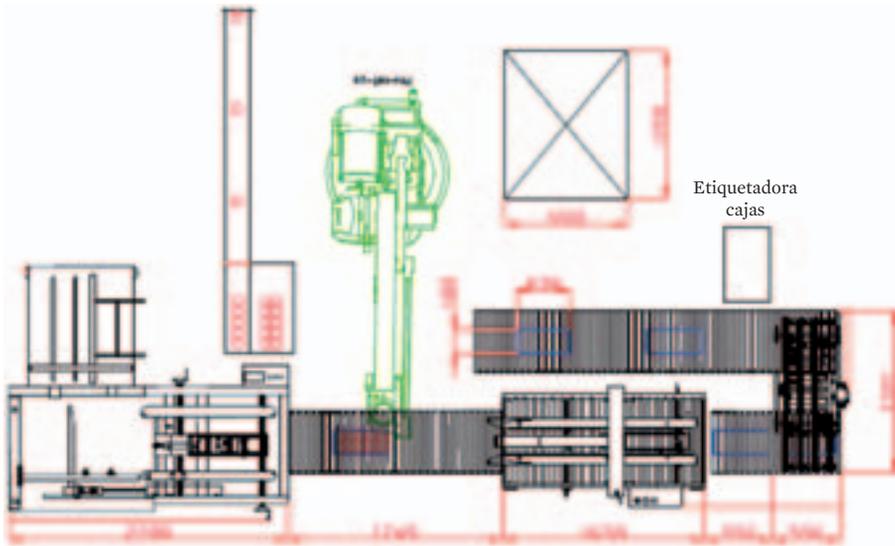
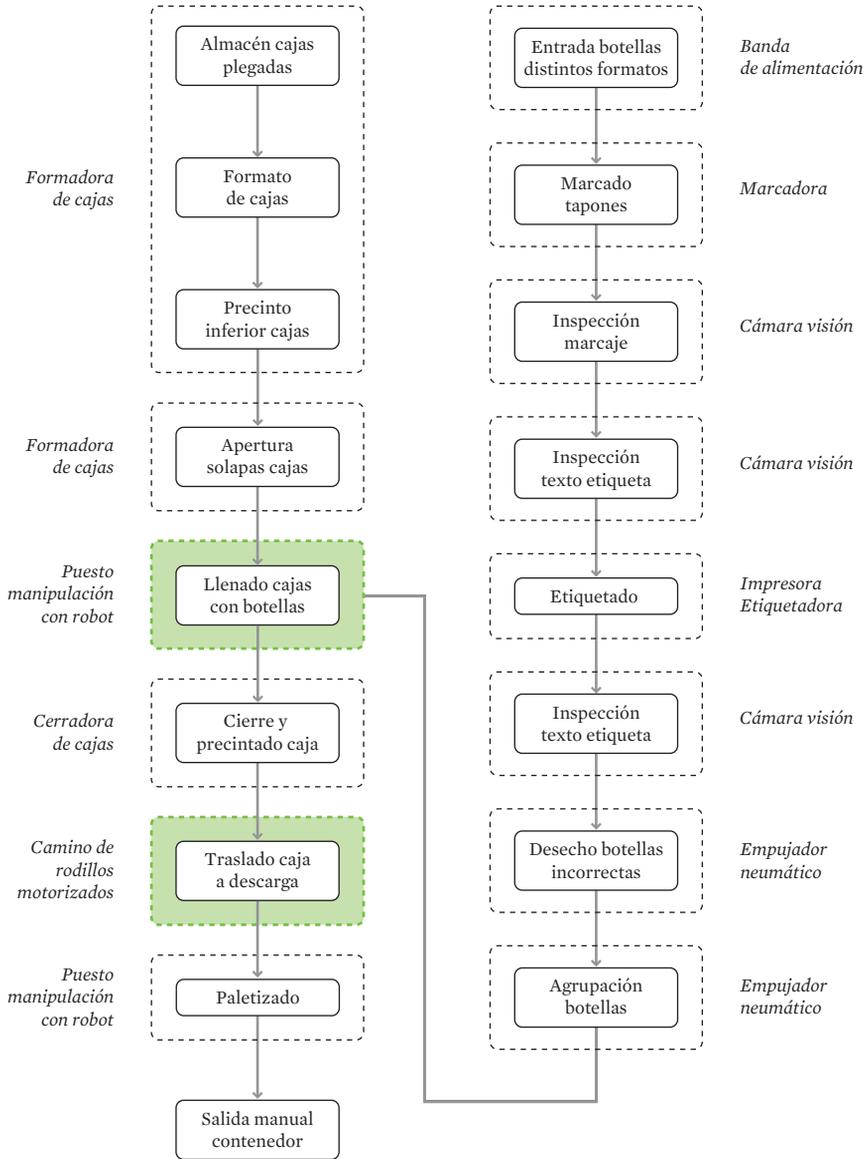


FIGURA 27
Diagrama de flujo del proceso robotizado



3.5. Descripción del suministro final

Como en el mayoría de las soluciones integradas de automatización el robot se acompañada de un conjunto de periféricos, equipos y sistemas diseñados como un conjunto integrado de elementos que constituyen en sí mismo toda una fase productiva.



En este caso, el suministro final está constituido por los siguientes elementos:

- Robot paletizador de 4 ejes situado sobre bancada.
- Cierres de seguridad para acoplar a las puertas existentes en la sala.
- Cuadro eléctrico de control y potencia de la instalación.
- Instalación eléctrica y neumática.
- PLC de control completo y terminal de operador táctil.
- Formadora de cajas automática.
- Camino de rodillos motorizado a la salida de la formadora de cajas, provisto de centrador, tope y fijador de cajas para zona encajado botellas.
- Precintadora de cajas automática monoformato.
- Camino de rodillos motorizados para salida precintadora.
- Transfer motorizado.
- Agrupador de botellas mediante empujador y mesa inoxidable.
- Sistema de doble visión artificial para verificar marcado en tapón y etiqueta de botellas.
- Impresora- aplicadora de etiquetas adhesivas sobre la caja.

Sistema de visión artificial

El sistema de visión artificial está compuesto por un sistema OCR de comprobación de texto impreso en tapones y en etiquetas y otro sistema de detección de presencia/ausencia de etiqueta y orientación sobre un patrón definido. En total son cuatro las cámaras finalmente incorporadas. El sistema OCR está compuesto por dos cámaras (1 y 2) con su iluminación adecuada y una pantalla de visualización, para la configuración y cambio de formato. La cámara 1 es la encargada de comprobar que el texto impreso en el tapón de la botella es correcto. Se instala un sistema de regulación de altura, para respetar en cada formato la distancia focal correcta. Para el correcto funcionamiento de la cámara su distancia al plano a leer debe ser siempre la misma porque de ello depende la calidad de lectura y evitar rechazos erróneos. La cámara 2 es la encargada de comprobar si el texto impreso en la etiqueta, previo a la aplicación sobre la botella es correcto. Debido al gran tamaño de la etiqueta, se instala un husillo para poder realizar un ajuste en X-Y y poder encuadrar la cámara dentro del marco de lectura. El sistema de detección está compuesto por dos cámaras con su iluminación adecuada y una pantalla de visualización, para la configuración y cambio de formato. La cámara número 3 es la encargada de comprobar en la botella de 1 litro si la etiqueta ha sido colocada correctamente, aprovechando el giro que se le da a la botella para pegar correctamente la etiqueta. Por formato, se fija un patrón que la cámara busca mientras va girando la botella. Si la comparación es correcta se da por buena la botella. Si la altura, la posición o el ángulo no coinciden con el patrón o si no



se detecta, se rechazará la botella. La cámara 4 es la encargada de comprobar si la etiqueta ha sido colocada correctamente.

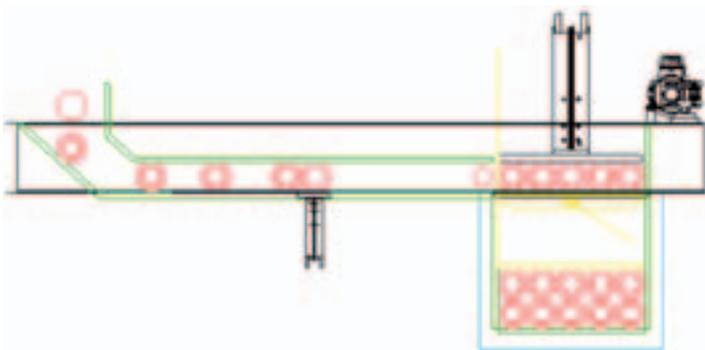
En este caso de implantación, junto con la instalación, se desarrolla un software para la programación y gestión de los diferentes formatos a partir de una plantilla para facilitar la programación.

Cinta de alimentación, agrupador de botellas y sistema de rechazo

Con un ángulo de 90° sobre la cinta que suministra las botellas se ubica una nueva cinta transportadora dotada de un motor controlado mediante variador de frecuencia. El sistema de rechazo consta de un dispositivo neumático colocado perpendicular a la cinta que se encarga de expulsar las botellas desechadas por el sistema de visión artificial. Estas botellas caen a un contenedor suministrado por el cliente, que deberá ser vaciado en un cambio de formato. Se habilita un campo en la pantalla de operador para fijar un número máximo de rechazos. En caso de que se rebase esta consigna, el sistema se para, generándose una alarma para que el operario analice el problema y vacíe el contenedor. Al final de esta cinta se encuentra el agrupador de botellas. Mediante un sistema electroneumático, el sistema detecta la presencia bien de 5 botellas de 1 litro, bien de 1 botella de 5 litros y la desplaza hacia una mesa de posicionamiento de las agrupaciones, donde ya será el robot quien las coja.

FIGURA 28

Esquema del sistema de agrupación y rechazo



Formadora y cerradora de cajas

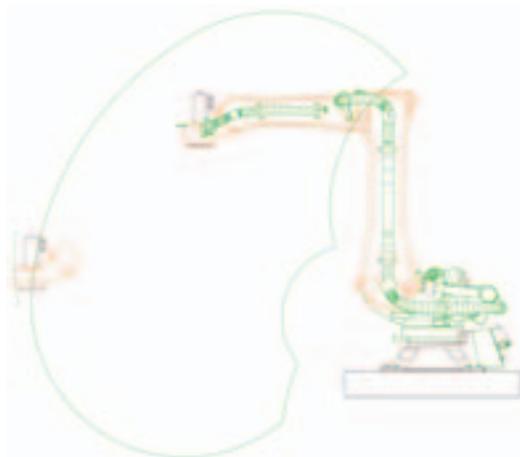
El sistema consta de un almacén de cajas plegadas, un sistema para abrirlas, cerrar las solapas inferiores, precintar el fondo y entregar la caja montada con el fondo cerrado



y preparada para introducir productos verticalmente. Las cajas plegadas situadas en el almacén de la máquina son tomadas por un sistema de ventosas al vacío que las abre y coloca en la posición de formado, las ventosas y un brazo angulado las transporta longitudinalmente a través de la máquina para un cerrado de las solapas inferiores, quedando la caja formada para su llenado y posterior sellado. Una vez la caja está formada, se desplaza hasta la estación de apertura de solapas y posteriormente al punto donde el robot colocará las botellas que ha cogido del agrupador. Se instala una cerradora de cajas y un aplicador automatizado de etiquetas autoadhesivas en tiempo real para la impresión y etiquetado de las cajas que vendrán por el transportador final.

Robot

Para el encajado de botellas y el paletizado de cajas se selecciona un robot KUKA, en este caso el modelo KR180 R3200 PA. En el extremo del brazo del robot va acoplada una pinza desarrollada a medida para esta aplicación, compuesta por elementos electroneumáticos capaces de realizar tanto la función de encajado como la de paletizado.



La instalación se completa con un PLC central que se encarga de gobernar el correcto funcionamiento de todos los elementos de la instalación. Este PLC está instalado en el armario eléctrico ubicado en el interior de la sala. Una pantalla táctil permite realizar los ajustes necesarios y visualizar las alarmas existentes. El cuadro siguiente muestra el resumen del procedimiento operativo completo definido para esta instalación.



TABLA 17

Ejemplo de procedimiento operativo. Caso botellas

Marcha de la instalación con cambio de formato

- Si la instalación se encuentra en marcha, realizar un paro desde el panel de operador
- Esperar autorización de que el robot se ha detenido en una posición segura
- Desenclavar puerta de entrada
- Entrar a la sala y realizar los siguientes pasos:
 - Ajuste de los equipos de visión artificial con las nuevas etiquetas
 - Seleccionar en las pantallas de visión artificial (OCR y Detección) el formato
 - Comprobar su correcto funcionamiento utilizando unos patrones (tapón + etiqueta)
 - Validar el formato
 - En caso de cambio de botella de 1 litro a botella de 5 litros o viceversa, realizar los ajustes mecánicos necesarios en todos los equipos; barandillas de cinta, formadora de cajas, abridor de solapas y cerradora
 - Rellenar el almacén de la formadora de cajas y revisar rollos de precinto
 - Definir la etiqueta de caja y descargar el formato en la etiquetadora
 - Vaciar contenedor de rechazos
 - Colocar un palet vacío
- Cerrar las puertas de la sala
- Enclavar las puertas
- Seleccionar el nuevo formato desde el panel de operador para enviárselo al robot
- Marcha de la instalación

Cambio de palet

- Cuando se esté paletizando la última capa del palé se dará un preaviso a operario
- Tras colocar la última caja en el palé, se avisará de que ya se ha acabado y el robot se irá a una posición de seguridad
- El operario esperará la autorización de que el robot se ha detenido
- Desenclavar puerta de entrada
- Retirar palé lleno y colocar uno vacío
- Comprobar cartones, precintos y rollos de etiquetas
- Comprobar contenedor de rechazos
- Cerrar las puertas de la sala
- Enclavar las puertas
- Marcha de la instalación



Pequeña avería: atasco de cartón, etiqueta, etc.

- La instalación se colocará en Pausa tras recibir una alarma o el operario la pausará anualmente. El robot realizará un paro controlado y se quedará en esa posición
 - Desenclavar puerta de entrada
 - Solucionar el problema
 - Cerrar las puertas de la sala
 - Enclavar las puertas
 - Marcha de la instalación
-

Emergencia

- Presionar la seta de emergencia. El robot parará frenando y se bloqueará
 - Desenclavar puerta de entrada
 - Solucionar el problema
 - Cerrar las puertas de la sala
 - Enclavar las puertas
 - Rearmar la emergencia
 - Marcha de la instalación
-

3.6. Coste y resultados

Los datos aproximados de esta instalación realizada en el año 2014 son los siguientes:

TABLA 18
Costes. Caso botellas

Instalación inicial llave en mano (1)

Celda de paletizado completa mediante robot instalado sobre plataforma y sistema de vallado de seguridad perimetral	62.000 €
Equipos de formado, precintado y transporte de cajas	65.000 €
Aplicador automático de etiquetas	13.000 €
Sistervisión OCR y comprobador de impresión	16.000 €
Total	156.000 €

Mantenimiento

Contrato de asistencia técnica 24 horas anual robot	1.275 €
Contrato asistencia y mantenimiento preventivo y repuesto de los equipo de manutención	2.400 €



Algunas conclusiones que pueden extraerse de estas cifras y que son aplicables a la mayoría de las nuevas instalaciones robotizadas son:

- El coste del robot en sí mismo no es significativo en comparación con los periféricos (garras, elementos de seguridad...) y otros equipos asociados al proceso a automatizar.
- Los costes de mantenimiento anual son reducidos, prueba de la alta fiabilidad de estos equipos. En el caso estudiado, la vida útil del robot se evalúa en 15 años trabajando 10 horas diarias.

4. Célula de empaquetado de bolsas

4.1. Empresa

Biologic-Kali es una empresa dedicada a la fabricación de piensos para animales de compañía, como perros, gatos, pequeños mamíferos y pájaros. La venta del producto final al consumidor se realiza a través de distribuidores o directamente a través de tiendas al por menor. En los últimos años la empresa ha triplicado su producción y afronta una fuerte internacionalización de sus productos.

Los objetivos generales de la empresa se redirigen hacia el incremento de la eficiencia de la producción, el aumento de la calidad del producto final y la reducción del impacto ambiental. Una de las actuaciones emprendidas es la automatización completa del proceso final de empaquetado de bolsas para lo que acude a la empresa integradora VOLTEC Electrosistemas S.L (www.voltec.es) para realizar llave en mano la instalación.

4.2. Situación de partida y justificación de la automatización

La empresa realizaba la fase final de empaquetado de bolsas de piensos de 1,5 kg y 5 kg de una forma manual con la intervención de hasta 8 operarios más dos carretilleros, alcanzando una producción máxima de 3.000 kg/hora.



Los productos fabricados se sirven en cajas que tienen la misma dimensión y peso (15 kg) para todos los productos y formatos. La fábrica dispone de cuatro líneas de fabricación de productos. Las operaciones que comprenden la fase final de empaquetado son:

- Formación de cajas.
- Comprobación del peso de las bolsas procedentes de la sección anterior.
- Llenado de cajas con la bolsa.
- Formación de los palés con las cajas.
- Transporte a almacén.

Los principales problemas de proceso estaban relacionados con:

- Falta de control del peso de las bolsas o pesado unitario.
- Ritmo de trabajo variable.
- Falta de calidad en la formación de los palés.

Siendo conscientes de estos problemas la empresa abordó la automatización del proceso con objeto de conseguir los siguientes objetivos:

- Mejorar la eficiencia de la fase de empaquetado para todas las líneas de producción, con una solución común y unificada para todas ellas.
- Permitir un incremento de la producción y un régimen uniforme de la misma.
- Reducir la penosidad de ciertas operaciones ya que se manipulan cargas de 15 kg y otras de menor peso pero muy repetitivas.
- Aprovechar la inversión para realizar un planteamiento general e integración de todas las operaciones a efectuar desde la sección de embolsado hasta el almacén.

4.3. Especificación de datos

En este caso los criterios de diseño están relacionados con la variedad, dimensiones y cadencia de producción de los distintos productos y cajas a paletizar aspecto que se fijó desde el principio de la elaboración del proyecto así como las modificaciones necesarias en la en la distribución de la planta.



TABLA 19

Identificación de productos y datos de aplicación. Caso bolsas

Identificación de productos y datos de aplicación

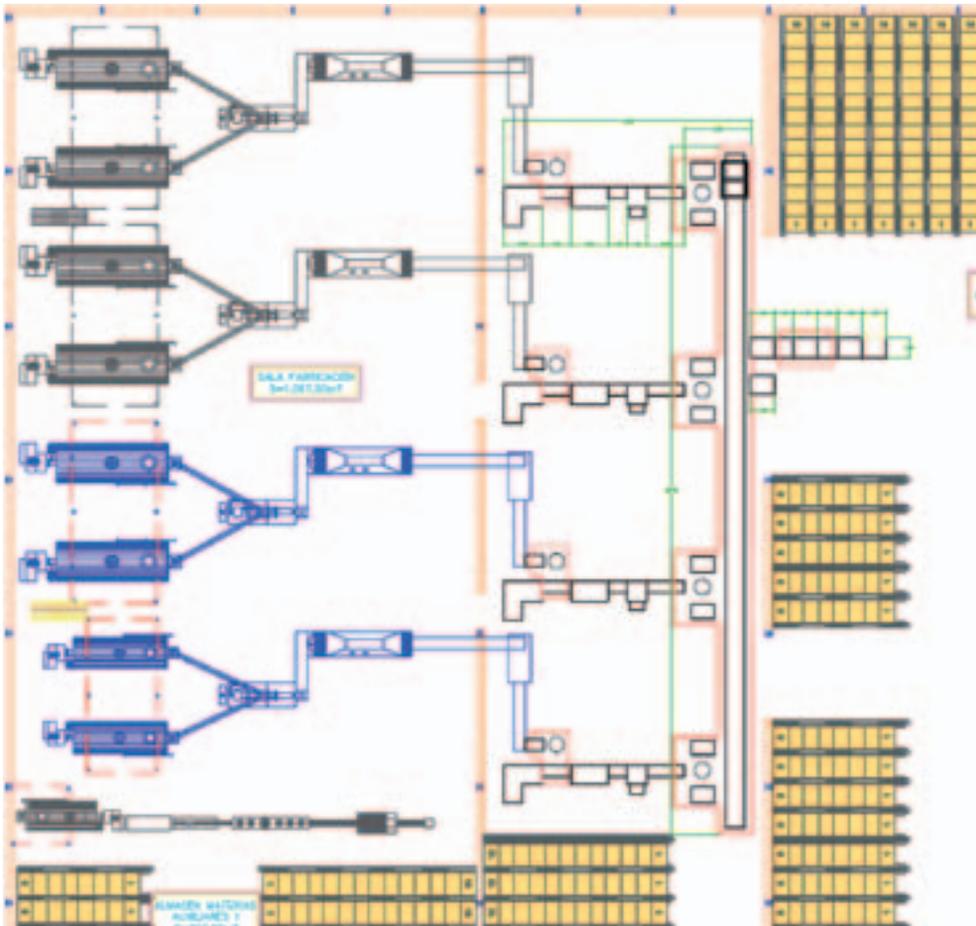
- Las bolsas a manipular tienen dos formatos que corresponden con pesos de 1,5 y 5 kg
- Las cajas se forman con tres bolsas de 5 kg o 10 bolsas de 1,5 kg que se sitúan horizontalmente en el interior de la caja
- Se utiliza un solo tipo de caja cuyas medidas son: 395 x 280 x 255 mm
- Producción máxima para las bolsas de 5 kg es de 600 bolsas/hora que corresponde a 200 cajas/hora
- Producción máxima para las bolsas de 1,5 kg es de 2.000 bolsas/hora que representa igualmente una producción de 200 cajas/hora
- Se utiliza un único tipo de palé de 800 x 1.200 mm, que recoge un total de 48 cajas distribuidas según un mosaico de 2 x 4 cajas/capa en 6 alturas
- Producción máxima palés llenos: 5 palés/hora

4.4. Descripción general de la solución automatizada

La solución propuesta se basa en cuatro células robotizadas cada una de ellas basadas en dos puestos, uno de llenado de las cajas y otro de paletizado de las cajas, resueltos con dos robots diferentes. El primero es un robot de baja capacidad de carga (hasta 6 kg) y una zona de trabajo inscrita en un círculo de 3,2 m de diámetro suficiente para alcanzar la banda de descarga y la de llenado de cajas. El segundo es un robot específicamente para paletizado que presenta como principales características una capacidad de carga alta y un alcance de 2,5 m lo que permite la formación de palés sobre dos puestos simultáneamente. En el esquema de la figura 29 se representan las cuatro líneas de producto y las cuatro líneas de empaquetado que terminan en una vía común de evacuación de los palés a los almacenes. Por esta vía circula un carro automático que transporta los palés ya formados y a su vez traslada los palés vacíos a los puestos de paletizado.

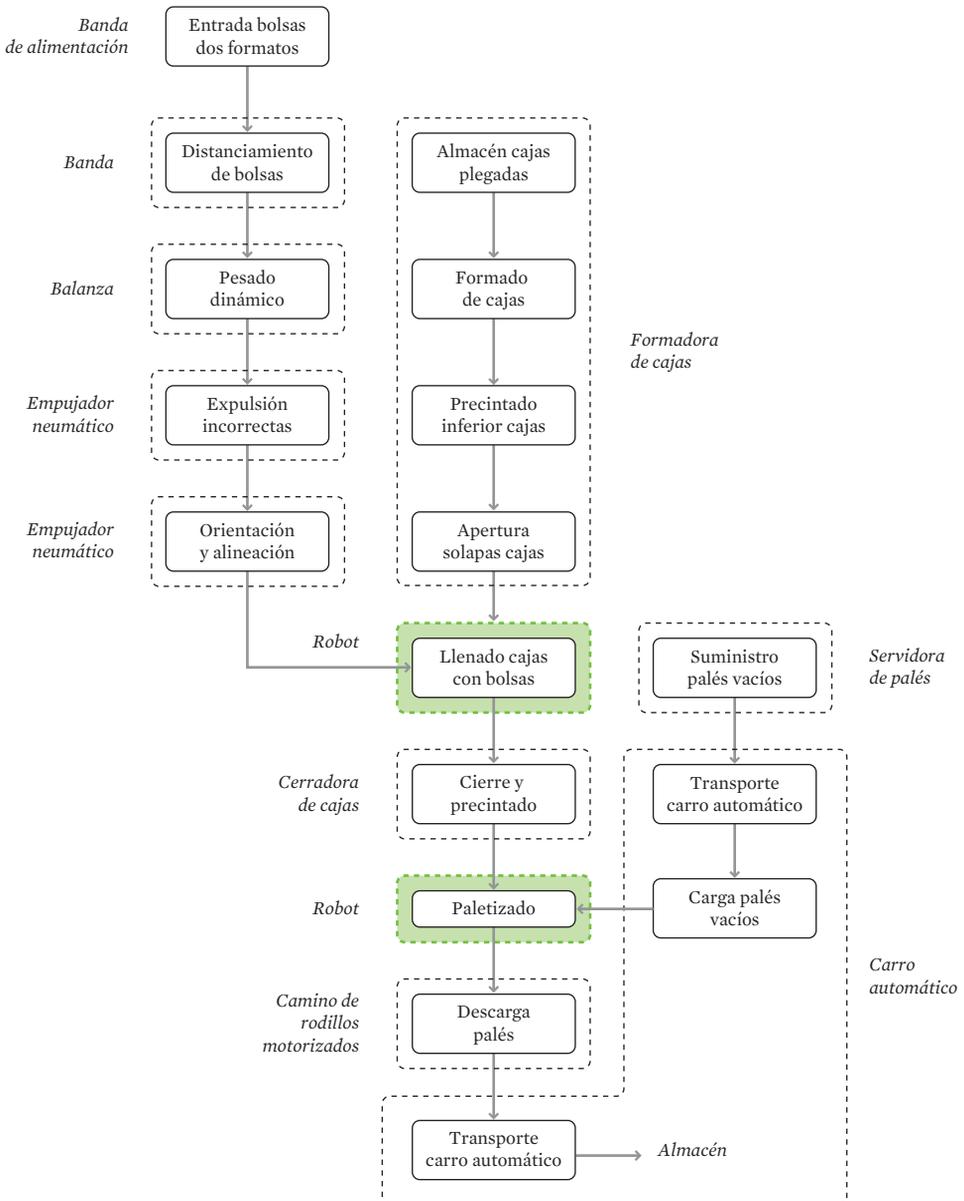


FIGURA 29
Solución preliminar de automatización



La instalación objeto de automatización comienza a partir de la entrada de bolsas de 1,5 kg y de 5 kg que llegan por una misma banda desde la sección de embolsado. Las operaciones concretas que deben efectuarse en la instalación completa se recogen en la figura 30.

FIGURA 30
Esquema de las operaciones del sistema de empaquetado y paletizado

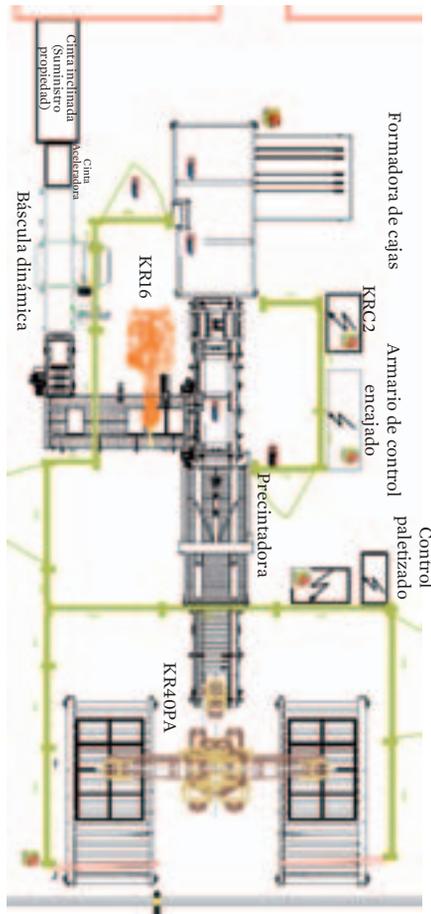


Los detalles de la célula se recogen en la figura 31. Al inicio las bolsas son elevadas hasta el nivel de altura de trabajo de la instalación mediante una banda inclinada, que desemboca en una báscula dinámica que comprueba el peso de las mismas. Las bolsas que no cumplen con el requisito del peso son retiradas de la línea automáticamente.



La banda inclinada se mueve a una velocidad superior a la de llegada y acelera las bolsas para que el pesado dinámico se pueda hacer individualmente.

FIGURA 31
Esquema detallado de una de las células



La báscula se compone de un equipo específico y autónomo que está integrado en la propia cinta y permite realizar el pesado en continuo. Incorpora un control que determina si el peso es correcto, de acuerdo con los parámetros programados. Tiene capacidad para almacenar hasta 10 formatos diferentes con las particularidades individuales de cada uno.

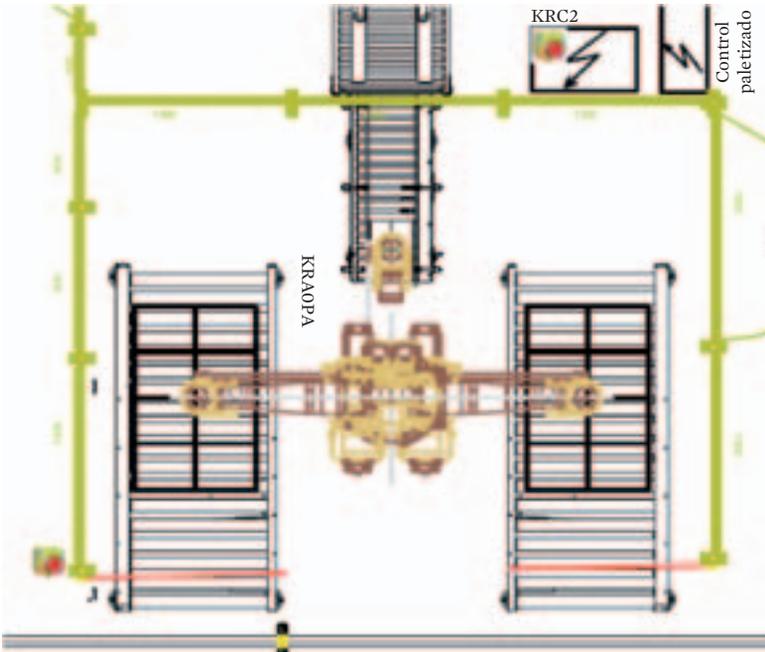
Esta cinta desemboca en otra cinta de doble banda situada perpendicularmente para alcanzar la posición donde se encuentra el robot de llenado. La finalidad de la doble

banda, donde cada banda se mueve distinta velocidad, es la rotación de la bolsa para que mantenga su orientación.

En el punto de recogida de las bolsas por el robot se instala un actuador neumático que orienta adecuadamente las bolsas y puedan ser tomadas por el robot en la misma posición y orientación. Las bolsas de 1,5 kg se agrupan de dos en dos, mientras que la de 5 kg se trata individualmente. La superficie proyecta de las bolsas coinciden con la sección de la caja donde se empaquetan. Desde esta posición el robot toma las bolsas mediante una pinza de ventosas de vacío de diseño específico común para todas las bolsas, de manera que no es necesario el cambio de pinza para los diferentes formatos de las mismas.

Paralelamente se preparan las cajas en la conformadora de cajas que se sitúa en la cabecera de la línea de cajas. Esta línea se resuelve con un transportador de rodillos motorizados, sobre los cuales pueden deslizarse las cajas cuando se produce acumulación de las mismas. La formadora de cajas parte de la caja plegada, la abre, cierra las solapas inferiores y las precinta. Cuando la caja llega a la posición de llenado se detiene. En el caso de las bolsas de 5 kg se disponen tres bolsas superpuestas. En el caso de las bolsas de 1,5 kg se colocan 5 niveles de 2 bolsas cada uno.

FIGURA 32
Zona de paletizado con dos puestos de formación de palés

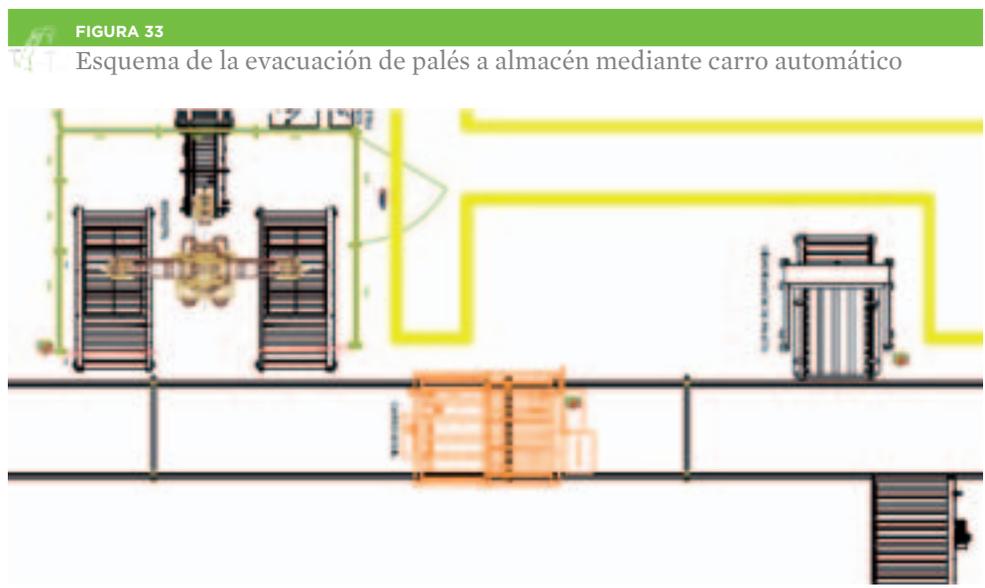




Una vez completada la caja se pasa al siguiente puesto donde, mediante un cilindro superior colocado verticalmente, compacta las bolsas mediante varios golpes ligeros con una plataforma plana. Posteriormente se pasa al precintado que se realiza con una precintadora automática que cierra la parte superior de la caja e imprime mediante chorro de tinta el texto correspondiente. Esta operación se realiza en movimiento sobre el camino de rodillos y las cajas ya cerradas son transportadas a través de un camino de rodillos hasta el punto de espera para su recogida por el robot de paletizado.

El puesto de paletizado está formado por dos transportadores motorizados bidireccionales de salida sobre los que se sitúan los palés vacíos para ser conformados. De esta manera el robot no se detiene una vez que ha completado uno de los palés y se procede a su evacuación. Por el mismo transportador de rodillos donde se realiza la carga del palé y su evacuación, llega en dirección inversa el palé vacío. El tiempo de cambio y evacuación de los palés puede ser de alrededor de 1 min.

La aprehensión de las cajas se realiza mediante una pinza de ventosas de vacío de diseño específico, compuesta por 6 ventosas. El ritmo de paletizado depende fundamentalmente de las operaciones de movimiento de las cajas y de los palés. Estos movimientos son los que determinan en definitiva el tiempo de ciclo de paletizado. La velocidad del robot es muy superior al ritmo de paletizado necesario para la producción actual de 4 cajas por minuto. Por ello se han dispuesto dos puestos de paletizado (figura 33).





Un carro automático que se desplaza por carriles enlaza el punto de descarga de los palés en el transportador de rodillos, con el transportador que se dirige al almacén y el suministrador de palés vacíos. Para optimizar el tiempo de estas operaciones el carro tiene dos estaciones. En una lleva el palé vacío y en la otra recoge el palé lleno en la misma operación de translación. El suministro de los palés vacío se hace desde un dispensador de palés. El dispensador tiene capacidad para 13 palés y son depositados sobre un transportador de rodillos mediante unos brazos que descienden la pila de palés y vuelve a elevar esta pila pero con un palé menos. Este carro automático también accederá a las futuras líneas de empaquetado y paletizado, integrando así todas las líneas de producción.

4.5. Descripción del suministro final

El suministro final está constituido por los siguientes elementos:

Línea de formado y encajado robotizado

La línea está compuesta por 1 robot y un conjunto de dispositivos formado por conformadora de cajas de cartón, abridor de solapas/tapas, cerrador de solapas/tapas, precintadora, báscula dinámica y agrupador enlazados a través de las mesas de transporte. Se elige un robot antropomórfico KUKA KR6 R900, que se encarga del encajado de las bolsas de provenientes del agrupador. En el proyecto se diseñaron de forma específica dos garras de manipulación para las bolsas que actúan por absorción por vacío. Los ratios de producción se establecieron en 1.000 ciclos/hora equivalentes a 2.000 bolsas de 1,5 Kg o 600 bolsas de 5 Kg/hora.

Línea de paletizado robotizado

La solución propuesta, se basa en un robot antropomórfico KUKA KR40, que se encarga de la paletización de las cajas llenas que son posteriormente transportadas mediante cintas transportadoras de rodillos. El robot iniciará el paletizado automáticamente en cuanto le vaya llegando producto por la línea. Se dispondrá de dos zonas de paletizado, de forma que una vez formado un pale, el robot comenzará a formar otro sin tener que esperar a que se le retire el lleno. En el proyecto se diseñó de forma específica una garra de manipulación de cajas por absorción por vacío. Producción Celda Paletizado: 200 cajas/hora.



Al final de la línea se monta un sistema de manipulación de los palés compuesto por:

- Transportador rodillos motorizado situado bajo el dispensador de palés vacíos.
- Transportador rodillos motorizado zona robot.
- Sistema de centrado del palet en zona paletización.
- Transfer con base motorizada y transportador de rodillos.
- Sistema de detección presencia de palé.
- Control de la potencia mediante variador de velocidad y maniobra del transportador.
- Sistema de seguridad mediante escáner laser.
- Carenado transfer.
- Conjunto de rail empotrado.

Armario eléctrico y terminal de operador

En este armario se ubica el autómatas de control junto con los elementos de control y protección eléctricos. En la puerta de este armario se aloja el terminal de operador



táctil para interactuar con el sistema. Mediante un terminal de operador táctil de mando, el operario introduce al sistema todas las variables necesarias para su correcto funcionamiento. Estas variables son: presentación bolsas, número de capas en palé, altura de éstas, etc. Además la pantalla muestra el estado de la celda de encajado/paletizador del robot (alarmas, vallas de seguridad armadas, etc.).

4.6. Seguridad

Como en todo proyecto de robotización la seguridad es un elemento fundamental. En la tabla 20 se muestra un ejemplo de los puntos clave relacionados con los procedimientos de seguridad que deben cumplir los operarios que intervengan en cualquier operación relacionada con la instalación.

TABLA 20
Ejemplo de procedimiento operativo de seguridad

Procedimiento operativo de seguridad

- En las operaciones de mantenimiento, reparación o similares en las que se vaya a acceder a la zona interior peligrosa (vallado de seguridad y vías carro móvil), así como en las operaciones de calibrado y cambio de formatos de embalaje, se deberán seguir las indicaciones del manual de funcionamiento. Estas operaciones serán realizadas por el Responsable de Planta o Personal Autorizado debidamente formado e instruido para ello
 - Asimismo deberá siempre utilizar la zona de paso señalizada para acceder/pasar por la zona del Carro Móvil y únicamente Personal Autorizado e instruido adecuadamente
 - En las operaciones de mantenimiento, reparación, etc... Deberá colocarse cartel informativo en la zona del cuadro de control de la pantalla táctil y del Cuadro de potencia y control situado en la sala, para evitar conexiones indeseadas y puestas en marcha intempestivas. Así mismo hay poner un candado en los seccionadores de armario
 - Asimismo para las operaciones en las que obligatoriamente se requiera trabajar con tensión en los robots, se hará en modo manual y con velocidad lenta por operador autorizado
 - La máquina dispone de varios Paros de Emergencia tipo seta con enclavamiento mecánico y rearme manual que al accionarse para instantáneamente el funcionamiento de aquélla.
 - Para que vuelva a funcionar deberá rearmarse manualmente mediante el pulsador correspondiente de la botonera o a través de la pantalla táctil
-



4.7. Coste y resultados

Los datos aproximados de esta instalación realizada en el año 2014 son los siguientes:

TABLA 21	
Costes. Caso botellas	
Instalación inicial llave en mano	
Zona de encajado de bolsas y paletizado de cajas	164.000 €
<ul style="list-style-type: none"> • Celda de encajado de paquetes compuesta por: <ul style="list-style-type: none"> · Acondicionador/Alineador/Agrupador automático de paquetes · Transportador de rodillos motorizado con centrador y fijador · Robot encajador KUKA KR6 R900 · Pinza de manipulación bolsas · Transportador de camino de rodillos motorizado · Formadora de cajas automática • Comprobadora de peso en línea • Cinta aceleradora-separadora • Celda de paletizado de cajas completa, compuesta por: <ul style="list-style-type: none"> · Robot paletizador KUKA KR40 de 4 ejes · Pinza de manipulación cajas. · Sistema de Inserción de separadores de cartón · Barrera de Seguridad · Sistema de “soplado” de cartones • Sistema de control, instalación y vallado de seguridad • Ingeniería, puesta en marcha en planta y transportes 	
Final de línea para transporte de palés	76.000 €
<ul style="list-style-type: none"> • Caminos de rodillos motorizados • Equipo transfer de palés • Alimentador de palés vacíos • Sistema de control, instalación eléctrica y de seguridad: <ul style="list-style-type: none"> · Zona perimetral de trabajo protegida con escáneres láser · Cuadro eléctrico de control e instalación eléctrica · PLC de control completo y terminal de operador táctil · Instalación eléctrica y mecánica en planta • Ingeniería, puesta en marcha en planta y transportes 	
Total	240.000 €



El coste final de la instalación es significativamente superior al coste de los dos robots lo que refleja que, en cualquier automatización, debe tenerse muy en cuenta el conjunto de operaciones adicionales a las del robot que deben realizarse; orientación, traslado, inspección, marcado, cierre de cajas, etc.

5. Paletizado de productos congelados

5.1. Empresa

La empresa de este caso pertenece al sector de la alimentación y fabrica productos congelados y refrigerados para consumidores finales o profesionales de la venta minorista. El catálogo de productos ofertados cada año alcanza las 200 referencias.

5.2. Situación de partida y justificación de la automatización

La planta de producción tiene 5 líneas de producción cada una de ellas dedicada a un tipo de producto diferente. Las líneas tienen un alto grado de automatización y funcionan en régimen continuo.

Las líneas tienen una estructura relativamente semejante que comprenden las siguientes etapas:

- Obtención del producto con las materias primas suministradas en modo continuo.
- Llenado de envases.
- Conformación del paquete para agrupar envases.
- Llenado del paquete.
- Inspección.
- Cerrado del paquete.
- Formación de cajas (packs) con varios paquetes.
- Etiquetado.
- Paletizado.

Las fases en las que intervienen los operarios son alimentación de las máquinas, envasado, inspección, formación de cajas y paletizado. Es difícil prescindir de la intervención humana en las fases de alimentación de máquinas, inspección y envasado.



Se considera que las operaciones de paletizado pueden mejorarse. Esta operación es realizada por un operario en cada línea, excepto en la línea de alta producción que tiene dos.

Al final de las líneas no se dispone de espacio suficiente para ningún tipo de ampliación. Este espacio lo ocupa el pasillo de transporte de los contenedores. Este transporte lo hace una la carretilla a motor que conduce los contenedores a los almacenes de congelados o refrigerados.

El análisis realizado de la situación actual concluye que:

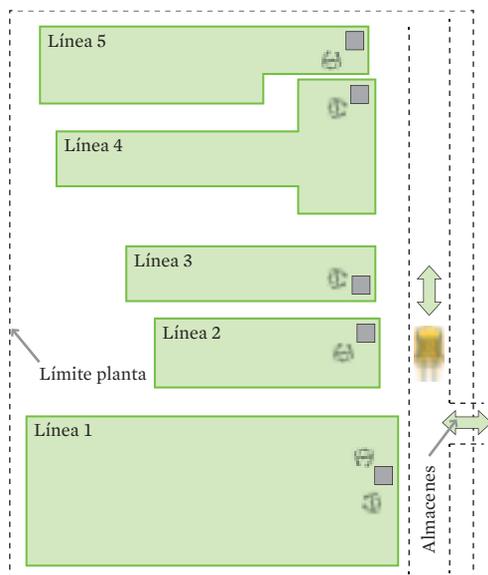
- Se tienen bastantes operarios realizando la misma operación de paletizado.
- El rendimiento de la operación se reduce conforme transcurre el tiempo.
- La colocación de las cajas en el palé no se realiza de igual forma y el palé no tiene el mismo resultado.
- En los palés se ponen cantoneras que permiten ordenarlo y facilitar su transporte a la sección de retractilado que podrían ser eliminadas.
- Se colocan separadores al final y al principio de la formación del palé, lo que es un consumo adicional.

La solución que en principio se plantea, es crear una sección única de paletizado robotizada a donde lleguen los paquetes de todos productos por una misma banda que los recoge al final de cada la línea. Los beneficios que se esperar conseguir son:

- Disminución de los tiempos de operación.
- Mejora de la precisión de la formación del palé.
- Mejora de la seguridad y un trabajo menos penoso para el operario.
- Flujo más continuo en la obtención de palé.
- Mejora de la operación ya que en algunos casos la base del palé esta en altura sobre el suelo y se dificulta la colocación de las últimas capas (filas).
- Al estar la zona de paletizado fuera de la zona de producción se pueden emplear palés de madera.
- El control de los productos desde que salen de las líneas se facilitará ya que el paletizado se hace más uniforme y los tiempos de las operaciones son más homogéneos para todos los productos.
- Menor coste por formación de palé.

FIGURA 34

Esquema preliminar de la planta antes de la automatización



5.3. Información sobre el producto y proceso

Los productos una vez envasados tienen un formato reducido con un peso comprendido entre 30 g y 0,8 kg. Los productos se agrupan en número distinto en un paquete. Posteriormente se empaquetan en una caja cuyo peso suele oscilar entre 2,4 kg y 4,8 kg. El suministro a los distribuidores se hace en contenedores que utilizan europalés, medios europalés y palé americano con una disposición de las cajas variable que dan lugar a mosaicos diferentes.

TABLA 22

Tasas de producción por línea

Línea de producción	Cadencia de producción de palés/hora	Operario de paletización
Línea 1	7	2
Línea 2	1,3	1
Línea 3	2,5	1
Línea 4	2,1	1
Línea 5	1,9	1



El número de palés procesados al año alcanzan los 31.000 palés, lo que supone una producción de 7.000 tn de productos.

5.4. Descripción general de la solución automatizada

Se propone como solución un paletizado con robot en vez de un paletizador convencional del tipo cartesiano ya que tiene una zona de trabajo de mayor alcance para las mismas dimensiones.

En un espacio aparte de la planta de producción, inicialmente dedicado a almacén de productos congelados se ha destinado a albergar la sección de paletizado, manteniendo la refrigeración a 0° y no siendo necesario el control de la permanencia de los productos en la sección. En la instalación inicial este aspecto era importante ya que provocaba un mayor movimiento de los palés entre las líneas de producción y las cámaras refrigeradas, cuando se superaba el tiempo de permanencia en planta.

Los aspectos más importantes que se analizaron son:

- El proceso de operación de la sección de paletizado, al manipular productos distintos y formatos distintos.
- La estimación de los tiempos de operación del robot para determinar la capacidad de los mismos.
- La determinación del espacio necesario para la operación, habida cuenta de la necesidad de instalar equipos adicionales, como plataformas giratorias, caminos de rodillos, suministradoras de palés, etc.
- Los movimientos de los productos entre las líneas de producción y la sección de paletizado.
- El formateado de los palés con objeto de su simplificación.

El proceso finalmente adoptado y la disposición de los elementos están muy asociados con la disponibilidad de espacio y sus límites físicos.

El núcleo de la sección de paletizado los forman dos robots específicos para estas tareas. Se utilizan dos robots con el fin de tener un tiempo de ciclo suficiente para procesar toda la capacidad de producción de las líneas y por otro lado, puedan tener alcance a todos los puestos de alimentación donde las cajas se encuentran ya clasificadas. La alimentación de las cajas a los robots se configura con 5 puestos de alimentación uno por cada tipo de producto. Cada robot accede a tres de estos puestos, por



lo que hay una estación que sirve a los dos robots y el resto trabajan en exclusiva con cada uno de ellos. En la programación de los robots es necesario tener en cuenta la interferencia de los movimientos entre ellos.

La formación de los palés también se hace simultáneamente sobre 5 estaciones.

Los robots utilizados son del tipo articulado vertical (antropomórfico) para paletizado que a través de cuadriláteros articulados, lo que permite reducir los ejes a 4, incrementando la capacidad de carga y reduciendo su coste.

Se utiliza una banda única para conectar la salida de las diferentes líneas con la sección de paletizado. A la salida de cada línea el producto viene empaquetado en cajas. Como por la misma banda se transportan productos diferentes será necesario separarlos más adelante, para formar palés con el mismo tipo de producto.

La línea 1 es la más próxima a la sección de paletizado y además, la que tiene mayor producción por lo que se une directamente con esta sección a través de una banda exclusiva.

El esquema de las fases del proceso de paletizado se recoge en la figura 35.

A la entrada de la sección se dispone de un sistema de inspección que comprueba si el empaquetado es correcto. En caso de que no lo sea se rechaza mediante un empujador neumático que saca el producto de la línea.

Posteriormente los productos que llegan por la primera banda se identifican a fin de clasificarlos y dirigirlos a la estación de alimentación de los robots correspondiente.

La desviación de los productos se realiza en la misma banda de transporte que posee unos rodillos incorporados que se activan y mueven la caja transversalmente a la banda cuando es necesario.

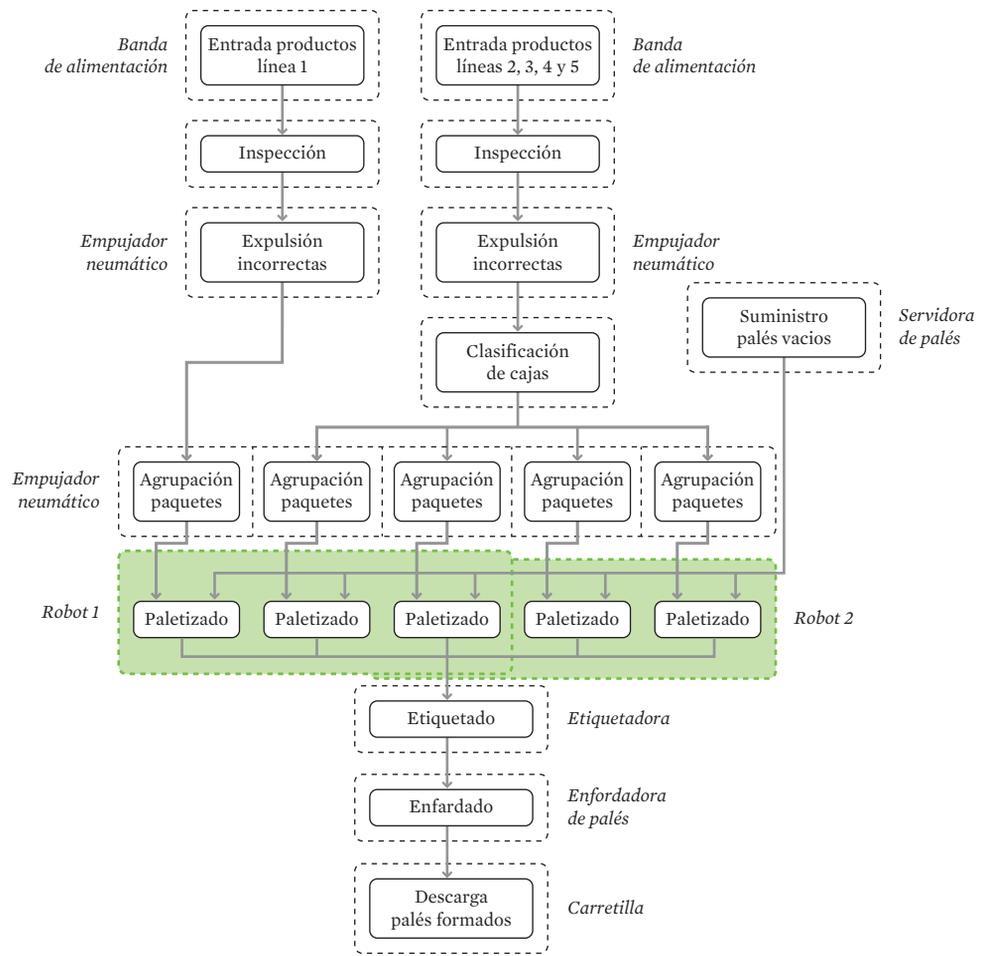
Para la mejora del ciclo de trabajo del robot se hace una agrupación previa de las cajas en mesas de preformado. Mediante empujadores neumáticos se sitúan las cajas unas al lado de las otras cubriendo la superficie de la mesa. Todas las cajas agrupadas, normalmente número de 4, son recogidas simultáneamente por el robot con una pinza de vacío, por lo que reduce el número de movimientos de los robots y por ende su tiempo de ciclo.

La pinza está formada por 24 ventosas y es única para todos los productos. El robot acude a estas posiciones para recoger el paquete y situarlo en el palé de acuerdo con



el mosaico que en cada capa correspondiera. El mosaico varía en cada capa para dar más estabilidad a la carga del palé una vez formado.

FIGURA 35 Fases del proceso



La alimentación a los robots podría haberse realizado desde un puesto único y sería el robot el que hiciera la clasificación. De esta manera se habría conseguido una instalación más sencilla y económica. Esta solución puede dar lugar a un cuello de botella sobre todo cuando se producen variaciones en la producción.

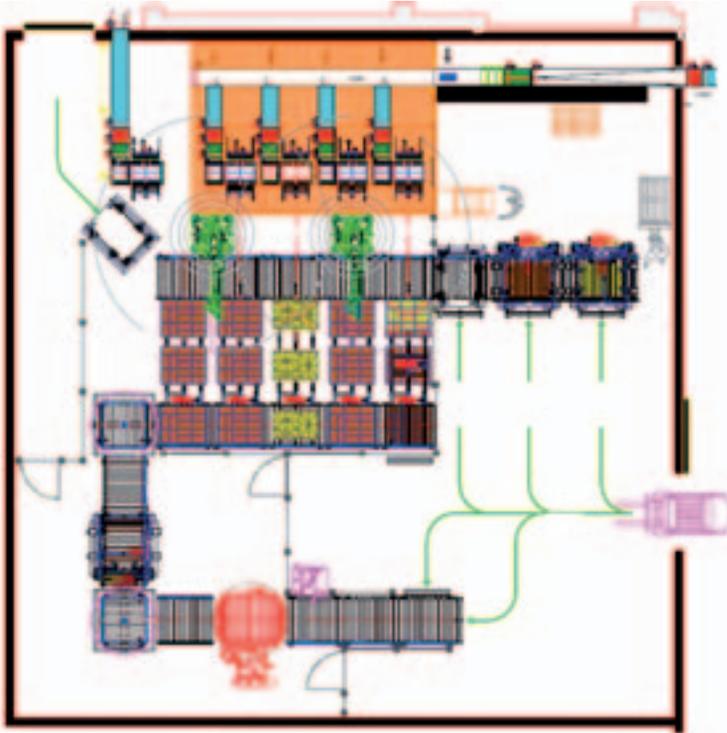
Los robots forman los palés en las mesas de paletizado. Los palés vacíos son enviados por un camino de rodillos desde la servidora de palés hasta las distintas mesas. Este

camino atraviesa la zona de trabajo de los robots por lo que a la hora de su selección debe tenerse en cuenta la necesidad de que el alcance de los mismos sea el adecuado.

Los palés una vez formados se desplazan por un transportador de cadenas múltiples hacia un camino de rodillos motorizado de salida común para todos los palés, conforme se van completando los mismos.

La figura 36 muestra la distribución final de la instalación.

FIGURA 36
Esquema de la sección de paletizado



En la fase siguiente se etiqueta el palé. Esta operación se realiza sobre la misma línea con una etiquetadora de chorro de tinta invirtiendo un tiempo de 8 s. Posteriormente los palés se desplazan por la misma línea hasta el puesto de enfardado donde se envuelve el palé con una película de plástico. El puesto de enfardado está formado por una enfardadora giratoria que invierte aproximadamente 90 s en la operación. Al final de la línea los palés se acumulan sobre la misma línea de donde son recogidos por una carretilla a motor que los conduce a sus respectivos almacenes.



5.5. Coste y resultados

Los equipos necesarios para la instalación y sus características han tenido una dependencia importante con el espacio y la distribución disponible. Esto ha afectado a la longitud de las líneas y a la instalación de equipos adicionales, como plataformas giratorias o elevadores de productos, lo que ha dado lugar a un encarecimiento de la instalación. La inversión realizada a lo largo del año 2013 en la sección de paletizado ha ascendido a 322.000 €, donde el coste de los robots asciende aproximadamente a 66.000 €. Si se considera la inversión en equipos para la conexión de la sección de paletizado con las líneas de producción esta inversión se eleva significativamente a 430.000 €.

TABLA 23

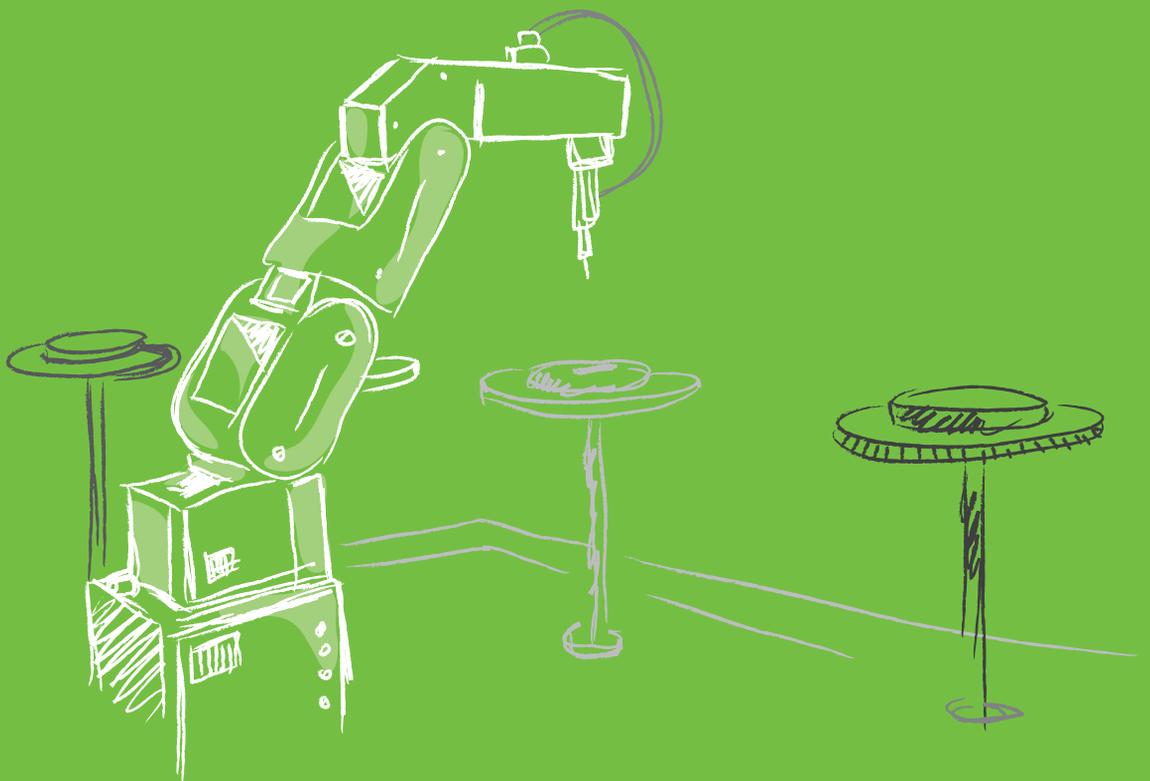
Comparativa de costes

	Sistema de producción anterior	Sistema de producción actual
Personal	170.000	25.000
Material fungible	48.000	26.000
Mantenimiento	—	26.000
Amortización	—	45.000
	218.000	122.000

Los resultados más interesantes de esta aplicación son:

- Se ha reducido considerablemente la mano de obra directamente implicada en las operaciones de paletizado que se ha podido dedicar a otras tareas.
- Se ha centralizado el paletizado en un punto de la planta por lo que se ha simplificado en transporte a almacenes.
- El conformado de los palets es más uniforme ya que todas las cajas quedan alineadas de la misma manera.
- Las restricciones de los límites de la planta han dado lugar a una instalación más compleja.
- La instalación ha necesitado más espacio del inicialmente previsto dadas las operaciones adicionales a realizar además de la formación del palé.

CONCLUSIONES





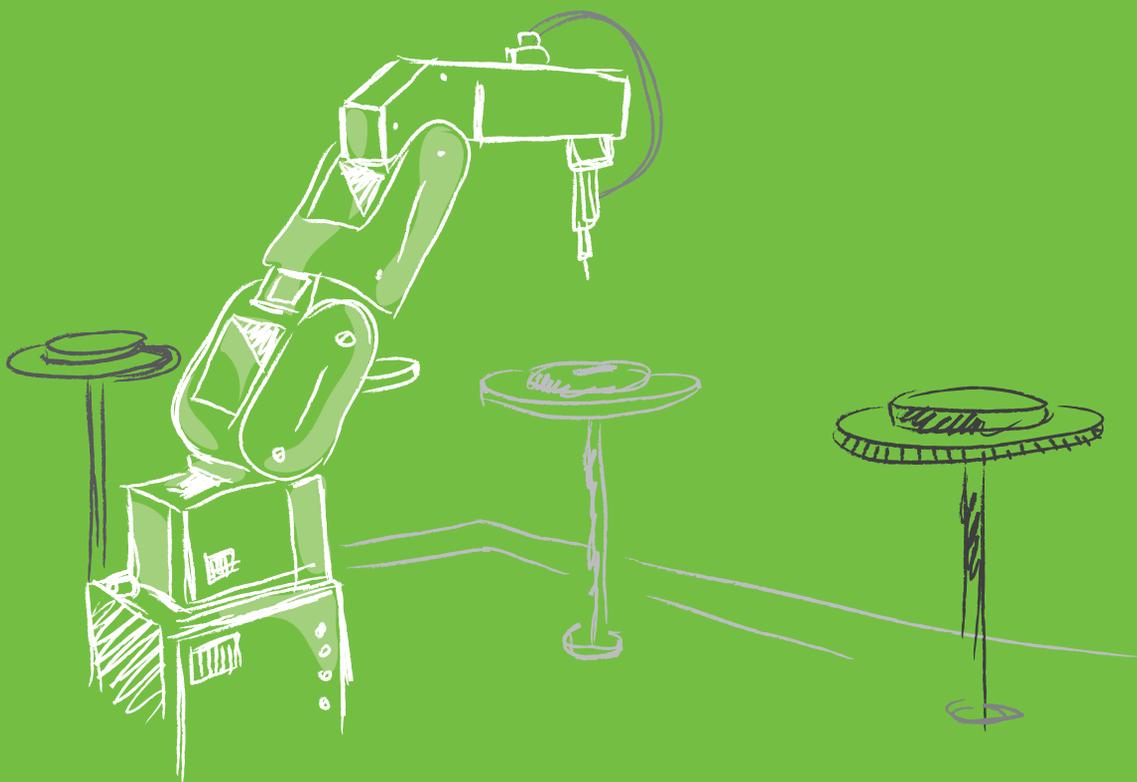
Esta publicación ha mostrado aquellos aspectos más significativos del campo de la robótica industrial que son de especial interés para PyMES. El contenido ha pretendido transmitir el mensaje de que la robótica ya no es una opción lejana sino una necesidad que las empresas deben evaluar para mejorar su productividad. Siempre existirán regiones del mundo con costes más bajos. La robótica, las técnicas organizativas de fabricación esbelta y la colaboración con suministradores son las herramientas que tienen las empresas para crear valor en cada uno de los eslabones de la cadena productiva al mínimo coste.

El grado de desarrollo tecnológico alcanzado por los robots, su versatilidad para emplearlos en un amplio rango de aplicaciones y su cada vez más fácil manejo, aconseja apostar por su uso intensivo en la industria en general y en las pymes en particular. El continuo abaratamiento del coste de adquisición de un robot industrial experimentado en los últimos años provocará que en un futuro no muy lejano el entorno de fabricación cambie drásticamente respecto a lo que conocemos.

Los estudios recientes realizados en España muestran que la implantación de robots tiene un amplio despliegue. La robotización está plenamente en sectores como el de la automoción o alimentación. No obstante, el grado de implantación en las PyMEs es muy diverso y todavía queda mucho por hacer. La existencia de “empresas integradoras” surgidas alrededor de la industria del automóvil suponen una garantía de éxito para el futuro del sector de la automatización de la industria española. En el caso de las pequeñas empresas, no existe una mayor implantación porque los propietarios, o sus directivos, todavía pueden tener una idea falsa de complejidad o costes elevados.

Las industrias con larga experiencia en robótica tienen claras las ventajas que se logran con su implantación; reducir costes de fabricación, incrementar la productividad, aumentar flexibilidad, garantizar seguridad y optimizar la calidad. Todas estas ventajas no deben dejar duda sobre la rentabilidad de su implantación. En este sentido, toda empresa que quiera ser competitiva debe afrontar un ejercicio interno de identificación y priorización de la automatización basado en el sentido común, el conocimiento técnico y una metodología clara de implantación. El reto está en plantearse un plan progresivo de automatización a partir de proyectos iniciales con garantía de éxito que sirvan para adquirir experiencia y poder afrontar implantaciones más complejas y extensas. La guía de implantación expuesta en esta publicación pretende servir como punto de partida para que cada empresa, según sus peculiaridades, acabe diseñando su propia hoja de ruta hacia la robotización.

REFERENCIAS





Bibliografía

Agenda Estratégica, Hisparob, 2010.

Encuesta Industrial de Empresas. Instituto Nacional de Estadística, 2015.

Estudio sobre estadísticas de robótica 2014, 2103, 2012. AER.

Guía de Implantación Robots. Sector Metal. FENMEAL, 2007.

Guía técnica de seguridad en Robótica. CEPYME ARAGON.

Industrial Robotics - How to Implement the Right System for Your Plant. Andrew Glasser. McGraw Hill, 2006.

Industrial Robotics. Selection, Design and Maintenance. Harry Colestock. McGraw Hill, 2004.

Libro blanco de la robótica. CEA, 2011.

Robotic Visions, "To 2020 and Beyond", The Strategic Research Agenda for Robotics in Europe, EUROP, 2009.

Robótica y Automatización, Informe de la Fundación COTEC, 2006.

Suarez, A. Guía Técnica de Seguridad en Robótica. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

World Robotics 2014, Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Robot Investment. IFR.



Páginas web de interés

<http://www.aeratp.com/>

<http://www.ceautomatica.es>

<http://www.clawar.org/>

<http://www.esa.int/TEC/Robotics/>

<http://www.euron.org>

<http://www.hisparob.es/>

<http://www.ifr.org>

<http://www.isab.org.uk/ISAB/>

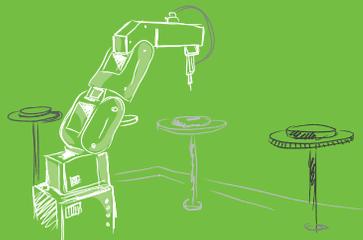
<http://www.robotics-platform.eu/>

<http://www.service-robots.org>

<http://www.kuka-robotics.com/spain>

sistemas de automatización y robótica

para las pymes españolas



Esta publicación expone los aspectos más significativos de la robótica industrial, un campo en el que los avances técnicos y el abaratamiento de costes provocarán que, en un futuro no muy lejano, el entorno de fabricación cambie drásticamente respecto a lo que conocemos.

El libro se dirige tanto a empresas que desconocen los conceptos principales como a aquellas con experiencias de uso, profundizando en sus beneficios y proponiendo una hoja de ruta de evaluación e implantación. Así mismo, se realiza un análisis actualizado del sector industrial desde el punto de vista del estado actual de la robótica en España y se presentan casos de éxito de implantaciones de automatización con robots.



www.eoi.es

EOI MADRID

Avda. Gregorio del Amo, 6
Ciudad Universitaria
28040 Madrid
informacion@eoi.es

EOI ANDALUCÍA

Leonardo da Vinci, 12
Isla de la Cartuja
41092 Sevilla
infoandalucia@eoi.es

EOI MEDITERRÁNEO

Presidente Lázaro Cárdenas del Río,
esquina C/Cauce
Polígono Carrús
03206 Elche (Alicante)
eoi mediterraneo@eoi.es

con la cofinanciación de



"Una manera de hacer Europa"

medio ambiente
industria y energía