

ANMOPYC

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES
DE MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN,
OBRAS PÚBLICAS Y MINERÍA



DIRIGIDO POR

Benjamín Bentura Aznárez. Ingeniero Industrial. Director Técnico de ANMOPYC.

EQUIPO TÉCNICO

Jorge Cuartero Dastís. MBA. Director Gerente de ANMOPYC.

Sergio Serrano Tomás. Licenciado en Ciencias Químicas. Departamento Técnico de ANMOPYC.

Borja Villoria Ruiz. Ingeniero Técnico Industrial. Departamento Técnico de ANMOPYC.

Alfredo Gómez Espinosa. Ingeniero Industrial. Jefe del Departamento de Mercado. Instituto Tecnológico de Aragón.

Carlos Millán Ibor. Doctor Ingeniero Industrial. Departamento de Mercado. Instituto Tecnológico de Aragón.

Miguel Angel García Muro. Ingeniero Industrial. Jefe del Departamento de Innovación y Transferencia de Tecnología. Instituto Tecnológico de Aragón.

PANEL DE EXPERTOS

Referenciado en el anexo A.

ARTÍCULOS TÉCNICOS

Autores referenciados en los correspondientes artículos.

AGRADECIMIENTOS

Al Comité Directivo de ANMOPYC y todas las empresas participantes en el Proyecto Innpulsa por confiar desde un principio en el mismo; a las administraciones públicas que con su apoyo han conseguido que este estudio se pueda realizar con los medios apropiados; a los miembros del panel de expertos por transmitir todos sus conocimientos y experiencias; a todos aquellos que han contribuido a la realización del mismo cumplimentando las encuestas y en general a todas las personas que directa o indirectamente han colaborado en la realización de esta publicación.

Índice

1. Introducción	5
2. Descripción del estudio	7
3. Análisis DAFO	9
3.1 Presentación del sector	9
3.2 Debilidades	9
3.3 Amenazas	10
3.4 Fortalezas	11
3.5 Oportunidades	11
4. Estudio Prospectivo	13
4.1 Objetivos	13
4.2 Factores impulsores de la innovación en el sector	13
4.3 Metodología	25
4.4 Resultados generales	27
4.5 Tendencias de futuro	36
4.6 Conclusiones	54
4.7 Bibliografía	55
5. Situación Tecnológica	57
5.1 Introducción	57
5.2 Reglamentación armonizada en el sector de maquinaria de construcción y obra pública	59
5.3 Integración de aspectos de seguridad y salud en la fase de diseño de las máquinas para construcción y obra pública	65
5.4 Ecodiseño y ecoeficiencia en la maquinaria de construcción y obra pública	71
5.5 Automatización en la construcción	77
5.6 Nuevos sistemas constructivos y su impacto en la maquinaria de construcción y obra pública. La construcción industrializada y la rehabilitación y el mantenimiento de edificios	83
5.7 La multifuncionalidad en la maquinaria de construcción y obra pública	95
5.8 Herramientas de CAD/CAM/CAE y prototipado virtual y rápido para diseño y desarrollo de maquinaria de construcción y obra pública	103
5.9 Técnicas de tratamiento superficial por láser y nano-recubrimientos en maquinaria de construcción y obra pública	113
5.10 Sistemas de unión para maquinaria de construcción y obra pública	121
5.11 Nuevos procesos de fabricación en maquinaria de construcción y obra pública	129
5.12 Maquinaria de construcción y obra pública inteligente. Automatización	137
5.13 Sistemas para reducción de ruido y vibraciones en maquinaria de construcción y obra pública	149
5.14 Uso de nuevos materiales en maquinaria de construcción y obra pública	165
5.15 Herramientas de realidad virtual para aprendizaje y manejo de maquinaria de construcción y obra pública	177
6. Conclusiones generales	187
Anexo A. Panel de Expertos	193
Anexo B. Cuestionario	194

Nota: los subapartados de los artículos técnicos incluidos en el apartado 5 no siguen correlativamente el orden del estudio general.

1. Introducción

ANMOPYC, Asociación Española de Fabricantes Exportadores de Maquinaria de Obras Públicas, Construcción y Minería, inició su andadura en el año 1.982 con un claro objetivo de prestar servicios a las empresas del sector para fomentar las ventas de sus productos en el exterior y defender sus intereses frente a terceros países.

Actualmente, cuando se celebra el 25 aniversario de su constitución, la asociación está compuesta por 92 empresas fabricantes, que facturaron en total más de 2.600 millones de euros en 2006 y dieron empleo a más de 11.000 personas, y que están repartidas entre 10 comunidades autónomas (Aragón, Andalucía, Navarra, Castilla la Mancha, Castilla León, Cataluña, Madrid, Valencia, País Vasco y Murcia).

La Asociación tiene una dilatada experiencia prestando servicios de apoyo a la exportación, consolidándose como una de las instituciones más dinámicas a nivel nacional en este sentido, con el apoyo del ICEX; y con la entrada de España en la Unión Europea se iniciaron actividades de apoyo en el ámbito de la Legislación y normalización Europea, colaborando activamente con organismos como AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) y CECE (Asociación Europea de Maquinaria de Construcción).

En la elaboración del Plan Estratégico de la Asociación en el año 2004 se buscaba el proporcionar nuevos servicios de valor añadido y seguir posicionando a ANMOPYC como referente para el sector, y por eso se pensó que el apoyo al I+D+I debería convertirse en otra de las líneas de servicio a los asociados.

Se dibujaba un mapa del sector en el cual el 90% de las empresas de la Asociación eran PYMEs, con escasas estructuras de I+D+I y con una cierta creencia de que ese aspecto de la ges-

ción empresarial estaba destinado a grandes multinacionales y sectores muy relacionados con las nuevas tecnologías.

Sin embargo se veía un gran potencial de crecimiento en las empresas, si éstas empezaban a pensar en innovar en procesos o en productos o bien a incorporar las nuevas tecnologías a sus actividades cotidianas, ya que las empresas conocían ya los mercados exteriores, y el sector ya contaba desde hace tiempo con una buena imagen de relación calidad – precio a nivel global.

Por otra parte no se pueden olvidar las amenazas que suponen la aparición de competidores provenientes de economías emergentes como China, Europa del Este o India, o la posible futura desaceleración del sector de la construcción en España, ante la cual las empresas deberán ser más competitivas para poder continuar con su crecimiento.

Con todos estos condicionantes nació el Proyecto Innpulsa, con el objetivo de impulsar la cultura de la innovación en el sector, para generar ventajas competitivas que incrementasen la presencia de las empresas en el mercado global.

El Proyecto Innpulsa es un proyecto en el ámbito del Plan de Competitividad de la Pyme concedido por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a finales del 2005 y gestionado por el Departamento de Industria, Turismo y Comercio del Gobierno de Aragón, y ha contado con un presupuesto de 646.520 euros, participando en el mismo 40 pymes de ANMOPYC procedentes de 8 Comunidades Autónomas.

A la hora de plantear las acciones se pensó en que por un lado había que realizar actividades genéricas que permitiesen a ANMOPYC el situarse como un referente para las empresas a la hora de hablar de innovación, y de las cuales se pudiesen

beneficiar tanto las empresas participantes en el proyecto como el resto del sector, y por otro animar a las empresas a que realizaran acciones específicas respaldadas por el proyecto en sí y la oportunidad de que la tramitación la realizase la propia asociación.

En el ámbito específico, las 40 empresas participantes han desarrollado proyectos individuales en las tres líneas de innovación propuestas: mejora de producto, mejora de procesos e incorporación de las TIC's a la gestión de las empresas, y en el ámbito genérico se han realizado una serie de acciones que han tenido como consecuencia la publicación de este estudio.

Las organizaciones centran sus esfuerzos en lograr la satisfacción de sus clientes, buscando los máximos niveles de rentabilidad y teniendo que cumplir con una serie de disposiciones y norma-

tivas, además de tener que estar atentos a las amenazas provenientes de los diferentes competidores.

Todos estos condicionantes pueden observarse desde una perspectiva de frenos al crecimiento de la empresa o bien se pueden tomar como factores impulsores de la innovación, que evidentemente requieren de un constante esfuerzo por parte de las empresas para conseguir mejores productos y nuevos procesos que la hagan mas competitiva, pero que seguro derivarán en que la empresa se diferencie de sus competidores y por tanto se cumplan los objetivos planteados.

Este estudio pretende servir como guía para establecer futuras estrategias de I+D+I para todas aquellas empresas que apuesten por la innovación como clara ventaja competitiva.

2. Descripción del estudio

Este estudio nació con tres claros objetivos:

1. Conocer la situación actual del sector y los retos que se le plantean
2. Realizar una prospectiva tecnológica concreta del sector
3. Tener un referente documental en el que poder indagar y profundizar sobre cada una de las tendencias tecnológicas detectadas como fundamentales para alcanzar la competitividad de las empresas del sector

Para conocer la situación actual y poder conocer los retos que se plantean para el correcto futuro posicionamiento de las empresas que lo componen, se recurrió al **análisis DAFO**, metodología que surgió en los años 70 en el ámbito empresarial para estudiar la situación competitiva de una empresa dentro de su mercado y las características internas de la misma, a efectos de determinar sus Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades. Este análisis DAFO se desarrolló en el ámbito del panel de expertos creado para realizar el seguimiento y dar el apoyo correspondiente al equipo técnico en cada una de las diferentes fases de este estudio.

Con respecto al **estudio prospectivo**, su objetivo ha consistido primero en tratar de adivinar cuáles serán las tendencias tecnológicas que marcarán los esfuerzos futuros en I+D+I en la maquinaria de obras públicas, construcción y minería y conocer la opinión al respecto de dichas tendencias de los profesionales implicados en el sector. Para esta parte del estudio se ha elegido la metodología Delphi, también conocida como “cerebro colectivo”, que debe su nombre a la antigua ciudad griega de Delphos, donde se acostumbraba a consultar a las pitonisas sobre el futuro, y fue ideada en los años 50 por Olaf Helmer y Theodore J. Gordon como un instrumento para realizar predicciones sobre un caso de catástrofe nuclear.

Hoy en día es una técnica utilizada frecuentemente como sistema para obtener información sobre el futuro y una de las definiciones más aceptadas sería la de “una técnica de previsión para la incertidumbre”. El método Delphi consiste en una selección de un grupo de expertos que debe elaborar un cuestionario que define con precisión el campo de investigación, posteriormente realizar la encuesta entre la muestra elegida, validar los resultados obtenidos y finalmente establecer las conclusiones derivadas de los mismos.

La primera tarea del equipo técnico del proyecto fue realizar una síntesis documental de diferentes estudios y análisis tecnológicos (referenciados en el apartado 4.7) relacionados con el sector para poder empezar a definir las hipótesis de tendencias tecnológicas que serían las utilizadas posteriormente para elaborar la encuesta. Con este primer análisis se llegaron a formular cerca de 150 hipótesis, quedando claro que este número se tenía que reducir para poder llegar a realizar una encuesta que abarcara todos los puntos de interés pero que tuviese las suficientes garantías de poder abordarse su realización por los encuestados en un tiempo razonable.

Antes de celebrar la primera reunión de expertos en la que se abordaba este estudio prospectivo las hipótesis se redujeron a 50 agrupadas en 5 grandes temas:

1. Nuevos modelos empresariales
2. Seguridad y salud
3. Sostenibilidad
4. Procesos, técnicas y materiales para la construcción
5. Tecnologías.

Durante la reunión del panel de expertos se definieron todas las hipótesis de acuerdo a las experiencias de sus componentes y a los criterios establecidos por el estudio para finalmente llegar

a 33 hipótesis definitivas que serían las que se utilizarían para elaborar la encuesta.

La encuesta se distribuyó entre profesionales procedentes de empresas fabricantes de maquinaria de construcción, empresas constructoras, centros tecnológicos, universidad y administraciones públicas, y sus resultados se validaron en una nueva reunión del panel de expertos.

Finalmente para que este estudio no se quedase en un simple ejercicio de conocer cuáles eran las tendencias tecnológicas en las que el sector confiaba como cruciales para el desarrollo del mismo, se desarrollaron una serie de artículos técnicos encargados a diferentes expertos en cada una de las materias abordadas por las hipótesis de tendencias tecnológicas.

Estos artículos se recogen en el apartado de **situación tecnológica** y suman un total de 14 "estados del arte" relacionados con 4 de las 5 temáticas mencionadas que agrupan a las hipótesis (Seguridad y Salud, Sostenibilidad, Procesos, Técnicas y Materiales para la Construcción y Tecnologías)

Aunque todos estos "estados del arte" tienen una estructura común y están recogidos dentro de un estudio global dedicado a la maquinaria de obras públicas, construcción y minería, cada uno trata de recoger individualmente la opinión de un experto en la materia sobre la que versa, pudiendo consultar el lector únicamente aquellos que le interesen, es decir, en ese apartado se puede hablar más de una recopilación de estudios que de un punto del estudio indivisible.

Fundamentalmente, todos los estudios contienen lo siguiente:

- a) Descripción de los elementos básicos de la tecnología.
- b) Análisis del estado actual de aplicación de dicha tecnología.
- c) Prospectiva de tendencia tecnológica.
- d) Referencias bibliográficas.

Por último destacar que todos los artículos contienen referencias documentales (570 en total) que permitirán al lector seguir ampliando aquellos temas en los que quiera profundizar.

3. Análisis DAFO

3.1. PRESENTACIÓN DEL SECTOR

ANMOPYC agrupa en la actualidad al 90 % de los más importantes fabricantes españoles de maquinaria, componentes y equipos auxiliares para construcción, obras públicas y minería, contando a día de hoy con 92 miembros. Dichas empresas emplean en conjunto a más de 11.000 personas, sumando el total de facturación de todas ellas unos 2.600 millones de euros en el año 2006.

Los miembros de la asociación fabrican equipos que cubren básicamente siete sectores:

- Maquinaria para Carreteras
- Hormigón
- Elevación, Transporte y Manutención
- Canteras, Minería y Reciclaje
- Movimiento de Tierras
- Equipamientos para Trabajos Temporales en Obra
- Maquinaria y Equipo Auxiliar de Construcción

Dichos equipos se encuentran presentes en los cinco continentes, siendo su principal mercado Europa, que representa el 65% de las exportaciones, América (20%), África (8%), Asia (4%), Medio Oriente (2.5%) y Oceanía (0.5%). La cifra media de exportación alcanza el 30% de la facturación total anual.

La maquinaria española destaca por su gran calidad y precio competitivo, lo cual le permite estar presente en mercados tan exigentes y difíciles como Alemania, Francia, Reino Unido, Estados Unidos o la propia España. El servicio post-venta y la capacidad de respuesta ante posibles problemas hace que los equipos españoles de este sector compitan directamente con equipos alemanes, americanos, japoneses, etc.

El sector de la maquinaria de obra pública y la construcción está constituido fundamentalmente por pymes (entorno al 90% del total de la empresas con CNAE 2952, "Fabricación de maquinaria de obras públicas y construcción" y parte del CNAE 22, "Fabricación de maquinaria de elevación y manipulación" en la parte referente a material de elevación y transporte), concentrando el 85% de su actividad en el Nordeste de España (Aragón, Cataluña, País Vasco y Navarra). Se trata de un sector heterogéneo en cuanto al tipo de productos que ofrece, pero cuyas empresas comparten clientes, proveedores, entornos productivos y tecnologías en la mayoría de los casos.

Durante los últimos años el sector ha experimentado un continuo y fuerte crecimiento tanto en número de empresas y facturación total como en número de personas ocupadas debido al auge de la construcción a nivel nacional desde 1995.

Las principales amenazas que advierte el sector para mantener este ritmo de crecimiento se basan tanto en el freno de la demanda por parte de los constructores nacionales como en la pérdida de competitividad frente a competidores internacionales (grandes multinacionales y fabricantes de países del Este de Europa y Asia) por obsolescencia tecnológica tanto a nivel de producto como de procesos productivos. Las estrategias que se advierten por tanto deben radicar en incrementar la competitividad de los productos que fabrican mediante procesos de innovación tecnológica continua así como actividades de internacionalización de la oferta.

3.2. DEBILIDADES

Los aspectos considerados para establecer las debilidades del sector se centran en el ciclo económico, el tamaño de las em-

presas, el mercado y su peso en la economía, la desagregación o subcontratación, la calidad del producto, la formación y cualificación, los instrumentos financieros y la legislación.

Estas son las debilidades del sector:

- Sector muy sensible al devenir de los ciclos económicos y demanda de construcción.
- Dependencia excesiva del mercado nacional y la irregularidad en el tiempo del mercado de la construcción.
- El reducido tamaño de algunas empresas impide el desarrollo de estrategias empresariales de tipo económico y tecnológico.
- Escasa subcontratación y externalización.
- Alta rotación en el empleo y bajo nivel de formación con escasez de profesionales de alta cualificación.
- La mentalidad conservadora frente a los cambios tecnológicos.
- Desconocimiento de toda la legislación aplicable.
- Escasa implantación de estructuras de I+D+i en la empresa.
- El mercado tiene una baja percepción de la calidad del producto español frente a fabricantes consolidados.
- La notoriedad de las marcas españolas en los mercados exteriores es baja.
- Dificultad de acceso a instrumentos financieros a la exportación.
- Poca utilización de políticas de comunicación y retroalimentación del cliente.

DEBILIDADES

- Ciclo económico
- Tamaño de las empresas
- Mercado
- Subcontratación
- Calidad del producto
- Instrumentos financieros
- Legislación



3.3. AMENAZAS

Los aspectos considerados para establecer las amenazas del sector se caracterizan por la legislación medioambiental y de seguridad y salud, la aparición de los países emergentes, el coste de materias primas y la sustitución de técnicas y materiales.

Estas son las amenazas del sector:

- Endurecimiento legislación medioambiental y de seguridad y salud.
- Competencia de países emergentes.
- Reducción fondos europeos para España.
- Mayor penetración de multinacionales en países emergentes.
- Incremento del coste de materias primas como el petróleo, acero, caucho,...
- Incremento de costes financieros.
- Sustitución de técnicas y materiales de construcción, así como de metodologías de trabajo.

AMENAZAS

- Legislación
- Países emergentes
- Coste materias primas
- Sustitución de técnicas y materiales



3.4. FORTALEZAS

Los aspectos considerados para establecer las amenazas del sector se identifican por el buen funcionamiento de la economía, el uso generalizado de las tecnologías de la información y la comunicación, la relación calidad/precio, los procesos de especialización y la imagen del sector.

Estas son las fortalezas del sector:

- Buena situación económica de las empresas debido a un ciclo favorable.
- Sector dinámico, emprendedor y flexible.
- La incorporación de nuevas tecnologías y nuevos materiales están provocando un aumento de la calidad de los productos.
- Excelente relación calidad/precio y con más adaptabilidad frente a las exigencias de los clientes.
- Cumplimiento de los estándares europeos que garantiza mayor seguridad y sostenibilidad.
- Origen y desarrollo en uno de los principales mercados europeos en cuanto a volumen y exigencia.
- La implantación de las grandes constructoras españolas a nivel internacional, mejora la imagen del sector, siendo referente en edificación y obra civil.

- Buena imagen internacional de España.
- Procesos de especialización de las empresas hacia su habilidad principal.

FORTALEZAS

- Economía
- Relación calidad/precio
- Procesos de especialización
- TICs
- Imagen del sector



3.5. OPORTUNIDADES

Para este apartado se han tenido en cuenta la importancia del Asociacionismo y cooperación empresarial, el auge experimentado por las labores de demolición, reciclado y rehabilitación, la formación y cualificación del personal, la legislación medioambiental y de seguridad y salud, la apertura a nuevos mercados y el uso generalizado de las tecnologías de la información y la comunicación.

Estas son las oportunidades del sector:

- Aumento de la demanda de equipos de demolición, reciclado y rehabilitación.
- Utilización del asociacionismo y búsqueda de herramientas de apoyo institucional.
- Colaboración entre empresas, centros tecnológicos y universidad.
- Cooperación empresarial.
- Estabilidad de las inversiones tanto publicas como de capital privado en Obra Civil y Edificación.
- Búsqueda de la fidelización del cliente.
- Aumento de las ayudas para I+D+i.
- Nuevos métodos en el ámbito de la formación.
- Cumplimiento de la legislación medioambiental y de seguridad y salud en el sector cliente.
- Aparición de nuevos mercados.
- Potencial de innovación tanto en procesos como en productos.
- Uso de las TIC en el ciclo de vida del producto.

OPORTUNIDADES

- Asociacionismo y cooperación empresarial
- Demolición, reciclado y rehabilitación
- Formación
- Legislación
- Nuevos mercados
- TICs



4. Estudio prospectivo

4.1. OBJETIVOS

El estudio de tendencias tecnológicas tiene como objetivo principal identificar y valorar las tendencias a medio y largo plazo, dentro del ámbito de la fabricación de maquinaria de obras públicas, construcción y minería, con el fin de aproximarnos al conocimiento del futuro de la misma, lo que es equivalente a planearnos el conocimiento del futuro de las empresas, ya que ambos conceptos están unidos.

En concreto, el estudio aborda las siguientes cuestiones:

- Identificar las tendencias en relación con la fabricación de maquinaria de obra pública y construcción en los próximos quince años.
- Analizar el impacto de la demanda futura sobre los elementos que configuran el concepto integral de la fabricación de maquinaria de obra pública y construcción .
- Identificar las necesidades de innovación y tecnologías críticas relacionadas.
- Detectar estrategias de futuro.

4.2. FACTORES IMPULSORES DE LA INNOVACIÓN EN EL SECTOR

Las principales fuerzas impulsoras que están generando cambios importantes en el sector de la fabricación de maquinaria de obras públicas, construcción y minería son las siguientes:

4.2.1. NUEVOS MODELOS EMPRESARIALES

La globalización está creciendo de forma exponencial y, como consecuencia, se incrementa en igual medida la deslocalización de actividades empresariales a lo largo y ancho del mundo.

La búsqueda de la rentabilidad en un mercado global cada vez más competitivo, fuerza en la empresa a un importante cambio en el modelo de negocio.

El cambio de modelo está basado en los siguientes aspectos clave: Orientación al cliente, orientación a la marca en un mercado global, asociación con otras empresas, *Outsourcing* en todas las modalidades y formación de redes electrónicas interempresariales.

Que la empresa se oriente al cliente quiere decir que el foco deja de estar puesto en la producción y se busca dar al cliente lo que éste quiere. Es decir gana el diseño y el servicio a la producción. El diseño, en algunas empresas, pasa a ser *core*, cuando la producción puede realizarla una empresa subcontratista mediante *outsourcing*.

La tendencia tecnológica muestra que podrán diferenciarse dos modelos diferentes de empresas, el orientado a la marca y el diseño y el orientado a producto. Ambos son complementarios.

El primero, está definido por una empresa propietaria de marca, capaz de diseñar un producto, que confía la fabricación del mismo a otras empresas de su red y que lo comercializa en un mercado global. El ejemplo es la empresa matriz que dispone elementos productivos de otras empresas que le suministran componentes, que la empresa ensambla.

Los fabricantes de componentes pertenecen al segundo modelo de empresas orientadas a producto, que producen componentes, que suministran a la empresa propietaria de marca. Todas juntas forman la red de suministro de la empresa de marca.

La posición competitiva de una compañía, no sólo depende de sus actuaciones individuales sino que depende en cierta medida de la eficiencia y la eficacia de la red en la que está integrada. Es decir, maximizar los objetivos y las ventajas competitivas individuales, implica también maximizar los objetivos y las ventajas competitivas de la red.

La globalización y deslocalización es una tendencia que se registra en todos los sectores de producción. Esta lógica nueva requiere el control de distribución de inversiones entre un gran número de países con leyes, culturas y niveles de desarrollo económico diferentes. La creciente integración de mercados obliga a los operadores a disponer de una red internacional que permita situar los productos de sus clientes en el lugar del mundo que le especifiquen sus clientes.

La liberalización de los mercados y los avances en infraestructuras físicas y tecnológicas, entre otros factores, están permitiendo que cada vez más empresas se globalicen o al menos internacionalicen parte de su actividad. Algunas de las motivaciones por las que este salto se produce están relacionadas con:

- Mercado: Crecimiento, demandas de clientes transnacionales, oportunidades en otros mercados,...
- Competencia: Respuesta ante competidores, necesidad de tamaño crítico para competir,...
- Aprovechamiento de economías de escala
- Localización óptima de actividades o disponibilidad de recursos

A su vez esta deslocalización de actividades, se traduce en deslocalización de la riqueza de los países a través de las empresas. La preparación de los países para la pugna por atraer una parte de ella, se puede medir en términos de la competitividad y productividad de la economía nacional. Además de las políticas macroeconómicas, algunos factores determinantes de estos indicadores son la calidad y cobertura de las infraestructuras tecnológicas y logísticas. La innovación en dichas infraestructuras otorga al país un plus de diferenciación respecto al resto de competidores.

Por todo ello, la globalización tiene una clara relación con el incremento de la competencia internacional y los cambios en los mercados. Esta competencia ha provocado que se compita en:

- Calidad del servicio
- Nuevos servicios de valor añadido.

La globalización es a la vez una oportunidad y una amenaza. Porque permite a las empresas abordar nuevos mercados y porque los mercados locales se ven cada vez más amenazados por los nuevos entrantes.

La sobreoferta de casi cualquier tipo de producto en los mercados de los países desarrollados está provocando desde hace tiempo que la orientación al mercado se convierta en un referente estratégico de primera magnitud para multitud de compañías. La sofisticación de las necesidades del cliente, hace que en determinados mercados se busque la diferenciación de la empresa en aspectos poco relacionados con las características físicas del producto, y sí más cercanas al proceso de compra, de consumo o utilización, y postventa. Es decir, los servicios que acompañan al producto a lo largo de su vida y el modo en que se prestan (concepto de "producto ampliado") pesan en las preferencias del consumidor.

4.2.2. SEGURIDAD Y SALUD

El sector de la construcción registra uno de los peores niveles en materia de salud y seguridad en el trabajo en la Unión Europea.

La industria de la construcción ha sido considerada tradicionalmente como una actividad peligrosa, debido a la alta incidencia de los accidentes de trabajo y, particularmente, de los accidentes de trabajo mortales.

Tradicionalmente, los programas de seguridad y salud en el trabajo de construcción han puesto el énfasis en el ámbito de la seguridad, es decir en la prevención de los accidentes. Lo cual se explica por la visibilidad inmediata de los accidentes (lesiones, y daños materiales) en comparación con las enfermedades cuyas consecuencias tardan tiempo en aparecer. El problema es que la salud de los trabajadores puede verse afectada muchos años después de haber estado expuestos a un determinado

agente o contaminante en la obra, por lo que la información estadística referente a enfermedades profesionales, especialmente en una fuerza laboral tan móvil y eventual como es la de la construcción, es difícil de obtener.

La relevancia del tema de la seguridad y salud en el trabajo de construcción no sólo hay que buscarla en el hecho de ser ésta una de las actividades con mayores tasas de siniestralidad; sino que también viene dada por el hecho de que la prevención de los accidentes de trabajo en las obras exige de una gran especificidad, tanto por la naturaleza particular de los riesgos del trabajo de construcción, como por el carácter temporal de los centros de trabajo (las obras) del sector.

La naturaleza particular del trabajo de construcción conlleva una serie de riesgos específicos del sector como son, por ejemplo, el trabajo en altura (utilización de andamios, pasarelas y escaleras de obra; trabajo en cubiertas de materiales frágiles;...); el trabajo de excavación (utilización de explosivos, máquinas de movimiento de tierra, desprendimientos de materiales, caídas en la excavación,...); y el izado de materiales (utilización de grúas, montacargas de obra,...). Pero lo que verdaderamente determina la especificidad de la seguridad y salud en el trabajo de construcción es el carácter temporal de sus centros de trabajo.

La temporalidad de los trabajos de construcción implica la "provisionalidad" de las instalaciones de higiene y bienestar (servicios higiénicos, aseos, comedores, vestuarios, agua potable); de las instalaciones y servicios de producción (iluminación, electricidad, montacargas,...); de las protecciones colectivas (entibados, barandillas, andamios, redes de protección); y de la señalización de seguridad en obra. Este cambio continuo de centro de trabajo, exige que el sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo en la construcción, sea diferente del que se aplica en otros sectores, y en el cual la planificación, la coordinación y el presupuesto de la prevención de las obras adquiere una enorme significación.

Dos de los retos a los que la industria de construcción se enfrenta son la reducción de la siniestralidad del sector así como mejorar los niveles de formación que presenta parte del personal de las obras.

Para ello se deben mejorar la salud laboral y seguridad de las obras y resultaría necesario intensificar la conciencia de seguridad a lo largo de todo el proceso de construcción: diseño, fabricación, operaciones de construcción y mantenimiento. Los conceptos de seguridad deberían ser vistos como parte normal del proceso de diseño.

Otro factor importante es la mejora en la formación y capacitación del personal de obra. Para ello se debería integrar educación, conocimiento y aprendizaje a través de todo el proceso de construcción, desde la fase de diseño hasta el mantenimiento. Invertir en formación y entrenamiento, gestión del conocimiento y el bienestar de las personas redundan en mejorar la rentabilidad, reducir la siniestralidad, motivar a los trabajadores y mejorar la imagen del sector. Por último, otro aspecto importante a considerar es la seguridad de las personas durante el uso de las infraestructuras. Entre las diferentes tecnologías relevantes de esta tendencia se citan las siguientes, ordenadas en función de la importancia otorgada por los expertos:

- Desarrollo y normalización de los sistemas constructivos atendiendo a criterios de prevención de riesgos laborales.
- Desarrollo de modelos que estudien el comportamiento de las personas en situaciones bajo condiciones extremas (accidentes, fuego en túnel, inundaciones, etc.)
- Diseño de sistemas de formación y aprendizaje sencillos y ágiles para el personal de obra no cualificado.
- Nuevos sistemas avanzados de formación en operación y seguridad para el personal de obra: simuladores, teleformación, etc.
- Nuevos modelos de diseño de maquinaria y equipos que incorporen criterios de ergonomía.
- Desarrollo e implantación de un modelo de certificación para los sistemas de prevención de riesgos laborales.

La tasa de incidencia de accidentes que no sean mortales en la construcción es casi el doble que la media de los demás sectores.

La actividad de construcción está muy regulada con revisiones y actualizaciones periódicas de lo regulado. Es ese esfuerzo regulador un índice del esfuerzo innovador, toda vez que lo que pretende es la mejora de calidades y prestaciones finales; es

desde luego, un esfuerzo colectivo que no se concentra en ninguna empresa particular.

Todas las actuaciones relacionadas con la regulación que necesariamente habrá que poner a punto van a favorecer la innovación, especialmente la investigación prenormativa seguida de los correspondientes desarrollos tecnológicos en las empresas para su cumplimiento. En cualquier caso, la normativa debe establecerse de modo que no impida ni coarte la innovación.

Las últimas tendencias en la fabricación de maquinaria para construcción se orientan hacia máquinas cada vez más potentes, más automatizadas, más sensorizadas e inteligentes y más ergonómicas.

4.2.3. SOSTENIBILIDAD

El medio ambiente, la salud y la seguridad, así como sus regulaciones respectivas son las principales preocupaciones con las que se enfrenta la industria en el futuro. El interés por el impacto medioambiental irá más allá del reciclado de componentes. Tanto el material como el diseño se verán afectados por conceptos de reciclabilidad.

La creciente preocupación por los aspectos medioambientales está provocando una mayor tendencia hacia la adopción de tecnologías no contaminantes en el entorno laboral, lo que supone buscar alternativas en aquellos procesos ya instalados que resultan perjudiciales medioambientalmente, por lo que conviene ir actualizando los sistemas productivos a las nuevas exigencias.

Por otro lado, el uso de recursos de material y energía limitados son problemas con una importancia creciente que potencian el reciclado de fluidos contaminantes y componentes, y el ahorro de energía.

Desdibujado por el uso mercantilista de que ha sido objeto, en los últimos tiempos el término "sostenible" ha dejado de ser un mero concepto de moda para formar parte del vocabulario de todos los agentes económicos. En el caso de la construcción, esta conversión ha ido más allá y comienza a formar parte de la jerga normativa y legislativa de la agenda política.

La aplicación de nuevas normativas como el Código Técnico de la Edificación (CTE) o el Decreto de Ecoeficiencia en el caso catalán, pone de manifiesto la preocupación por adoptar métodos constructivos más sostenibles, tanto a nivel medioambiental como económicamente.

El elevado coste energético y la cada vez más limitada capacidad para extraer recursos naturales obligan a adoptar nuevos hábitos de trabajo que propicien un consumo más eficiente y, por tanto, "sostenible".

Todos los sectores profesionales relacionados con la construcción y la edificación repiten sin descanso el discurso sobre la necesidad imperiosa de adoptar métodos constructivos más sostenibles que garanticen un consumo eficiente de energía y de recursos no tan sólo durante la proyección de edificio sino también durante su vida útil y su posterior derribo.

La actitud extremadamente comprometida que todos los profesionales del ramo muestran en público contrasta con la ausencia destacada de acciones concretas que se materialicen a pie de obra. Proyectistas, promotores y constructores siguen sin aplicar, en su gran mayoría, los criterios básicos de sostenibilidad fijados por las Administraciones Públicas, de tal forma que aquellas promociones de viviendas con criterios bioclimáticos conservan todavía un carácter anecdótico.

Sea una palabra de moda o no, lo cierto es que la sostenibilidad se ha convertido en un asunto ineludible en la agenda de todos los profesionales relacionados con la construcción, ya sea por voluntad propia -que sería lo deseable-, o por imposición legislativa.

El término "sostenible" se ha convertido con el paso de los años en un concepto de valor añadido que sirve, en muchos casos, como reclamo publicitario y comercial. Sin embargo, y a pesar del uso desvirtuado que se hace de este término, la aplicación real de criterios sostenibles en el sector brilla por su ausencia.

Son muchos los motivos que explicarían por qué no han "cuajado" de forma más generalizada las prácticas sostenibles en la construcción. Sin duda, el factor económico juega un importante

papel en este fenómeno, un factor que el vacío legislativo existente hasta la fecha ha contribuido a favorecer.

La obligatoriedad de incorporar elementos bioclimáticos y sistemas constructivos más sostenibles debería implicar un cambio de tendencia en el mercado de la construcción, con la incorporación de hábitos y técnicas más respetuosas con el medio ambiente y que garantizarán la sostenibilidad del proyecto arquitectónico a lo largo de toda su vida útil.

La conciencia social y la preocupación por el desarrollo sostenible están jugando un papel destacado en la definición de las líneas de futuro. La repercusión más tangible la constituyen las directivas, leyes y regulaciones de los gobiernos y administraciones, y aquellos códigos que auto-elaboran las empresas en materia de responsabilidad social y protección medioambiental.

Existe otro grupo de reglamentaciones que favorecen o imponen el reciclaje en determinados sectores industriales. Este hecho que podría suponer una amenaza, también es una oportunidad considerable para el desarrollo, despliegue e innovación en las actividades del sector.

La nueva normativa está encaminada también a fomentar que las empresas apuesten por un eco-diseño que les permita reciclar mejor y más fácilmente sus productos a la vez que aprovechar mejor sus residuos.

Actualmente, el mercado de los reciclados está bastante subdesarrollado, pero los procesos y nuevos productos finales obtenidos tienen necesidad de alcanzar beneficios a medio plazo. Para ello, la valorización debe ser económicamente válida, y la calidad del material recuperado debe ser tal que permita aprovechar plenamente las oportunidades del mercado. El precio de las materias primas, la impredecible calidad e insuficiente producción continua, el desequilibrio entre la cantidad de residuos disponibles y la demanda de productos hechos con los mismos, son los factores que impiden el desarrollo de esta industria.

En vista de los problemas ambientales y de salud de los operarios se potenciará más la eliminación del uso de los fluidos con-

taminantes. Se prevé una tendencia a cambiar las propiedades de los lubricantes, reduciendo la cantidad necesaria a utilizar y el grado de contaminación de éstos, motivada por los costes de los fluidos a los que hay que añadir el coste de la recogida y tratamiento. Métodos como el mecanizado en seco, el mecanizado asistido con mínima cantidad de lubricante (MQL), así como el empleo de bases lubricantes biodegradables y no tóxicas se han convertido en tema prioritario de investigación en aquellos países de la UE donde los costes de gestión de los residuos encarecen notoriamente los procesos de fabricación con fluidos convencionales.

4.2.4. PROCESOS, TÉCNICAS Y MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Los grandes procesos de urbanización que han configurado la realidad actual de una gran parte del patrimonio edificado de nuestro país han generado unos entornos edificados que dan satisfacción razonable a las necesidades básicas de la mayoría de la población española. Sin embargo, la gran cantidad de nueva edificación construida en los últimos años y en décadas anteriores no siempre ha alcanzado unos parámetros de calidad adaptados a las nuevas demandas de los ciudadanos. Efectivamente, la sociedad española, como ocurre en los países de nuestro entorno, demanda cada vez más calidad en los edificios y en los espacios urbanos.

Esta demanda de una mayor calidad de la edificación responde a una concepción más exigente de lo que implica la calidad de vida para todos los ciudadanos en lo referente al uso del medio construido. Responde también a una nueva exigencia de sostenibilidad de los procesos edificatorios y urbanizadores, en su triple dimensión ambiental, social y económica.

El proceso de la edificación, por su directa incidencia en la configuración de los espacios habitados, implica un compromiso de funcionalidad, economía, armonía y equilibrio medioambiental, de evidente relevancia desde el punto de vista del interés general y, por tanto, de las políticas del Gobierno. El sector de la edificación es además uno de los principales sectores económicos con importantes repercusiones en el conjunto de la sociedad y en los valores culturales y medioambientales que entraña el patrimonio arquitectónico.

Con los objetivos de mejorar la calidad de la edificación, y de promover la innovación y la sostenibilidad, se publicó en marzo de 2006 el Nuevo Código de la Edificación, que fija las exigencias básicas de calidad de los edificios y sus instalaciones.

A través de esta normativa se da satisfacción a ciertos requisitos básicos de la edificación relacionados con la seguridad y el bienestar de las personas, que se refieren, tanto a la seguridad estructural y de protección contra incendios, como a la salubridad, la protección contra el ruido, el ahorro energético o la accesibilidad para personas con movilidad reducida.

Los últimos años han mostrado un rápido y vigoroso desarrollo de la prefabricación en hormigón. Esto ha supuesto una mejor comprensión del comportamiento sísmico de las estructuras prefabricadas y de las estructuras de hormigón en general.

En un futuro las conexiones serán capaces de reunir lo mejor del hormigón armado y de la prefabricación para obtener diseños más económicos, rápidos y eficientes.

El uso de estructuras prefabricadas aumentará sistemáticamente, en especial en sistemas de pisos, en marcos y muros sismoresistentes.

Tendrá un papel importante la forma en que se diseñan las edificaciones, se fabrican y se montan, la velocidad de construcción, y la calidad de terminación de los elementos prefabricados.

Dentro de los elementos conceptuales que han ayudado a abordar de una manera más racional el diseño de estructuras prefabricadas en los últimos años está el diseño por capacidad, que ha sido fundamental para distribuir de una manera coherente resistencia y ductilidad dentro de la estructura. Factores que en el caso de una estructura formada por piezas ensambladas, como son las estructuras prefabricadas, resultan imprescindibles para asignar roles claros a las uniones y a los elementos en el sistema estructural.

Se ha avanzado en el diseño de estructuras prefabricadas, por un lado por la superación de una estructura de hormigón armado tradicional mediante conexiones dúctiles o fuertes y la utilización

de conexiones con características de resistencia y deformación especiales no comparables a las del hormigón armado.

Las posibilidades que ofrece la prefabricación en hormigón para aumentar en forma importante los rendimientos y la calidad de ejecución de una obra, junto a una reducción de costos, permitirán un desarrollo más fuerte de la prefabricación en nuestro país, no sólo en estructuras industriales sino también en otros tipos de estructuras que tradicionalmente se han construido con otros materiales.

La prefabricación abierta, es decir, la producción de elementos que pueden utilizarse en múltiples proyectos, combinándose con estructuras en sitio o con prefabricados hechos en obra es una tendencia interesante.

La construcción industrializada o en seco representa un sector en desarrollo dentro de la industria de la construcción.

La denominada 'Construcción Industrializada' presenta simplicidad en el montaje, métodos sencillos de transporte, menor tiempo de ejecución, lo que redundará en un ahorro de los costos, además del ahorro en energía y mantenimiento.

Últimamente se detecta la incorporación al mercado de nuevos materiales de construcción cuya particularidad es su montaje o colocación por ensamble o fijación 'en seco', claramente diferenciado del método de ejecución de muros y/u otros elementos en la construcción tradicional, que requiere agua para la hidratación de sus aglomerantes.

En poco tiempo se han sumado nuevos materiales, de mayor aislamiento térmico y acústico, se busca la rapidez en la construcción, materiales prefabricados, reutilizables, reducción de costos, aplicación de nueva tecnología, domótica, lo que significa construcción industrializada y racionalizada.

Desde hace unos años, las empresas más innovadoras han apostado por el empleo de aditivos de última generación para la fabricación de hormigones convencionales. Puede parecer, cuando menos, una paradoja que se empleen aditivos de elevada tecnología y coste para un tipo de hormigón en cuyo mer-

cado impera el precio por encima de todo; sin embargo, es precisamente esta razón la que ha permitido su introducción.

Los aditivos superplastificantes permiten optimizar el consumo de cemento manteniendo inalterados ó mejorados parámetros tales como la relación a/c, fundamentales para asegurar la durabilidad del hormigón.

No obstante, la introducción de estos aditivos requiere de unos procedimientos que deben ser seguidos, para evitar ó paliar algunos de sus inconvenientes.

Cuando se habla de optimizar el consumo de cemento, parece que lo que se oculta detrás es quitar cemento de la formulación. Pero esta acepción implica algo más que eso. La utilización de un exceso de cemento en las formulaciones no es beneficioso para el hormigón. De hecho, en los hormigones de alta resistencia, los principales problemas que encontraremos en su elaboración, vienen marcados precisamente por el elevado contenido en cemento. Los controles en cuanto a su fabricación, curado, retracciones etc., son mucho más rigurosos.

Aunque el uso de aditivos químicos en los hormigones se remonta al siglo pasado, en los últimos años la industria de los aditivos químicos para hormigón ha seguido desarrollando nuevos productos e introduciéndolos en el mercado nacional tales como: inhibidores de corrosión, reductores de retracción y aditivos reductores de agua de ultra alta eficiencia.

La tecnología de aditivos ha desarrollado productos que disminuyen el potencial de retracción en el hormigón y es recomendable en la estructura. Los aditivos mejoran las propiedades del hormigón, aspecto que resulta conveniente tanto desde el punto de vista técnico como económico. Su uso está destinado a producir hormigones que se puedan trabajar mejor, de excelente terminación, resistentes, durables e impermeables.

Los materiales estructurales clásicos, como el cemento o el acero de construcción, se perciben como algo poco avanzado a nivel tecnológico, pero la investigación que se desarrolla al respecto ha de encontrar soluciones avanzadas a las necesidades

que requiere la sociedad del siglo XXI de los nuevos materiales. Ahora ya no basta con que un material resista un peso o una carga determinada, sino que además ha de mejorar su resistencia a las altas temperaturas, a la corrosión, la degradación ó al desgaste, por ejemplo.

Uno de los sectores productivos que influyen en el PIB es el de la construcción, con lo cual es necesario involucrar al sistema de I+D en el desarrollo de nuevos materiales basados en el cemento.

La tendencia en la investigación en materiales compuestos derivará en:

- Desarrollo de materiales compuestos con propiedades específicas para un mejor comportamiento mecánico y resistencia al impacto mecánico o térmico. Desarrollo de fibras de bajo coste.
- Desarrollo de métodos originales de producción o transformación de fibras cerámicas susceptibles de uso técnico como refuerzo de compuestos de matriz cerámica, metálica o compuestos polímeros.
- Desarrollo de técnicas avanzadas de unión: metal-material compuesto y materiales compuestos entre sí.
- Desarrollo de materiales avanzados con base cemento.
- Materiales de aplicación textil y otros materiales naturales.
- Modelización numérica del comportamiento en servicio de materiales compuestos y de su proceso de fabricación.

Los procesos constructivos mejorarán mediante nuevas técnicas y sistemas antisísmicos para estructuras, nuevas técnicas de voladuras, procesos constructivos para excavaciones de túneles en suelos blandos, soldadura de altos espesores de aceros de alto límite elástico y sistemas de ventilación y aire acondicionado en atmósferas degradadas.

Se reducirá el impacto mediante nuevas tecnologías de fabricación del cemento y de emulsiones asfálticas.

El reciclado y valorización de materiales llevará a que se realicen estudios de valorización de materiales reciclables en los productos, se caractericen y desarrollen materiales considerados hasta ahora como inadecuados, y de uso no convencional.

Se valorizarán subproductos de otros sectores utilizándolos como materiales de construcción de carreteras y se aprovecharán subproductos para la construcción de pavimentos, a la vez que se impondrán sistemas y técnicas eco-eficientes para el mantenimiento y rehabilitación de carreteras y edificios.

Por último, la cultura del “házte lo tú mismo”, del bricolage tecnológico doméstico, esto es, tecnologías reducidas, de bajo coste y fácil manejo, parece reaccionar al control de las máquinas por parte de la industria.

El consumo de herramientas manuales del mercado español ha tenido una favorable evolución durante los últimos años, aunque con los fuertes altibajos derivados del diverso comportamiento de la industria en general. La posibilidad de que uno mismo desarrolle sus propios trabajos relacionados con la construcción a una escala de menor nivel ha abierto un inmenso campo de actividad en el siglo XXI a los fabricantes de maquinaria en general y de mayor tamaño en particular.

El desarrollo y generalización de tecnologías avanzadas de unión, ya sea mediante soldadura con láseres de alta potencia o mediante el uso de adhesivos estructurales de gran tenacidad, tendrán un gran crecimiento a corto plazo, sustituyendo a los habituales métodos de sujeción. Este desarrollo se verá favorecido por el aumento del uso de piezas de plástico en la industria de la automoción y la construcción. Además, en el sector metal-mecánico, se generalizará el uso del láser en procesos a escala industrial como herramienta industrial de soldadura y corte térmico. El objetivo fundamental es la automatización de estas operaciones de forma rápida, flexible y fiable.

Las tecnologías multimateriales (co-inyección, bi-inyección, deposición metálica, etc.) están experimentando una considerable expansión, debido a los numerosos beneficios y prestaciones que ofrecen. La implantación generalizada de estas tecnologías aporta un incremento importante de las posibilidades que nos ofrece el diseño y la transformación de productos, hace posible procesos y piezas impensables, y mucho más costosas desde el punto de vista convencional.

Los procesos de deposición metálica son técnicas de fabricación muy versátiles, extensamente utilizados en la industria aeroespacial

y operaciones industriales. En el futuro, estas tecnologías cada vez serán más utilizadas en operaciones de reparación y ajuste dimensional, evolucionando hacia la producción directa.

Las tecnologías de inyección multimaterial están experimentando una considerable expansión en el sector de los transformados plásticos, debido a los numerosos beneficios y prestaciones que ofrece frente a la inyección convencional.

La implantación generalizada de estas tecnologías aporta un incremento importante de las posibilidades que nos ofrece el diseño y la transformación de productos inyectados, hace posible procesos y piezas impensables y mucho más costosas desde el punto de vista de la inyección convencional: integración de múltiples componentes en una sola pieza y proceso, mejora del acabado superficial, obtención de piezas multicolor, etc.

A medida que los procesos automáticos se vayan haciendo más importantes, se espera que el coste de los compuestos avanzados baje, hasta el punto de que serán usados de forma extendida en aplicaciones estructurales. Una alternativa de futuro es el desarrollo de nuevas matrices de mejores prestaciones y procesos de transformación que permitan reforzar con fibras largas y con aumento considerable de las propiedades mecánicas a largo plazo. Los compuestos tridimensionales (3D) es otra de las áreas que presenta mayor potencial de crecimiento. Los próximos años serán fundamentales para ver si estos sistemas avanzados tienen un crecimiento efectivo. Todo depende de cómo sean adaptados a modos de producción en los que el coste, la calidad y la procesabilidad desempeñan un papel importante.

Los aceros llamados de nueva generación han sido creados y desarrollados bajo las necesidades de las empresas del ámbito de automoción, de piezas de chapa destinadas a aplicaciones que requieren mínimo peso y máxima resistencia.

El cambio de material, de los aceros convencionales a los de nueva generación, comporta un cambio muy significativo en el desarrollo del producto. Se ha de tener en cuenta que la prensa deberá ser de mayor tonelaje, los útiles de mayor dureza y que, tras el proceso de embutición, las recuperaciones elásticas de las piezas serán mucho mayores. En el caso de embutir estos

aceros se debe plantear un estudio completamente diferente a los realizados en el caso de tratarse de aceros convencionales.

La optimización del proceso de embutición, según las especificaciones de la pieza sobre la base del desarrollo y aplicación de nuevos materiales de creciente aplicación, como los Tailored Blanks y otros materiales, sobre todo en la industria de la automoción, se debe a una demanda de la disminución de peso del vehículo y un incremento de la protección (empleo de forma localizada de aceros de alta resistencia y espesores mayores). Estos procesos requieren mejorar la precisión en los espesores de chapa, para evitar problemas al embutir una chapa adaptada a la soldadura láser, junto con el desarrollo a escala industrial de esta tecnología y la posibilidad de cortar después de embutir.

Los últimos avances en recubrimientos permiten alargar la vida de piezas y utillajes, así como realizar geometrías de herramienta e insertos más agresivos, efectivos y altamente especializados, que reducen costes en la producción gracias a la innovación en el sustrato, el revestimiento, las geometrías y las tecnologías de producción. Se distinguen, como temas más relevantes, la generalización de los tratamientos de nitruración iónica a baja temperatura y bajo vacío, nuevas tecnologías de implantación bajo vacío y de deposición mediante procesos de PVD-CVD, así como el aumento progresivo de la proyección térmica como técnica de recubrimiento local. Entre los numerosos materiales y recubrimientos, los grados de carburo nanocristalino y los más recientes recubrimientos, como nanocompuestos, TiAlN y TiB₂, mediante técnicas por deposición en fase vapor PVD anuncian un futuro prometedor. Los recubrimientos duros mejoran hasta diez veces la vida de las herramientas y la aplicación de recubrimientos lubricantes, como MoS₂ y WC/C; sobre ellos posibilitará la transición al mecanizado en seco o a minimizar el uso de lubricantes. Su utilización es cada vez más extendida, pero existe poca capacidad de producción para asumir el gran mercado potencial en desarrollo.

La tecnología de transformación experimenta desarrollos importantes por la clara tendencia hacia el ahorro de material, por razones de coste de producción y por un intento de reducción de peso y productos desechables. Los desarrollos tecnológicos se encaminan a reducir el espesor de las paredes, conservando las

garantías mecánicas y de barrera que exige el mercado. La necesidad de inyección de piezas de paredes delgadas está provocando importantes avances en las máquinas de transformación, que buscan trabajar a gran velocidad, con alta capacidad de plastificación, buena homogeneidad térmica y de color, alta capacidad de inyección y dinámica.

Con los nuevos conceptos de fabricación, tanto las máquinas como los controles han de ser más flexibles y adaptables a configuraciones de fabricación distintas. Su utilización aportará considerables beneficios en términos de productividad, flexibilidad, fiabilidad y precisión a los fabricantes de máquinas y al usuario final, ya que permitirá la personalización y un mayor rendimiento de las máquinas, dando así a la empresa la posibilidad de implementar su sistema de programación específico a pie de máquina. Los terminales deberán ser abiertos y conectables a la red. Cualquier información será suministrada a través del terminal, como las instrucciones de trabajo. Ya que los procesos de trabajo cambiarán con frecuencia y vendrán directamente del usuario final, el operario podrá incluso redefinir el plan de producción y asumir nuevas responsabilidades acerca del mantenimiento y reparación. El aumento de la complejidad de las piezas fabricadas implicará un gran incremento en el uso de máquinas de cinco o más ejes.

Las máquinas combinadas llenan el vacío creado por la escasez de operarios y ayudan a los talleres a ser más productivos. Estas máquinas son capaces de trabajar con distintos materiales y la integración de distintos procesos. Cabe destacar que no todas las combinaciones son igual de fáciles. Adaptar dos procesos de elevada tecnología es muy complejo, por lo que la evolución pasa por el desarrollo de máquinas con tecnologías asistidas (láser, plasma, etc.) y máquinas de nueva concepción, basadas en elementos modulares, lo que permite abaratar su construcción. La flexibilidad de las técnicas de programación es un factor clave en el éxito de las máquinas combinadas. Además, se ha de tener en cuenta que la máquina siempre tendrá la precisión del peor de sus elementos, la estructura ha de ser capaz de aguantar todas las combinaciones. Como consecuencia, esto permite automáticamente prolongar la vida útil de las manufacturas y minimizar el flujo de residuos, mejorar instalaciones y tecnologías para asegurar la calidad medioambiental y el entorno de trabajo.

El grado de progreso tecnológico y el impacto de las tecnologías de la información en los sistemas de producción han provocado que el éxito y el crecimiento del sector dependan fundamentalmente de trabajadores más cualificados. El entorno global, competitivo y cambiante ha aumentado la complejidad de las máquinas y la tecnología es cada vez más dependiente de las personas. Todo ello ha conducido a la demanda creciente de trabajadores especializados, con un adecuado nivel de formación y capaces de adaptarse a las necesidades cambiantes del mercado. Los operarios deberán familiarizarse con entornos informáticos y tecnologías de programación específicas y alimentar las máquinas con sus conocimientos y experiencias prácticas. Las tecnologías clave asociadas a esta gran tendencia son el gran cambio que experimentarán las estrategias de formación y reclutamiento, de modo que faciliten la rápida asimilación del conocimiento.

4.2.5. TECNOLOGÍAS

El desarrollo e implantación de nuevas tecnologías en el sector de fabricación de maquinaria está relacionado con el aumento de la productividad y la competitividad de las industrias, junto con la creación de nuevas empresas. Esta modernización en los procesos productivos requiere la incorporación de personal especializado y reciclaje del actual.

La mayoría de las tecnologías apuestan por el uso de la informática como herramienta fundamental de trabajo, la especialización por parte de los diseñadores en cada una de las áreas y la obtención de un producto de máxima calidad a un coste razonable, junto con el uso de tecnologías limpias.

La estrategia de las empresas del sector construcción tiene que dirigirse hacia la investigación y el desarrollo de nuevos productos, nuevos procesos de fabricación, maquinaria innovadora, etc.

En la actualidad, la industria fabricante de maquinaria y bienes de equipo se encuentra en una fase de consolidación, y sus prioridades tecnológicas a corto plazo se basan en el criterio de máximo rendimiento de las máquinas exigido por los clientes. Las cada vez mayores exigencias de los clientes, quienes a su vez deben fabricar productos con mayores cotas de calidad y tecnología, hacen que este sector deba incrementar constantemente

sus esfuerzos en innovación para atender de forma conveniente esas demandas. Consecuentemente, la tecnología y el desarrollo de nuevas aplicaciones e innovaciones se convierten en factores clave del éxito en un sector caracterizado por altos niveles de competencia.

En este sentido, hay que señalar que, a corto plazo, la innovación en maquinaria y equipo técnico está orientada a la obtención de altos índices de productividad, ya sea en términos de velocidad, adecuada combinación de técnicas mecánicas, efectividad de las herramientas empleadas o la utilización de nuevos materiales. A más largo plazo, los objetivos prioritarios son el desarrollo de servicios altamente profesionalizados que aporten soluciones a los problemas planteados por los clientes y mejoren la calidad de los productos fabricados por la industria. El concepto clave es que no se venden máquinas, sino soluciones para fabricar piezas.

En este sentido, hay que remarcar el fuerte impacto que supondrá para esta industria la revolución de la sociedad de la información, que posibilitará la fabricación de útiles de producción más eficaces, flexibles, integrados con utillajes de diseño y con la cadena logística, capaces de afrontar rápidamente los cambios.

El futuro del servicio de atención al cliente en su faceta de mantenimiento de las máquinas, actualización de softwares y reparaciones se adivina ligado a la tecnología de la información que dominará el siglo XXI. Los paros de producción por mantenimiento o avería de las máquinas suponen un coste inadmisiblemente en términos de productividad. Así, la teleasistencia permite, no sólo reparar la máquina, en muchos casos desde las instalaciones del fabricante, sino también mantener un control automático y preventivo de los equipos.

Por otro lado, el futuro de las aplicaciones Human Machine Interface (HMI) en la industria de la automatización descansa en la idea de ser el puente entre el área de control y el área de la información. Ésta estará ampliamente disponible y llegará al operario a través de las pantallas de las interfaces hombre-máquina, permitiéndole aumentar el número de tareas complejas a realizar.

La sensorización de máquinas y utillajes, y los desarrollos en imágenes digitales permitirán la monitorización, diagnosis y control

total de la producción, así como el control del desgaste de la herramienta. Los avances esperados en visión artificial y algoritmos de decisión harán innecesaria la intervención humana, proporcionando la realimentación directa al proceso de producción. La incorporación de una mayor inteligencia operativa a máquinas y utillajes permitirá la optimización de procesos en tiempo real, ya que los parámetros son controlados en continuo y realimentan el proceso hasta alcanzar la calidad requerida, asegurando la repetibilidad con menor generación de trabajo estropeado.

Las disciplinas de ingeniería y sistemas basados en el conocimiento utilizan técnicas avanzadas de software para capturar y reutilizar el conocimiento del producto y del proceso de una manera integrada, facilitando las diferentes fases de especificación, diseño y fabricación.

El desarrollo de estos sistemas, aún incipientes, fruto de una correcta política de I+D, permitirá incrementar la eficiencia de los sistemas de producción.

Pero hay que tener en cuenta que, además de la reducción de tiempo y costes, estas herramientas están en sintonía con las nuevas tendencias de gestión del conocimiento. La base de la competitividad será la creatividad e innovación en todos los aspectos de la empresa industrial. La habilidad de la industria para afrontar este desafío pasará por el uso creativo de las tecnologías con las que se está familiarizado, aunque todavía son emergentes.

En respuesta, la industria ha desarrollado y mejorado numerosas tecnologías, incluyendo el desarrollo de tecnologías de proceso innovadoras que cambiarán el alcance y la escala de fabricar, como son las microtecnologías, la sinterización metálica, las técnicas avanzadas de unión para eliminar ensamblados y diversos procesos para la obtención de productos multimaterial. Por otro lado, la aparición en el mercado de nuevos materiales con nuevas propiedades y estructuras precisan de métodos avanzados para transformarlos o para conseguir la optimización de los existentes.

La capacidad para producir a escala comercial piezas y conjuntos micrométricos está encontrando acomodo, en el cada vez más amplio campo de la fabricación. Muchos productos avan-

zados e innovadores dependen de la existencia de las denominadas micromáquinas, que no lo son por su tamaño, sino por su capacidad para fabricar con tolerancias micrométricas y, en algunos casos, nanométricas. Esta realidad va acompañada, además, de una tendencia a la miniaturización. Un desafío clave es el desarrollo del equipamiento y la capacidad de procesado adecuado para producir micropiezas con la precisión necesaria en grandes series.

El desarrollo y generalización de tecnologías avanzadas de unión, ya sea mediante soldadura con láseres de alta potencia o mediante el uso de adhesivos estructurales de gran tenacidad, tendrán un gran crecimiento a corto plazo, sustituyendo a los habituales métodos de sujeción. Este desarrollo se verá favorecido por el aumento del uso de piezas de plástico en la industria de la automoción y la construcción. Además, en el sector metal-mecánico, se generalizará el uso del láser en procesos a escala industrial como herramienta industrial de soldadura y corte térmico. El objetivo fundamental es la automatización de estas operaciones de forma rápida, flexible y fiable.

Las tecnologías multimaterial (co-inyección, bi-inyección, deposición metálica, etc.) están experimentando una considerable expansión, debido a los numerosos beneficios y prestaciones que ofrecen. La implantación generalizada de estas tecnologías aporta un incremento importante de las posibilidades que nos ofrece el diseño y la transformación de productos, hace posible procesos y piezas impensables, y mucho más costosas desde el punto de vista convencional.

Los procesos de deposición metálica son técnicas de fabricación muy versátiles, extensamente utilizados en la industria aeroespacial y operaciones industriales. En el futuro, estas tecnologías cada vez serán más utilizadas en operaciones de reparación y ajuste dimensional, evolucionando hacia la producción directa.

Las tecnologías de inyección multimaterial están experimentando una considerable expansión en el sector de los transformados plásticos, debido a los numerosos beneficios y prestaciones que ofrece frente a la inyección convencional.

La implantación generalizada de estas tecnologías aporta un incremento importante de las posibilidades que nos ofrece el di-

seño y la transformación de productos inyectados, hace posible procesos y piezas impensables y mucho más costosas desde el punto de vista de la inyección convencional: integración de múltiples componentes en una sola pieza y proceso, mejora del acabado superficial, obtención de piezas multicolor, etc.

A medida que los procesos automáticos se vayan haciendo más importantes, se espera que el coste de los compuestos avanzados baje, hasta el punto de que serán usados de forma extendida en aplicaciones estructurales. Una alternativa de futuro es el desarrollo de nuevas matrices de mejores prestaciones y procesos de transformación que permitan reforzar con fibras largas y con aumento considerable de las propiedades mecánicas a largo plazo. Los compuestos tridimensionales (3D) es otra de las áreas que presenta mayor potencial de crecimiento. Los próximos años serán fundamentales para ver si estos sistemas avanzados tienen un crecimiento efectivo. Todo depende de cómo sean adaptados a modos de producción en los que el coste, la calidad y la procesabilidad desempeñan un papel importante.

Los aceros llamados de nueva generación han sido creados y desarrollados bajo las necesidades de las empresas del ámbito de automoción, de piezas de chapa destinadas a aplicaciones que requieren mínimo peso y máxima resistencia.

El cambio de material, de los aceros convencionales a los de nueva generación, comporta un cambio muy significativo en el desarrollo del producto. Se ha de tener en cuenta que la prensa deberá ser de mayor tonelaje, los útiles de mayor dureza y que, tras el proceso de embutición, las recuperaciones elásticas de las piezas serán mucho mayores. En el caso de embutir estos aceros se debe plantear un estudio completamente diferente a los realizados en el caso de tratarse de aceros convencionales.

La optimización del proceso de embutición, según las especificaciones de la pieza sobre la base del desarrollo y aplicación de nuevos materiales de creciente aplicación, como los Tailored Blanks y otros materiales, sobre todo en la industria de la automoción, se debe a una demanda de la disminución de peso del vehículo y un incremento de la protección (empleo de forma localizada de aceros de alta resistencia y espesores mayores). Estos procesos requieren mejorar la precisión en los es-

pesores de chapa, para evitar problemas al embutir una chapa adaptada a la soldadura láser, junto con el desarrollo a escala industrial de esta tecnología y la posibilidad de cortar después de embutir.

Los últimos avances en recubrimientos permiten alargar la vida de piezas y utillajes, así como realizar geometrías de herramienta e insertos más agresivos, efectivos y altamente especializados, que reducen costes en la producción gracias a la innovación en el sustrato, el revestimiento, las geometrías y las tecnologías de producción. Se distinguen, como temas más relevantes, la generalización de los tratamientos de nitración iónica a baja temperatura y bajo vacío, nuevas tecnologías de implantación bajo vacío y de deposición mediante procesos de PVD-CVD, así como el aumento progresivo de la proyección térmica como técnica de recubrimiento local. Entre los numerosos materiales y recubrimientos, los grados de carburo nanocristalino y los más recientes recubrimientos, como nanocompuestos, TiAlN y TiB₂, mediante técnicas por deposición en fase vapor PVD anuncian un futuro prometedor. Los recubrimientos duros mejoran hasta diez veces la vida de las herramientas y la aplicación de recubrimientos lubricantes, como MoS₂ y WC/C; sobre ellos posibilitará la transición al mecanizado en seco o a minimizar el uso de lubricantes. Su utilización es cada vez más extendida, pero existe poca capacidad de producción para asumir el gran mercado potencial en desarrollo.

La tecnología de transformación experimenta desarrollos importantes por la clara tendencia hacia el ahorro de material, por razones de coste de producción y por un intento de reducción de peso y productos desechables. Los desarrollos tecnológicos se encaminan a reducir el espesor de las paredes, conservando las garantías mecánicas y de barrera que exige el mercado. La necesidad de inyección de piezas de paredes delgadas está provocando importantes avances en las máquinas de transformación, que buscan trabajar a gran velocidad, con alta capacidad de plastificación, buena homogeneidad térmica y de color, alta capacidad de inyección y dinámica.

Con los nuevos conceptos de fabricación, tanto las máquinas como los controles han de ser más flexibles y adaptables a configuraciones de fabricación distintas. Su utilización aportará

considerables beneficios en términos de productividad, flexibilidad, fiabilidad y precisión a los fabricantes de máquinas y al usuario final, ya que permitirá la personalización y un mayor rendimiento de las máquinas, dando así a la empresa la posibilidad de implementar su sistema de programación específico a pie de máquina. Los terminales deberán ser abiertos y conectables a la red. Cualquier información será suministrada a través del terminal, como las instrucciones de trabajo. Ya que los procesos de trabajo cambiarán con frecuencia y vendrán directamente del usuario final, el operario podrá incluso redefinir el plan de producción y asumir nuevas responsabilidades acerca del mantenimiento y reparación. El aumento de la complejidad de las piezas fabricadas implicará un gran incremento en el uso de máquinas de cinco o más ejes.

Las máquinas combinadas llenan el vacío creado por la escasez de operarios y ayudan a los talleres a ser más productivos. Estas máquinas son capaces de trabajar con distintos materiales y la integración de distintos procesos. Cabe destacar que no todas las combinaciones son igual de fáciles. Adaptar dos procesos de elevada tecnología es muy complejo, por lo que la evolución pasa por el desarrollo de máquinas con tecnologías asistidas (láser, plasma, etc.) y máquinas de nueva concepción, basadas en elementos modulares, lo que permite abaratar su construcción. La flexibilidad de las técnicas de programación es un factor clave en el éxito de las máquinas combinadas. Además, se ha de tener en cuenta que la máquina siempre tendrá la precisión del peor de sus elementos, la estructura ha de ser capaz de aguantar todas las combinaciones. Como consecuencia, esto permite automáticamente prolongar la vida útil de las manufacturas y minimizar el flujo de residuos, mejorar instalaciones y tecnologías para asegurar la calidad medioambiental y el entorno de trabajo.

El grado de progreso tecnológico y el impacto de las tecnologías de la información en los sistemas de producción han provocado que el éxito y el crecimiento del sector dependan fundamentalmente de trabajadores más cualificados. El entorno global, competitivo y cambiante ha aumentado la complejidad de las máquinas y la tecnología es cada vez más dependiente de las personas. Todo ello ha conducido a la demanda creciente de trabajadores especializados, con un adecuado nivel de formación y capaces de adaptarse a las necesidades cambiantes

del mercado. Los operarios deberán familiarizarse con entornos informáticos y tecnologías de programación específicas y alimentar las máquinas con sus conocimientos y experiencias prácticas. Las tecnologías clave asociadas a esta gran tendencia son el gran cambio que experimentarán las estrategias de formación y reclutamiento, de modo que faciliten la rápida asimilación del conocimiento.

4.3. METODOLOGÍA

En la siguiente figura se muestra de forma gráfica el procedimiento seguido en cualquier estudio de tendencias tecnológicas.

La metodología utilizada es la siguiente:



a) *Revisión documental.* Como punto de partida para la preparación del estudio, se ha recopilado información sobre empresas y datos económicos del sector. También otros estudios relacionados con el sector y fuentes oficiales. A nivel tecnológico, se han analizado las más recientes publicaciones, tanto a nivel nacional como europeo, identificando las tecnologías actuales en uso, las principales tendencias e indicadores económicos dentro de esta área, así como los aspectos científico-tecnológicos considerados clave para el futuro de la misma.

b) *Panel de expertos.* Para llevar a cabo el estudio se ha requerido la creación de un seleccionado panel de expertos compuesto por profesionales de reconocido prestigio en distintos aspectos relacionados con la Fabricación de Maquinaria para Obras Públicas y Construcción. En la elaboración del panel, se ha intentado mantener un equilibrio entre la procedencia profesional de sus componentes, de forma que se ha contado con profesionales del sector o sectores con problemáticas similares, centros tecnológicos y de la universidad. Con su colaboración, se definieron las tendencias para desarrollar una visión de futuro sobre el ámbito de las tecnologías asociadas al sector y se confeccionó un primer borrador de cuestionario. Cada uno de los expertos planteó una serie de temas referentes a su área de conocimiento. En ellos se trataban las técnicas y aplicaciones más innovadoras y trascendentes, así como todos aquellos posibles acontecimientos que pudieran influir de forma significativa en la evolución del sector. Este panel de expertos, que quedó constituido por catorce especialistas (ver Anexo), constituye en gran parte la clave del éxito de este estudio. Dicho panel se ha reunido en dos ocasiones a lo largo del periodo de ejecución del estudio, con el fin de desarrollar el cuestionario y validar el análisis de la encuesta.

c) *Elaboración del Cuestionario para las encuestas.* Se trata de valorar, mediante cuestionario, el grado de importancia de las hipótesis planteadas por el panel de expertos, así como estimar su fecha de materialización, entre otros aspectos. Un total de 33 temas quedaron recogidos en el cuestionario. Por último, cada panelista propuso expertos que podrían participar en el cuestionario, cuyas respuestas permitirían contrastar diversas opiniones. El objetivo consistía en seleccionar una población lo más heterogénea posible en cuanto a procedencia dentro del sector, distribución geográfica y perfil, es decir, investigadores, fabricantes y usuarios. De este modo, los resultados obtenidos tienen una mayor validez a escala territorial y recogen las opiniones de diferentes ámbitos de la sociedad.

d) *Análisis estadístico de la encuesta.* Cuarenta y cinco personas especializadas en el tema, han participado en esta encuesta. En esta fase del estudio se han tabulado y analizado resultados, estableciendo medias y modas, explicando las desviaciones y extrayendo conclusiones generales sobre los cuestionarios recibidos.

e) *Conclusiones y redacción del informe final.* Mediante el envío de este cuestionario, y su posterior análisis, conjuntamente con el panel de expertos, se valoró el grado de importancia de las tendencias, tecnologías y aplicaciones seleccionadas, se estimó su fecha de materialización y determinaron las barreras que pueden frenar su avance. En una segunda reunión del panel de expertos se analizaron los resultados estadísticos de la encuesta, al tiempo que se elaboraron las conclusiones y recomendaciones que se recogen en este documento.

4.3.1. VARIABLES

El cuestionario recoge 33 temas de futuro, es decir, una serie de hipótesis relacionadas con el desarrollo de distintos aspectos relacionados con la fabricación de maquinaria de obras públicas y construcción, sobre las que se invita a reflexionar a los consultados. Para cada uno de estos temas, se plantean una serie de variables sobre las que debe opinar el encuestado. En el presente estudio se han elegido las siguientes variables:

Nivel de conocimiento

Se refiere al grado de conocimiento o experiencia que el encuestado posee sobre cada tema y que debe autoevaluar como:

- **Alto:** significa que se considera experto o posee un conocimiento especializado sobre el tema.
- **Medio:** si posee un buen conocimiento pero no se llega a considerar experto.
- **Bajo:** si ha leído literatura técnica o escuchado a expertos relacionados con el tema.

Esta variable ha servido para descartar las opiniones vertidas por aquellos expertos que consideran su nivel de conocimiento bajo, conforme a su propia autoevaluación. Bajo este criterio, sólo se han tabulado las respuestas aportadas por los consultados con un grado de conocimiento alto y medio, con el fin de que prime la calidad de las respuestas en el estudio.

Horizonte temporal

Se refiere al momento en que el tema propuesto se va a implantar o llevar a cabo de manera bastante generalizada. El horizonte

temporal abarca hasta más allá del año 2020 y ha sido dividido en tramos de cinco años. También se incluyó la opción de "Nunca" para el caso en que se opine que no llegará a implantarse.

Para el análisis de esta variable, se ha registrado como fecha de materialización correspondiente a cada hipótesis la moda de las respuestas recibidas, es decir, aquel intervalo temporal de cinco años en el que se agrupa un mayor número de opiniones de los expertos consultados.

Grado de Importancia

Hace referencia a la relevancia que el tema tratado tiene para el desarrollo del sector en España.

- **Alto**, si es muy importante
- **Medio**, si es importante
- **Bajo**, si apenas tiene importancia
- **Irrelevante**, si no es nada importante

Para calcular el **Índice de Grado de Importancia (IGI)** se asignan los siguientes valores a los diferentes niveles de importancia entre los que puede escoger el encuestado: 4 si es de alta importancia, 3 si es de media importancia, 2 si se considera la hipótesis como de baja importancia y 1 si es irrelevante. Estos valores se ponderan con la distribución porcentual de cada nivel de valoración para hallar el IGI.

La fórmula aplicada al cálculo del IGI es la siguiente:

$$IGI = \frac{4A + 3M + 2B + I}{N}$$

Donde A, M, B e I son el número de expertos que dan a la hipótesis los niveles de importancia Alto, Medio, Bajo e Irrelevante respectivamente, y N es el número total de respuestas recogidas para esa hipótesis.

Amplitud del campo de aplicación

Con esta variable se pretende consultar a los expertos participantes en el estudio acerca de la extensión que el tema en cuestión tendrá en el sector. Se distingue entre:

- No se aplicará.
- Aplicación testimonial.
- Aplicación media.
- Aplicación a gran escala.

Barreras

Esta variable hace referencia a los obstáculos que pueden frenar la implantación o el desarrollo de los temas propuestos en el cuestionario. Se han elegido cuatro:

- **Barreras Económicas**, en el caso de que resulte económicamente inviable implantar o desarrollar la tecnología que se esté tratando.
- **Tecnológicas**, en el caso de que se opine que el principal impedimento para el tema que se propone se deba principalmente a una falta de información/conocimiento sobre el mismo.
- **Dificultad de aplicación**, con la que se evalúa la sencillez o dificultad de poner en marcha esa tecnología en el entorno empresarial.
- **Sociales**, que hace referencia a los posibles frenos procedentes del rechazo de la sociedad a las tecnologías tratadas.

4.4. RESULTADOS GENERALES

El cuestionario está compuesto por 33 hipótesis agrupadas en las siguientes cinco secciones:

- Nuevos modelos empresariales (7)
- Seguridad y salud (3)
- Sostenibilidad (4)
- Procesos, técnicas y materiales para la construcción (4)
- Tecnologías (Proceso – 7 y Producto – 8)

El cuestionario ha sido respondido por 45 personas consideradas expertas en alguna de las secciones en las que se dividía el estudio.

Nivel de conocimiento

El nivel de conocimiento que los propios encuestados declaran en relación a las 5 secciones en las que se divide la encuesta es la que se señala en la siguiente tabla

PORCENTAJES DE NIVEL DE CONOCIMIENTO POR BLOQUES

	Alto	Medio	Bajo
Nuevos modelos empresariales	19%	53%	27%
Seguridad y salud	34%	46%	20%
Sostenibilidad	17%	60%	23%
Procesos, técnicas y materiales	12%	46%	42%
Tecnologías	18%	45%	37%
Global	19%	49%	32%

Como señala la tabla la mayoría de los encuestados se decanta por declarar un nivel de conocimiento "medio" en las hipótesis presentadas en la encuesta.

El aspecto con mayor grado de conocimiento es la seguridad y salud, mientras que el de menor grado de conocimiento son los procesos, técnicas y materiales para la construcción.

Grado de importancia

La siguiente tabla muestra el conjunto de hipótesis clasificadas por IGI (Índice de Grado de Importancia). Los colores corresponden a las diferentes secciones del estudio.

Como puede apreciarse el grado de importancia se encuentra en una horquilla comprendida entre 3 y 3,5.

Tendencias tecnológicas en el sector de fabricante de maquinaria de obras públicas y construcción

Tabla de hipótesis y variables. Índice de grado de importancia.

	ICG Índice de Grado de Importancia
9. Las responsabilidades del empresario en cuanto al cumplimiento de la legislación sobre Prevención de Riesgos Laborales provocará una mayor necesidad de integrar los aspectos de seguridad y salud en la fase de diseño de la máquina	3,89
4. La flexibilidad, la orientación total a la satisfacción de necesidades del cliente, la rapidez en la respuesta y la experiencia en el mercado, se convertirán en factores clave de la ventaja competitiva	3,82

19. El uso generalizado de técnicas avanzadas de fabricación concurrente, integrando software de diseño colaborativo, herramientas CAD/CAM/CAE, prototipado virtual y prototipado rápido, agilizará el diseño y desarrollo de nuevos productos.	3,64
1. La totalidad de las empresas manufactureras centrarán sus actividades exclusivamente en su negocio o habilidad principal, y acudirán a la subcontratación del resto de operaciones.	3,62
8. Se producirá la definitiva armonización de las reglamentaciones existentes entre las principales potencias fabricantes y usuarias de maquinaria de construcción (EE.UU., Unión Europea, Japón, China, etc.).	3,55
12. Las máquinas que alcancen unos menores niveles de emisión de ruido, vibraciones y gases-partículas contaminantes adquirirán una ventaja competitiva clara.	3,49
13. Se aplicarán conceptos de Eco-eficiencia. Por un lado, se racionalizará el uso de las tecnologías actuales (reducción de consumo y utilización de combustibles menos contaminantes). Por otro lado, la aplicación de nuevos sistemas de generación de energía.	3,41
2. En la relación con países emergentes, predominará la subcontratación y compra (con participación en empresas del país) sobre la inversión directa o joint ventures.	3,39
29. La incorporación de tecnologías electrónicas y de sensores en las máquinas permitirá el desarrollo de sistemas que evalúen la calidad y productividad del trabajo realizado, así como monitorizar los parámetros de funcionamiento de la máquina para prever, identificar y solucionar averías.	3,36
11. Se generalizará el Eco-diseño, como medio de minimización de los impactos ambientales generados por los productos en todas las fases de su ciclo de vida.	3,36
17. Se generalizará el pre-procesado y reciclado de materiales en la propia obra a partir de máquinas especialmente diseñadas para esta función.	3,34
5. El aumento de la calidad demandada en la construcción en los países en vías de desarrollo traerá consigo un aumento de las importaciones de equipos de mayor nivel tecnológico.	3,32

6. Los nuevos desarrollos en tecnologías de la información y comunicaciones se orientarán principalmente hacia la gestión del conocimiento y servicio al cliente.	3,32
33. Se desarrollarán interfaces amigables entre máquina y operario.	3,31
20. El uso de nuevas tecnologías, como láser y nano-recubrimientos, dará lugar a nuevos tratamientos superficiales con mayores prestaciones en cuanto a resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y desgaste.	3,31
30. Se generalizará el uso de materiales compuestos en las máquinas y aceros de alta resistencia estructural y al desgaste.	3,31
31. La incorporación de las TIC facilitará la formación del operario de las máquinas.	3,25
15. La construcción se industrializará en base a elementos prefabricados y estandarizados lo que significará que la mayoría de la fabricación se realizará fuera de la obra y se automatizará el montaje.	3,25
10. Las máquinas dispondrán de dispositivos que permitirán informar in situ o almacenar los valores de los principales parámetros que son objeto de regulación en materia de Prevención de Riesgos Laborales (emisiones sonoras, vibraciones, emisiones gaseosas, etc.).	3,24
24. La utilización de sensores inteligentes, sensores ópticos, visión artificial y sistemas de control integrados en la maquinaria de fabricación tendrán funciones de monitorización, autodiagnóstico y registro de indicadores de proceso.	3,22
14. Se estandarizarán los criterios y herramientas utilizados para modelizar, planificar o cuantificar los impactos medioambientales derivados de la construcción, lo que obligará a los fabricantes de maquinaria a dar información suficiente en este sentido.	3,20
3. Se creará un marco legal que favorezca la cooperación entre empresas. Se explotarán las posibilidades de colaboración entre empresas a través de redes y de mecanismos para compartir información.	3,20
25. Se extenderán los sistemas de fabricación y montaje modulares para procesos de fabricación continua en pequeñas series y con alta variabilidad.	3,20

28. La incorporación de materiales inteligentes y dispositivos avanzados para la reducción de ruido y vibraciones sustituirán progresivamente a los elementos convencionales.	3,11
27. Se extenderá el uso de equipos operados por control remoto utilizando nuevas tecnologías de redes de comunicación y sistemas de posicionamiento global.	3,09
23. Existirán procesos de inyección y procesado de metales análogos a los utilizados con materiales plásticos.	3,09
22. Aparecerán procesos de fundición, forja y estampación que permitirán mejorar las tolerancias dimensionales de las piezas, permitiendo tener piezas listas para montaje.	3,07
7. Nuevas leyes en cuestiones relativas a propiedad industrial y a protección de la información obligará a las empresas a dedicar recursos específicos a estas cuestiones.	3,00
26. Se extenderán los sistemas de prototipado rápido capaces de trabajar con distintos materiales y ligados a los sistemas de desarrollo para la fabricación de pequeñas series de piezas.	2,84
32. Existirán máquinas con microsistemas integrando sensores, actuadores y procesado digital de señal en un único chip.	2,79
18. Las máquinas integrarán diferentes operaciones del proceso y podrán adaptarse fácilmente con variaciones sencillas de su configuración.	2,73
21. Se generalizará la sustitución de sistemas mecánicos de unión convencionales (soldadura, remaches, tornillos, etc) en favor de adhesivos o sistemas de montaje rápidos.	2,62
16. El aumento de las actividades de rehabilitación y mantenimiento, así como las actividades de bricolaje y reparación casera, requerirá de nuevas máquinas adaptadas a estas necesidades.	2,50

- Nuevos modelos empresariales
- Seguridad y salud
- Sostenibilidad
- Procesos, técnicas y materiales
- Tecnologías

Horizonte temporal			ICG Índice de Grado de Importancia
2005-2010	2005-2010	2005-2010	
9. Las responsabilidades del empresario en cuanto al cumplimiento de la legislación sobre Prevención de Riesgos Laborales provocará una mayor necesidad de integrar los aspectos de seguridad y salud en la fase de diseño de la máquina.			3,89
4. La flexibilidad, la orientación total a la satisfacción de necesidades del cliente, la rapidez en la respuesta y la experiencia en el mercado, se convertirán en factores clave de la ventaja competitiva			3,82
19. El uso generalizado de técnicas avanzadas de fabricación concurrente, integrando software de diseño colaborativo, herramientas CAD/CAM/CAE, prototipado virtual y prototipado rápido, agilizará el diseño y desarrollo de nuevos productos.			3,64
1. La totalidad de las empresas manufactureras centrarán sus actividades exclusivamente en su negocio o habilidad principal, y acudirán a la subcontratación del resto de operaciones.			3,62
	8. Se producirá la definitiva armonización de las reglamentaciones existentes entre las principales potencias fabricantes y usuarios de maquinaria de construcción (EE.UU., Unión Europea, Japón, China, etc.).		3,55
	12. Las máquinas que alcancen unos menores niveles de emisión de ruido, vibraciones y gases-partículas contaminantes adquirirán una ventaja competitiva clara.		3,49
	13. Se aplicarán conceptos de Eco-eficiencia. Por un lado, se racionalizará el uso de las tecnologías actuales (reducción de consumo y utilización de combustibles menos contaminantes). Por otro lado, la aplicación de nuevos sistemas de generación de energía.		3,41
2. En la relación con países emergentes, predominará la subcontratación y compra (con participación en empresas del país) sobre la inversión directa o joint ventures.			3,39

2005-2010	2011-2015	2016-2020	ICG Índice de Grado de Importancia
	<p>29. La incorporación de tecnologías electrónicas y de sensores en las máquinas permitirá el desarrollo de sistemas que evalúen la calidad y productividad del trabajo realizado, así como monitorizar los parámetros de funcionamiento de la máquina para prever, identificar y solucionar averías.</p>		3,36
	<p>11. Se generalizará el Eco-diseño, como medio de minimización de los impactos ambientales generados por los productos en todas las fases de su ciclo de vida.</p>		3,36
	<p>17. Se generalizará el pre-procesado y reciclado de materiales en la propia obra a partir de máquinas especialmente diseñadas para esta función.</p>		3,34
	<p>5. El aumento de la calidad demandada en la construcción en los países en vías de desarrollo traerá consigo un aumento de las importaciones de equipos de mayor nivel tecnológico.</p>		3,32
<p>6. Los nuevos desarrollos en tecnologías de la información y comunicaciones se orientarán principalmente hacia la gestión del conocimiento y servicio al cliente.</p>			3,32
<p>33. Se desarrollarán interfaces amigables entre máquina y operario.</p>			3,31
	<p>20. El uso de nuevas tecnologías, como láser y nano-recubrimientos, dará lugar a nuevos tratamientos superficiales con mayores prestaciones en cuanto a resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y desgaste.</p>		3,31
	<p>30. Se generalizará el uso de materiales compuestos en las máquinas y aceros de alta resistencia estructural y al desgaste.</p>		3,31
	<p>31. La incorporación de las TIC facilitará la formación del operario de las máquinas.</p>		3,25

2005-2010	2011-2015	2016-2020	ICG Índice de Grado de Importancia
	<p>15. La construcción se industrializará en base a elementos prefabricados y estandarizados lo que significará que la mayoría de la fabricación se realizará fuera de la obra y se automatizará el montaje.</p>		3,25
	<p>10. Las máquinas dispondrán de dispositivos que permitirán informar in situ o almacenar los valores de los principales parámetros que son objeto de regulación en materia de Prevención de Riesgos Laborales (emisiones sonoras, vibraciones, emisiones gaseosas, etc.).</p>		3,24
	<p>24. La utilización de sensores inteligentes, sensores ópticos, visión artificial y sistemas de control integrados en la maquinaria de fabricación tendrán funciones de monitorización, autodiagnóstico y registro de indicadores de proceso.</p>		3,22
	<p>14. Se estandarizarán los criterios y herramientas utilizados para modelizar, planificar o cuantificar los impactos medioambientales derivados de la construcción, lo que obligará a las fabricantes de maquinaria a dar información suficiente en este sentido.</p>		3,20
	<p>3. Se creará un marco legal que favorezca la cooperación entre empresas. Se explotarán las posibilidades de colaboración entre empresas a través de redes y de mecanismos para compartir información.</p>		3,20
	<p>25. Se extenderán los sistemas de fabricación y montaje modulares para procesos de fabricación continua en pequeñas series y con alta variabilidad.</p>		3,20
	<p>28. La incorporación de materiales inteligentes y dispositivos avanzados para la reducción de ruido y vibraciones sustituirán progresivamente a los elementos convencionales.</p>		3,11
	<p>27. Se extenderá el uso de equipos operados por control remoto utilizando nuevas tecnologías de redes de comunicación y sistemas de posicionamiento global.</p>		3,09

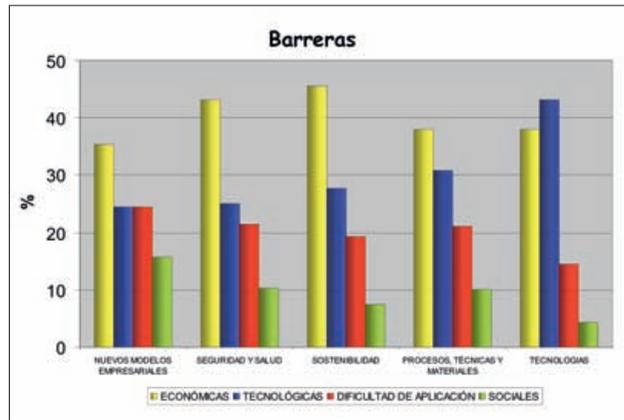
2005-2010	2011-2015	2016-2020	ICG Índice de Grado de Importancia
	23. Existirán procesos de inyección y procesado de metales análogos a los utilizados con materiales plásticos.		3,09
	22. Aparecerán procesos de fundición, forja y estampación que permitirán mejorar las tolerancias dimensionales de las piezas, permitiendo tener piezas listas para montaje.		3,07
	7. Nuevas leyes en cuestiones relativas a propiedad industrial y a protección de la información obligará a las empresas a dedicar recursos específicos a estas cuestiones.		3,00
	26. Se extenderán los sistemas de prototipado rápido capaces de trabajar con distintos materiales y ligados a los sistemas de desarrollo para la fabricación de pequeñas series de piezas.		2,84
		32. Existirán máquinas con microsistemas integrando sensores, actuadores y procesado digital de señal en un único chip.	2,79
	18. Las máquinas integrarán diferentes operaciones del proceso y podrán adaptarse fácilmente con variaciones sencillas de su configuración.		2,73
	21. Se generalizará la sustitución de sistemas mecánicos de unión convencionales (soldadura, remaches, tornillos, etc) en favor de adhesivos o sistemas de montaje rápidos.		2,62
16. El aumento de las actividades de rehabilitación y mantenimiento, así como las actividades de bricolaje y reparación casera, requerirá de nuevas máquinas adaptadas a estas necesidades.			2,50

- Nuevos modelos empresariales
- Seguridad y salud
- Sostenibilidad
- Procesos, técnicas y materiales
- Tecnologías

Barreras

Las barreras más importantes para las tecnologías son precisamente las tecnológicas, mientras que para las restantes secciones son las económicas. Esto se puede apreciar en la siguiente gráfica.

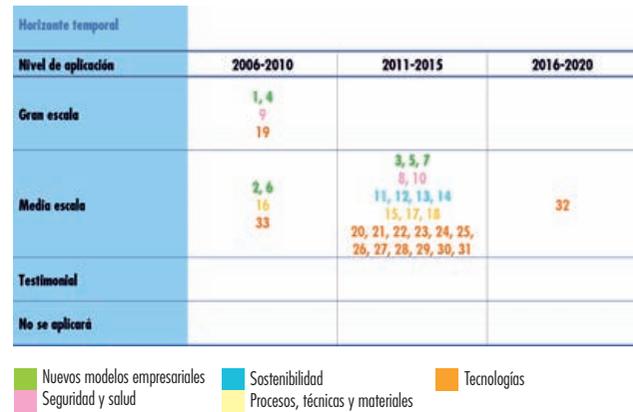
Las barreras sociales son poco apreciadas en general. En menor medida aparecen las de dificultad de aplicación.



Amplitud del nivel de aplicación

Como se puede apreciar en la siguiente gráfica más de la mitad de los encuestados consideran que todas las hipótesis tendrán una amplitud de aplicación media.

En seguridad y salud existe más equilibrio entre la aplicación a media y gran escala.



4.5. TENDENCIAS DE FUTURO

Una vez analizados los resultados de la encuesta, los expertos consideraron que las hipótesis que se comentan a continuación eran las más interesantes para el sector.

Las tendencias de futuro se han agrupado según los cinco bloques de la encuesta:

- Nuevos modelos empresariales
- Seguridad y salud
- Sostenibilidad
- Procesos, técnicas y materiales para la construcción
- Tecnologías (Proceso y Producto)

4.5.1. TENDENCIAS DE FUTURO EN NUEVOS MODELOS EMPRESARIALES

Las tendencias señalan que la hipótesis más importante va dirigida a la satisfacción del cliente. Las empresas se centrarán en lo específico de su negocio y confiarán en suministradores para el resto de sus operaciones.

Las 2 hipótesis se valoran a corto plazo, con nivel de conocimiento medio alto y a gran escala o media.

	Nivel de conocimiento	Horizonte temporal	Grado de importancia	Amplitud del campo de aplicación	IGI
1. NUEVOS MODELOS EMPRESARIALES					
1. La totalidad de las empresas manufactureras centrarán sus actividades exclusivamente en su negocio o habilidad principal, y acudirán a la subcontratación del resto de operaciones.	Medio	2006-2010	Alto	Gran escala y media	3,62
4. La flexibilidad, la orientación total a la satisfacción de necesidades del cliente, la rapidez en la respuesta y la experiencia en el mercado, se convertirán en factores clave de la ventaja competitiva	Medio alto	2006-2010	Alto	A gran escala	3,82

4.5.2. TENDENCIAS DE FUTURO EN SEGURIDAD Y SALUD

Las tendencias apuntan a que la legislación referente a seguridad influye enormemente en el diseño de la maquinaria. El concepto de globalización en materia de legislación es también muy importante para los encuestados.

La armonización de la legislación se producirá desde ahora hasta el año 2020. Esta cuestión es de conocimiento medio, pero lo relativo a la legislación es muy conocido por los encuestados y se realizará a gran escala.

	Nivel de conocimiento	Horizonte temporal	Grado de importancia	Amplitud del campo de aplicación	IGI
2. SEGURIDAD Y SALUD					
8. Se producirá la definitiva armonización de las reglamentaciones existentes entre las principales potencias fabricantes y usuarias de maquinaria de construcción (EE.UU., Unión Europea, Japón, China, etc.).	Medio	2011-2020	Alto	A gran escala y media	3,55
9. Las responsabilidades del empresario en cuanto al cumplimiento de la legislación sobre Prevención de Riesgos Laborales provocará una mayor necesidad de integrar los aspectos de seguridad y salud en la fase de diseño de la máquina.	Alto	2006-2010	Alto	A gran escala	3,89

4.5.3. TENDENCIAS DE FUTURO EN SOSTENIBILIDAD

Las tendencias relativas a las hipótesis de sostenibilidad presentan un horizonte temporal más lejano desde 2011 a 2015. El campo de aplicación será medio, quizás porque el grado de conocimiento es medio.

	Nivel de conocimiento	Horizonte temporal	Grado de importancia	Amplitud del campo de aplicación	IGI
3. SOSTENIBILIDAD					
12. Las máquinas que alcancen unos menores niveles de emisión de ruido, vibraciones y gases-partículas contaminantes adquirirán una ventaja competitiva clara.	Medio	2011-2015	Alto	Media	3,49
13. Se aplicarán conceptos de Eco-eficiencia. Por un lado, se racionalizará el uso de las tecnologías actuales (reducción de consumo y utilización de combustibles menos contaminantes). Por otro lado, la aplicación de nuevos sistemas de generación de energía.	Medio	2011-2015	Medio alto	Media	3,41

4.5.4. TENDENCIAS DE FUTURO EN PROCESOS, TÉCNICAS Y MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

El aspecto de reciclabilidad en la propia obra y la aparición de elementos prefabricados son hipótesis que marcarán tendencia, si bien el nivel de conocimiento es medio bajo y el horizonte temporal se va a los años desde 2011 hasta 2015.

	Nivel de conocimiento	Horizonte temporal	Grado de importancia	Amplitud del campo de aplicación	IGI
4. PROCESOS, TÉCNICAS Y MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN					
15. La construcción se industrializará en base a elementos prefabricados y estandarizados lo que significará que la mayoría de la fabricación se realizará fuera de la obra y se automatizará el montaje.	Medio bajo	2011-2015	Alto	Media	3,25
17. Se generalizará el pre-procesado y reciclado de materiales en la propia obra a partir de máquinas especialmente diseñadas para esta función.	Medio	2011-2015	Alto	Media	3,34

4.5.5. TENDENCIAS DE FUTURO EN TECNOLOGÍAS

Las tendencias tecnológicas referentes a tecnología más importantes para los encuestados son las que aparecen en la siguiente tabla.

	Nivel de conocimiento	Horizonte temporal	Grado de importancia	Amplitud del campo de aplicación	IGI
5. TECNOLOGÍAS					
5.1. PROCESO					
19. El uso generalizado de técnicas avanzadas de fabricación concurrente, integrando software de diseño colaborativo, herramientas CAD/CAM/CAE, prototipado virtual y prototipado rápido, agilizará el diseño y desarrollo de nuevos productos.	Medio	2006-2010	Alto	A gran escala	3,64
20. El uso de nuevas tecnologías, como láser y nano-recubrimientos, dará lugar a nuevos tratamientos superficiales con mayores prestaciones en cuanto a resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y desgaste.	Medio bajo	2011-2015	Medio alto	Media	3,31

	Nivel de conocimiento	Horizonte temporal	Grado de importancia	Amplitud del campo de aplicación	IGI
5. TECNOLOGÍAS					
5.1. PRODUCTO					
27. Se extenderá el uso de equipos operados por control remoto utilizando nuevas tecnologías de redes de comunicación y sistemas de posicionamiento global.	Medio bajo	2011-2015	Medio	Media	3,09
28. La incorporación de materiales inteligentes y dispositivos avanzados para la reducción de ruido y vibraciones sustituirán progresivamente a los elementos convencionales.	Medio bajo	2011-2020	Medio	Media	3,11
29. La incorporación de tecnologías electrónicas y de sensores en las máquinas permitirá el desarrollo de sistemas que evalúen la calidad y productividad del trabajo realizado, así como monitorizar los parámetros de funcionamiento de la máquina para prever, identificar y solucionar averías.	Medio	2011-2015	Alto	Media	3,36
30. Se generalizará el uso de materiales compuestos en las máquinas y aceros de alta resistencia estructural y al desgaste.	Medio	2011-2015	Medio alto	Media	3,31
31. La incorporación de las TIC facilitará la formación del operario de las máquinas.	Medio	2006-2015	Medio alto	Media	3,25
33. Se desarrollarán interfaces amigables entre máquina y operario.	Medio	2006-2010	Alto	Media	3,31

El grado de conocimiento de estas hipótesis es medio bajo.

Según el horizonte temporal, las hipótesis más cercanas en el tiempo son las referentes a la incorporación de las TIC, los interfaces entre máquina y operario y el uso generalizado de técnicas avanzadas de fabricación concurrente. La hipótesis que se aleja más en el tiempo de refiere al uso de materiales inteligentes. Sólo el uso generalizado de técnicas avanzadas de fabricación concurrente se prevé que se utilice a gran escala, mientras que el resto de hipótesis tendrá una penetración media

A continuación se presenta el resultado global de la encuesta:

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras			IGI		
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas	Dificultades aplicación	Sociales	Ind. Grado Importancia
1. NUEVOS MODELOS EMPRESARIALES																					
1. La totalidad de las empresas manufactureras centrarán sus actividades exclusivamente en su negocio o habilidad principal, y acudirán a la subcontratación del resto de operaciones.	6	33	6	33	11	0	1	1	31	14	2	0	0	0	22	23	16	9	11	11	3,62
2. En la relación con países emergentes, predominará la subcontratación y compra (con participación en empresas del país) sobre la inversión directa o joint ventures.	6	22	17	20	18	4	0	2	21	19	4	0	2	2	32	8	21	14	10	12	3,39
3. Se creará un marco legal que favorezca la cooperación entre empresas. Se explotarán las posibilidades de colaboración entre empresas a través de redes y de mecanismos para compartir información.	5	20	20	7	26	8	3	0	17	21	6	1	2	11	30	3	6	13	25	12	3,20
4. La flexibilidad, la orientación total a la satisfacción de necesidades del cliente, la rapidez en la respuesta y la experiencia en el mercado, se convertirán en factores clave de la ventaja competitiva	22	19	4	37	6	3	0	0	39	4	2	0	0	2	12	31	16	14	16	8	3,82
5. El aumento de la calidad demandada en la construcción en los países en vías de desarrollo traerá consigo un aumento de las importaciones de equipos de mayor nivel tecnológico.	5	27	13	17	29	2	0	0	17	24	3	0	1	5	34	5	31	14	1	7	3,32

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras			IGI		
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas	Dificultades aplicación	Sociales	Ind. Grado Importancia
6. Los nuevos desarrollos en tecnologías de la información y comunicaciones se orientarán principalmente hacia la gestión del conocimiento y servicio al cliente.	10	25	10	22	20	2	2	0	19	21	3	1	0	5	24	15	15	18	13	3	3,32
7. Nuevas leyes en cuestiones relativas a propiedad industrial y a protección de la información obligará a las empresas a dedicar recursos específicos a estas cuestiones.	7	21	16	17	22	5	2	1	15	17	11	2	2	14	22	7	25	8	14	5	3,00
2. SEGURIDAD Y SALUD																					
8. Se producirá la definitiva armonización de las reglamentaciones existentes entre las principales potencias fabricantes y usuarias de maquinaria de construcción (EE.UU., Unión Europea, Japón, China, etc.).	9	20	16	4	16	15	5	4	29	11	3	1	7	5	17	16	21	16	23	12	3,55
9. Las responsabilidades del empresario en cuanto al cumplimiento de la legislación sobre Prevención de Riesgos Laborales provocará una mayor necesidad de integrar los aspectos de seguridad y salud en la fase de diseño de la máquina.	28	14	3	36	9	0	0	0	39	5	0	0	0	0	13	32	32	18	6	6	3,89
10. Las máquinas dispondrán de dispositivos que permitirán informar in situ o almacenar los valores de los principales parámetros que son objeto de regulación en materia de Prevención de Riesgos Laborales (emisiones sonoras, vibraciones, emisiones gaseosas, etc.).	9	28	8	2	33	7	3	1	15	27	2	1	3	5	32	5	35	17	15	3	3,24

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras			IGI		
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas	Dificultades aplicación	Sociales	Ind. Grado Importancia
3. SOSTENIBILIDAD																					
11. Se generalizará el Eco-diseño, como medio de minimización de los impactos ambientales generados por los productos en todas las fases de su ciclo de vida.	6	31	8	6	29	8	2	1	20	22	2	1	1	6	25	13	35	16	12	6	3,36
12. Las máquinas que alcancen unos menores niveles de emisión de ruido, vibraciones y gases-partículas contaminantes adquirirán una ventaja competitiva clara.	12	27	6	13	23	7	3	0	24	19	2	0	1	6	27	13	33	19	7	5	3,49
13. Se aplicarán conceptos de Eco-eficiencia. Por un lado, se racionalizará el uso de las tecnologías actuales (reducción de consumo y utilización de combustibles menos contaminantes). Por otro lado, la aplicación de nuevos sistemas de generación de energía.	8	26	11	8	25	11	3	0	20	22	2	0	0	6	25	14	33	23	13	4	3,41
14. Se estandarizarán los criterios y herramientas utilizados para modelizar, planificar o cuantificar los impactos medioambientales derivados de la construcción, lo que obligará a las fabricantes de maquinaria a dar información suficiente en este sentido.	5	24	16	9	24	8	4	2	18	21	3	3	3	6	29	8	21	16	20	5	3,20

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras			IGI		
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas	Dificultades aplicación	Sociales	Ind. Grado Importancia
4. PROCESOS, TÉCNICAS Y MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN																					
15. La construcción se industrializará en base a elementos prefabricados y estandarizados lo que significará que la mayoría de la fabricación se realizará fuera de la obra y se automatizará el montaje.	10	16	17	11	18	9	4	1	21	15	6	2	1	5	24	13	14	24	11	10	3,25
16. El aumento de las actividades de rehabilitación y mantenimiento, así como las actividades de bricolaje y reparación casera, requerirá de nuevas máquinas adaptadas a estas necesidades.	4	19	22	23	18	4	0	1	7	12	24	3	3	14	26	2	18	6	9	5	2,50
17. Se generalizará el pre-procesado y reciclado de materiales en la propia obra a partir de máquinas especialmente diseñadas para esta función.	6	23	16	12	16	13	4	1	25	9	10	0	2	12	21	9	27	13	11	6	3,34
18. Las máquinas integrarán diferentes operaciones del proceso y podrán adaptarse fácilmente con variaciones sencillas de su configuración.	2	24	19	9	22	9	3	2	3	28	11	2	3	13	28	0	20	21	13	0	2,73
5. TECNOLOGÍAS																					
5.1 PROCESO																					
19. El uso generalizado de técnicas avanzadas de fabricación concurrente, integrando software de diseño colaborativo, herramientas CAD/CAM/CAE, prototipado virtual y prototipado rápido, agilizará el diseño y desarrollo de nuevos productos.	15	24	6	32	9	4	1	0	31	12	2	0	0	1	19	25	24	25	7	1	3,64

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras			IGI		
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas		Dificultades aplicación	Sociales
20. El uso de nuevas tecnologías, como láser y nano-recubrimientos, dará lugar a nuevos tratamientos superficiales con mayores prestaciones en cuanto a resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y desgaste.	8	18	19	11	21	12	2	0	19	22	3	1	0	4	29	11	27	30	2	0	3,31
21. Se generalizará la sustitución de sistemas mecánicos de unión convencionales (soldadura, remaches, tornillos, etc) en favor de adhesivos o sistemas de montaje rápidos.	7	18	20	3	17	12	7	6	8	16	17	4	6	11	22	5	10	38	12	3	2,62
22. Aparecerán procesos de fundición, forja y estampación que permitirán mejorar las tolerancias dimensionales de las piezas, permitiendo tener piezas listas para montaje.	6	19	20	10	20	11	4	0	15	17	12	0	0	8	22	13	10	33	5	1	3,07
23. Existirán procesos de inyección y procesado de metales análogos a los utilizados con materiales plásticos.	4	15	25	5	19	14	10	1	12	27	4	2	2	8	27	7	17	31	9	0	3,09
24. La utilización de sensores inteligentes, sensores ópticos, visión artificial y sistemas de control integrados en la maquinaria de fabricación tendrán funciones de monitorización, autodiagnóstico y registro de indicadores de proceso.	10	21	14	11	24	11	0	0	16	23	6	0	0	5	19	11	25	23	13	3	3,22
25. Se extenderán los sistemas de fabricación y montaje modulares para procesos de fabricación continua en pequeñas series y con alta variabilidad.	9	22	13	15	21	8	2	0	14	22	4	1	0	2	30	12	15	21	13	2	3,20

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras				IGI	
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas	Dificultades aplicación	Sociales	Ind. Grado Importancia
5. TECNOLOGÍAS	5.2 PRODUCTO																				
26. Se extenderán los sistemas de prototipado rápido capaces de trabajar con distintos materiales y ligados a los sistemas de desarrollo para la fabricación de pequeñas series de piezas.	6	20	19	14	22	6	2	2	8	25	9	3	2	10	25	7	22	17	12	0	2,84
27. Se extenderá el uso de equipos operados por control remoto utilizando nuevas tecnologías de redes de comunicación y sistemas de posicionamiento global.	10	18	17	14	21	13	0	0	13	23	9	0	0	8	30	6	19	26	8	4	3,09
28. La incorporación de materiales inteligentes y dispositivos avanzados para la reducción de ruido y vibraciones sustituirán progresivamente a los elementos convencionales.	5	17	22	5	18	14	7	0	16	20	7	2	0	10	25	10	25	25	4	2	3,11
29. La incorporación de tecnologías electrónicas y de sensores en las máquinas permitirá el desarrollo de sistemas que evalúen la calidad y productividad del trabajo realizado, así como monitorizar los parámetros de funcionamiento de la máquina para prever, identificar y solucionar averías.	9	28	8	13	22	7	3	0	22	16	6	0	0	7	28	9	32	23	7	2	3,36
30. Se generalizará el uso de materiales compuestos en las máquinas y aceros de alta resistencia estructural y al desgaste.	7	22	16	14	20	8	3	1	21	18	5	1	0	5	32	7	34	16	2	0	3,31

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras			IGI		
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas		Dificultades aplicación	Sociales
31. La incorporación de las TIC facilitará la formación del operario de las máquinas.	8	26	10	20	23	2	0	0	19	19	4	2	1	4	25	14	14	10	12	10	3,25
32. Existirán máquinas con microsistemas integrando sensores, actuadores y procesado digital de señal en un único chip.	4	11	28	3	16	18	6	0	5	26	10	2	0	13	26	4	23	26	6	2	2,79
33. Se desarrollarán interfaces amigables entre máquina y operario.	12	20	14	23	11	7	3	0	24	14	4	3	0	6	23	16	22	18	10	6	3,31

En la siguiente tabla se aprecia el total de las hipótesis ordenadas por grado de importancia.

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras			IGI		
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas		Dificultades aplicación	Sociales
9. Las responsabilidades del empresario en cuanto al cumplimiento de la legislación sobre Prevención de Riesgos Laborales provocará una mayor necesidad de integrar los aspectos de seguridad y salud en la fase de diseño de la máquina.	28	14	3	36	9	0	0	0	39	5	0	0	0	0	13	32	32	18	6	6	3,89
4. La flexibilidad, la orientación total a la satisfacción de necesidades del cliente, la rapidez en la respuesta y la experiencia en el mercado, se convertirán en factores clave de la ventaja competitiva	22	19	4	37	6	3	0	0	39	4	2	0	0	2	12	31	16	14	16	8	3,82
19. El uso generalizado de técnicas avanzadas de fabricación concurrente, integrando software de diseño colaborativo, herramientas CAD/CAM/CAE, prototipado virtual y prototipado rápido, agilizará el diseño y desarrollo de nuevos productos.	15	24	6	32	9	4	1	0	31	12	2	0	0	1	19	25	24	25	7	1	3,64
1. La totalidad de las empresas manufactureras centrarán sus actividades exclusivamente en su negocio o habilidad principal, y acudirán a la subcontratación del resto de operaciones.	6	33	6	33	11	0	1	1	31	14	2	0	0	0	22	23	16	9	11	11	3,62

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras			IGI		
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas		Dificultades aplicación	Sociales
8. Se producirá la definitiva armonización de las reglamentaciones existentes entre las principales potencias fabricantes y usuarias de maquinaria de construcción (EE.UU., Unión Europea, Japón, China, etc.).	9	20	16	4	16	15	5	4	29	11	3	1	7	5	17	16	21	16	23	12	3,55
12. Las máquinas que alcancen unos menores niveles de emisión de ruido, vibraciones y gases-partículas contaminantes adquirirán una ventaja competitiva clara.	12	27	6	13	23	7	3	0	24	19	2	0	1	6	27	13	33	19	7	5	3,49
13. Se aplicarán conceptos de Eco-eficiencia. Por un lado, se racionalizará el uso de las tecnologías actuales (reducción de consumo y utilización de combustibles menos contaminantes). Por otro lado, la aplicación de nuevos sistemas de generación de energía.	8	26	11	8	25	11	3	0	20	22	2	0	0	6	25	14	33	23	13	4	3,41
2. En la relación con países emergentes, predominará la subcontratación y compra (con participación en empresas del país) sobre la inversión directa o joint ventures.	6	22	17	20	18	4	0	2	21	19	4	0	2	2	32	8	21	14	10	12	3,39
29. La incorporación de tecnologías electrónicas y de sensores en las máquinas permitirá el desarrollo de sistemas que evalúen la calidad y productividad del trabajo realizado, así como monitorizar los parámetros de funcionamiento de la máquina para prever, identificar y solucionar averías.	9	28	8	13	22	7	3	0	22	16	6	0	0	7	28	9	32	23	7	2	3,36

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras			IGI		
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas	Dificultades aplicación	Sociales	Ind. Grado Importancia
11. Se generalizará el Eco-diseño, como medio de minimización de los impactos ambientales generados por los productos en todas las fases de su ciclo de vida.	6	31	8	6	29	8	2	1	20	22	2	1	1	6	25	13	35	16	12	6	3,36
17. Se generalizará el pre-procesado y reciclado de materiales en la propia obra a partir de máquinas especialmente diseñadas para esta función.	6	23	16	12	16	13	4	1	25	9	10	0	2	12	21	9	27	13	11	6	3,34
5. El aumento de la calidad demandada en la construcción en los países en vías de desarrollo traerá consigo un aumento de las importaciones de equipos de mayor nivel tecnológico.	5	27	13	17	29	2	0	0	17	24	3	0	1	5	34	5	31	14	1	7	3,32
6. Los nuevos desarrollos en tecnologías de la información y comunicaciones se orientarán principalmente hacia la gestión del conocimiento y servicio al cliente.	10	25	10	22	20	2	2	0	19	21	3	1	0	5	24	15	15	18	13	3	3,32
33. Se desarrollarán interfaces amigables entre máquina y operario.	12	20	14	23	11	7	3	0	24	14	4	3	0	6	23	16	22	18	10	6	3,31
20. El uso de nuevas tecnologías, como láser y nano-recubrimientos, dará lugar a nuevos tratamientos superficiales con mayores prestaciones en cuanto a resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y desgaste.	8	18	19	11	21	12	2	0	19	22	3	1	0	4	29	11	27	30	2	0	3,31

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras			IGI		
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas		Dificultades aplicación	Sociales
30. Se generalizará el uso de materiales compuestos en las máquinas y aceros de alta resistencia estructural y al desgaste.	7	22	16	14	20	8	3	1	21	18	5	1	0	5	32	7	34	16	2	0	3,31
31. La incorporación de las TIC facilitará la formación del operario de las máquinas.	8	26	10	20	23	2	0	0	19	19	4	2	1	4	25	14	14	10	12	10	3,25
15. La construcción se industrializará en base a elementos prefabricados y estandarizados lo que significará que la mayoría de la fabricación se realizará fuera de la obra y se automatizará el montaje.	10	16	17	11	18	9	4	1	21	15	6	2	1	5	24	13	14	24	11	10	3,25
10. Las máquinas dispondrán de dispositivos que permitirán informar in situ o almacenar los valores de los principales parámetros que son objeto de regulación en materia de Prevención de Riesgos Laborales (emisiones sonoras, vibraciones, emisiones gaseosas, etc.).	9	28	8	2	33	7	3	1	15	27	2	1	3	5	32	5	35	17	15	3	3,24
24. La utilización de sensores inteligentes, sensores ópticos, visión artificial y sistemas de control integrados en la maquinaria de fabricación tendrán funciones de monitorización, autodiagnóstico y registro de indicadores de proceso.	10	21	14	11	24	11	0	0	16	23	6	0	0	5	19	11	25	23	13	3	3,22

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras			IGI		
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas	Dificultades aplicación	Sociales	Ind. Grado Importancia
14. Se estandarizarán los criterios y herramientas utilizados para modelizar, planificar o cuantificar los impactos medioambientales derivados de la construcción, lo que obligará a los fabricantes de maquinaria a dar información suficiente en este sentido.	5	24	16	9	24	8	4	2	18	21	3	3	3	6	29	8	21	16	20	5	3,20
3. Se creará un marco legal que favorezca la cooperación entre empresas. Se explotarán las posibilidades de colaboración entre empresas a través de redes y de mecanismos para compartir información.	5	20	20	7	26	8	3	0	17	21	6	1	2	11	30	3	6	13	25	12	3,20
25. Se extenderán los sistemas de fabricación y montaje modulares para procesos de fabricación continua en pequeñas series y con alta variabilidad.	9	22	13	15	21	8	2	0	14	22	4	1	0	2	30	12	15	21	13	2	3,20
28. La incorporación de materiales inteligentes y dispositivos avanzados para la reducción de ruido y vibraciones sustituirán progresivamente a los elementos convencionales.	5	17	22	5	18	14	7	0	16	20	7	2	0	10	25	10	25	25	4	2	3,11
27. Se extenderá el uso de equipos operados por control remoto utilizando nuevas tecnologías de redes de comunicación y sistemas de posicionamiento global.	10	18	17	14	21	13	0	0	13	23	9	0	0	8	30	6	19	26	8	4	3,09

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras				IGI Ind. Grado Importancia	
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas	Dificultades aplicación		Sociales
23. Existirán procesos de inyección y procesado de metales análogos a los utilizados con materiales plásticos.	4	15	25	5	19	14	10	1	12	27	4	2	2	8	27	7	17	31	9	0	3,09
22. Aparecerán procesos de fundición, forja y estampación que permitirán mejorar las tolerancias dimensionales de las piezas, permitiendo tener piezas listas para montaje.	6	19	20	10	20	11	4	0	15	17	12	0	0	8	22	13	10	33	5	1	3,07
7. Nuevas leyes en cuestiones relativas a propiedad industrial y a protección de la información obligará a las empresas a dedicar recursos específicos a estas cuestiones.	7	21	16	17	22	5	2	1	15	17	11	2	2	14	22	7	25	8	14	5	3,00
26. Se extenderán los sistemas de prototipado rápido capaces de trabajar con distintos materiales y ligados a los sistemas de desarrollo para la fabricación de pequeñas series de piezas.	6	20	19	14	22	6	2	2	8	25	9	3	2	10	25	7	22	17	12	0	2,84
32. Existirán máquinas con microsistemas integrando sensores, actuadores y procesado digital de señal en un único chip.	4	11	28	3	16	18	6	0	5	26	10	2	0	13	26	4	23	26	6	2	2,79
18. Las máquinas integrarán diferentes operaciones del proceso y podrán adaptarse fácilmente con variaciones sencillas de su configuración.	2	24	19	9	22	9	3	2	3	28	11	2	3	13	28	0	20	21	13	0	2,73

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras			IGI		
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas	Dificultades aplicación	Sociales	Ind. Grado Importancia
21. Se generalizará la sustitución de sistemas mecánicos de unión convencionales (soldadura, remaches, tornillos, etc) en favor de adhesivos o sistemas de montaje rápidos.	7	18	20	3	17	12	7	6	8	16	17	4	6	11	22	5	10	38	12	3	2,62
16. El aumento de las actividades de rehabilitación y mantenimiento, así como las actividades de bricolaje y reparación casera, requerirá de nuevas máquinas adaptadas a estas necesidades.	4	19	22	23	18	4	0	1	7	12	24	3	3	14	26	2	18	6	9	5	2,50

4.6. CONCLUSIONES

De los cinco factores impulsores de la innovación definidos que actúan en las tendencias se extraen una serie de conclusiones asociadas a las variables utilizadas en este estudio. Las variables más significativas para un análisis general corresponden al horizonte temporal, el grado de importancia y el nivel de conocimiento.

En una primera aproximación a los resultados se aprecia una mayor preocupación sobre la temática de seguridad y salud, con el IGI más alto, seguido de los nuevos modelos empresariales. Este resultado se ve respaldado por el nivel de conocimiento en el caso de la seguridad y salud, que es el mayor. Sin embargo, el asociado con los nuevos modelos empresariales se sitúa en tercer puesto.

En cuanto al horizonte temporal, el bloque nuevos modelos empresariales destaca por su proximidad temporal (año 2011). El resto de bloques se encuentran agrupados en la horquilla 2012-2014. En el caso de seguridad y salud, aún con sus grados de importancia y conocimiento elevados, la reciente implantación de normativa al respecto puede ser la causa que ha obligado a las empresas a adquirir una mayor concienciación y conocimiento de la materia y por tanto consideran que los cambios venideros se producirán a un plazo de tiempo más largo.

Las barreras que se encuentran en la aplicación de las tendencias en la mayoría de bloques son las económicas. La excepción corresponde al bloque de tecnologías, donde las barreras tecnológicas superan a las económicas, aunque por escaso margen.

A continuación se exponen las conclusiones del estudio por bloques de tendencias para incidir en particularidades no tratadas anteriormente.

NUEVOS MODELOS EMPRESARIALES

Es la temática con el horizonte temporal más próximo. Esto puede ser debido a la percepción por parte de los encuestados de que debe producirse una inminente mejora para no perder

competitividad. Sin embargo, el nivel de conocimiento no es acorde con la inmediatez de las tendencias.

En cuanto a las barreras que presentan las tendencias del bloque, destacar el porcentaje de las barreras sociales (15 %), mucho mayor al del resto de los bloques. Esto puede ser debido a las tendencias de subcontratación y deslocalización de la producción a países con mano de obra más barata. La barrera mayoritaria es la económica pero con menor porcentaje respecto al resto de temáticas, debido a que la inmediatez de las tendencias del bloque ha producido una previsión por parte de las empresas en este apartado. No sucede lo mismo con las barreras de dificultad de aplicación, que registra el mayor porcentaje de todas las temáticas.

4.6.1. SEGURIDAD Y SALUD

Las tendencias englobadas en este bloque son las que tienen mayor índice de grado de importancia. Esto puede ser debido a la sensibilización de los empresarios por la reciente implantación de normativa al respecto, unida a las sanciones asociadas. Del mismo modo se explicaría el horizonte temporal en el que se sitúan las tendencias. Siendo prevista la implantación de las mismas a medio-largo plazo.

Las barreras que presentan las tendencias de este bloque son económicas y de dificultad de aplicación. Siendo estas primeras las más importantes, debido a las inversiones necesarias para el cumplimiento de la legislación en esta temática.

4.6.2. SOSTENIBILIDAD

Este bloque de tendencias posee el tercer índice de grado de importancia más alto del estudio, sin embargo su horizonte temporal es el más lejano de todas las temáticas. Aunque se considera un aspecto importante, se aplazará su implantación según los encuestados, debido muy probablemente a las grandes inversiones necesarias para acometer estas tendencias. Esto se ve reflejado en las barreras de este bloque, que son económicas en un porcentaje superior al 45% siendo así la temática donde este porcentaje es más alto.

4.6.3. PROCESOS, TÉCNICAS Y MATERIALES

Se trata de la temática con menor índice de grado de importancia y menor nivel de conocimiento. El horizonte temporal de las tendencias se sitúa en el año 2012 y las barreras que presentan en su implantación son económicas y tecnológicas en su mayor parte, con un 38% y 30 % respectivamente.

4.6.4. TECNOLOGÍAS

Este bloque de tendencias es el segundo por índice de grado de importancia más bajo, solo por encima del bloque anterior. También su nivel del conocimiento es el segundo más bajo y el horizonte temporal se sitúa en el año 2013.

La barrera de implantación con mayor porcentaje corresponde a las barreras tecnológicas, seguidas muy de cerca por las económicas. Ambas aglutinan un porcentaje superior al 70 %, lo que muestra su importancia sobre el resto.

4.7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Adopting foresight in construction. Informe elaborado por Construction Industry Research and Information Association. Año 1999
- [2] Estudio preliminar sobre las necesidades de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Civil. Elaborado por TYPSA. Año 2002
- [3] Intelligent Infrastructure Futures Scenarios Toward 2055 – Perspective and Process. Elaborado por Office of Science and Technology del Reino Unido. Año 2006
- [4] Boletín FORUM número 13. Elaborado por la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo. Año 2005
- [5] Constructing the Future. Elaborado por The Office of Science and Technology and The Department of Trade and Industry del Reino Unido. Año 2001
- [6] Flash sectorial de la construcción. Elaborado por ESADE – Centro de Formación Empresarial. Año 2006.
- [7] Estadística de la estructura de la industria de la construcción. Elaborado por la Subdirección General de Estadística y Estudios dependiente del Ministerio de Fomento. Año 2003
- [8] Estudio del sector de la construcción en la comunidad autónoma de Navarra. Elaborado por el Servicio Navarro de Empleo. Año 2004
- [9] El sector de la construcción en la Comunidad Valenciana. Elaborado por la Consejería de empresa, universidad y ciencia de la Generalitat Valenciana. Año 2005.
- [10] Foresight 2020 Economic, industry and corporate trends. Elaborado por Economist Intelligence Unit. Año 2006
- [11] Informe Euroconstruct. Elaborado por ITEC. Noviembre del 2005
- [12] Encuesta coyuntural de la industria de la construcción. Elaborado por la Subdirección General de Estadística y Estudios dependiente del Ministerio de Fomento. Año 2002
- [13] Informes sectoriales de la comunidad autónoma del País Vasco: Maquinaria de elevación y manipulación. Elaborado por la federación de cajas de ahorros Vasco-Navarras. Año 1997.
- [14] Informes sobre el sistema español de innovación: Innovación en la Construcción. Fundación COTEC para la innovación tecnológica. Año 2000
- [15] Estado del medio ambiente en la CAPV 2004: Construcción. Elaborado por el Gobierno Vasco. Año 2004
- [16] Obra Civil. Tendencias Tecnológicas a medio y largo plazo. Informe de prospectiva tecnológica industrial publicado por la fundación OPTI. Año 2003
- [17] Gestión de la cadena de suministro. Informe de prospectiva tecnológica industrial publicado por la fundación OPTI. Año 2006
- [18] Tecnologías de diseño y producción. Tendencias tecnológicas a medio y a largo plazo. Informe de prospectiva tecnológica industrial publicado por la fundación OPTI. Año 2002
- [19] Tecnologías de la información y las comunicaciones. Informe de prospectiva tecnológica industrial publicado por la fundación OPTI. Año 2002
- [20] Medio ambiente industrial. Informe de prospectiva tecnológica industrial publicado por la fundación OPTI. Año 2002

5. Situación tecnológica

5.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo incluye una recopilación de 14 artículos técnicos en los que se han aglutinado las tendencias tecnológicas identificadas por el panel de expertos a lo largo del proyecto Impulsa y que hacen referencia a 4 de los 5 temas incluidos en las mismas (Seguridad y Salud, Sostenibilidad, Procesos, Técnicas y Materiales para la Construcción y Tecnologías), según se indica a continuación:

1. Reglamentación armonizada en el sector de maquinaria de construcción y obra pública (tendencia tecnológica 8).
2. Integración de aspectos de seguridad y salud en la fase de diseño de las máquinas para construcción y obra pública (tendencias tecnológicas 9, 10 y 12).
3. Ecodiseño y ecoeficiencia en la maquinaria de construcción y obra pública (tendencias tecnológicas 11, 13, 14, 17).
4. Automatización en la construcción (tendencia tecnológica 15).
5. Nuevos sistemas constructivos y su impacto en la maquinaria de construcción y obra pública. La construcción industrializada y la rehabilitación y el mantenimiento de edificios (tendencias tecnológicas 15 y 16).
6. La multifuncionalidad en la maquinaria de construcción y obra pública (tendencia tecnológica 18).
7. Herramientas de CAD/CAM/CAE y prototipado virtual y rápido para diseño y desarrollo de maquinaria de construcción y obra pública (tendencias tecnológicas 19 y 26).
8. Técnicas de tratamiento superficial por láser y nano-recubrimientos en maquinaria de construcción y obra pública (tendencia tecnológica 20).
9. Sistemas de unión para maquinaria de construcción y obra pública (tendencia tecnológica 21).
10. Nuevos procesos de fabricación en maquinaria de construcción y obra pública (tendencias tecnológicas 22, 23 y 25).
11. Maquinaria de construcción y obra pública inteligente. Automatización (tendencias tecnológicas 24, 27, 29, 32, 33).
12. Sistemas para reducción de ruido y vibraciones en maquinaria de construcción y obra pública (tendencia tecnológica 28).
13. Uso de nuevos materiales en maquinaria de construcción y obra pública (tendencia tecnológica 30).
14. Herramientas de realidad virtual para aprendizaje y manejo de maquinaria de construcción y obra pública (tendencia tecnológica 31).

Estos artículos han sido elaborados por expertos técnicos de cada área temática pertenecientes preferentemente al área técnica del Instituto Tecnológico de Aragón (ITA), aunque también se ha contado con colaboraciones de diversa índole de expertos de la Universidad de Zaragoza y CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial) e incluso de otros profesionales independientes.

El objetivo de estos artículos técnicos es el de dar una respuesta prospectiva desde un punto de vista científico-tecnológico a las anteriores tendencias tecnológicas con objeto de disponer de una valoración adicional a los resultados de las encuestas presentadas y analizadas en el capítulo 4.

Todos los estudios se han estructurado entorno a cuatro apartados a través de los cuáles se pretende no sólo dar una orientación prospectiva de cada tendencia sino aportar información científico-tecnológica al lector y de la situación de la misma en otros sectores industriales.

En el primer apartado de cada estudio técnico se realiza una descripción de los elementos básicos de la tecnología asociada a la tendencia tecnológica a nivel general identificándose las aplicaciones usuales en otros sectores y los referentes tecnológicos (empresas, universidades, centros tecnológicos, etc.)

En el segundo apartado se realiza un análisis del estado actual de aplicación de la tecnología en el sector de la Maquinaria de Construcción y Obra Pública a nivel nacional e internacional.

En el tercer apartado se da una prospectiva de la tendencia tecnológica a nivel nacional e internacional, identificándose los retos tecnológicos futuros que han de salvarse así como los impactos de la aplicación de la citada tecnología en el sector de la Maquinaria de Construcción y Obra Pública a nivel nacional e internacional.

Por último, en el cuarto apartado se presentan las referencias bibliográficas usadas en cada artículo, numeradas correlativamente según aparecen en el texto e indicándose autor, título, año de publicación y soporte documental. Hay que indicar que se han usado 570 referencias de todo tipo para la realización de los 14 artículos técnicos y que todas ellas están referenciadas en los textos, con objeto de sostener la información dada y de que el lector pueda ampliarla en función de su interés.

Los contenidos de estos artículos han sido revisados por el panel de expertos del proyecto Innpulsa y la conclusión general ha sido la de recomendar su publicación con objeto no sólo de informar sino también de sensibilizar acerca de los importantes retos tecnológicos a los que se enfrenta al sector en el medio plazo y que pueden ser la base de la competitividad futura a nivel internacional para este conjunto de empresas.

5.2. Reglamentación en el sector de maquinaria de construcción y obra pública

Olga Cantín

Laboratorio Eléctrico, Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)

1. INTRODUCCIÓN A LA REGLAMENTACIÓN ARMONIZADA

La industria de maquinaria para construcción, obras públicas y minería en España, es un sector heterogéneo que agrupa a un importante número de empresas, que además ha experimentado en los últimos años un importante proceso de crecimiento, tanto en tamaño como en presencia internacional.

Los principales destinos de exportación de este tipo de maquinaria, son los países tradicionalmente miembros de la Unión Europea como Portugal, Francia, Alemania, Reino Unido e Italia. A más distancia se encuentran países como Estados Unidos y México.

El interés de los fabricantes españoles del sector ha pasado de concentrarse en Latinoamérica y Europa Occidental principalmente, a abarcar una zona más amplia siendo especialmente remarcable el interés existente por los Países del Este de Europa y del Norte de África y Oriente Medio.

Con la apertura del mercado único europeo a mitad de los noventa, la Unión Europea desarrolló instrumentos para eliminar las barreras a la libre circulación de mercancías. Entre ellos, destaca en particular el Nuevo Enfoque de la reglamentación de los productos, y el Enfoque Global de la evaluación de la conformidad.

Para ello se establece el principio de reconocimiento mutuo y la armonización y normalización técnica. El principio de reconocimiento mutuo garantiza la libre circulación de mercancías y servicios, sin que sea necesario armonizar las legislaciones nacionales de los Estados miembros. Así pues, la venta de un producto legalmente fabricado en un Estado miembro no puede estar pro-

hibida en otro Estado miembro, aunque las condiciones técnicas o cualitativas difieran de las impuestas a los propios productos. Existe una única excepción: en caso de interés general (protección de la salud, los consumidores o el medio ambiente) se aplican condiciones estrictas.

La armonización técnica consiste en combinar el instrumento oficial de las Directivas, con normas europeas de aplicación voluntaria. Por tanto los estados están regulando los mismos riesgos, por lo que deben reconocer las normas técnicas de los otros estados como equivalentes a las suyas.

Una Norma, se define como un documento (especificación técnica), establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido de actividad normativa, que proporciona, a efectos de un uso común y repetido, normas, directrices o pautas destinadas a actividades o a sus resultados, y cuyo objetivo es lograr el mayor grado de orden en un contexto determinado.

Según sea el organismo reconocido de actividad normativa, se distinguen tres categorías de Normas:

Norma Internacional: Norma adoptada por una organización internacional de normalización y puesta a disposición del público;

Norma Europea: Norma adoptada por un organismo europeo de normalización y puesta a disposición del público;

Norma Nacional: Norma adoptada por un organismo nacional de normalización y puesta a disposición del público.

Se define Norma Armonizada, como Norma Europea elaborada por CEN, CENELEC o ETSI, bajo mandato de la Comisión Europea, basado en la Directiva 83/189/CEE. Además debe haber sido publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE), y transpuesta a la Normativa Nacional de al menos un Estado miembro.

Las Normas Armonizadas son voluntarias y otorgan presunción de conformidad con los requisitos esenciales de las Directivas bajo las cuales han sido publicadas en el DOUE.

A nivel europeo no existen barreras a la libre circulación de mercancías, está regulada por las Directivas Europeas y sus correspondientes transposiciones a la legislación nacional en cada Estado miembro.

Por el contrario, la libre circulación de mercancías a nivel internacional presenta barreras, no sólo arancelarias, sino también dificultades para conocer el sistema legislativo de los países, además de la gran cantidad de normas existentes, y de otros factores como el idioma, la distancia o las diferencias culturales de los países, que operan como obstáculos a la importación de productos.

La Organización Mundial del Comercio (OMC) es el único órgano internacional que se ocupa de las normas que rigen el comercio entre los países. Su núcleo está constituido por los Acuerdos, que han sido negociados y firmados por la mayoría de los países que participan en el comercio mundial. Estos documentos establecen las normas jurídicas fundamentales del comercio internacional. Son esencialmente contratos que obligan a los gobiernos a mantener sus políticas comerciales dentro de límites convenidos. Aunque son negociados y firmados por los gobiernos, el propósito primordial es ayudar a que las corrientes comerciales circulen con la máxima libertad posible, siempre que no se produzcan efectos secundarios desfavorables. Esto significa en parte, la eliminación de obstáculos. A fecha de 11 de Enero de 2007 la OMC está formada por 150 miembros.

1.1. REFERENTES

Las organizaciones de normalización a nivel internacional que elaboran y publican Normas internacionales voluntarias son: ISO

(Organización Internacional de Normalización), ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) e IEC (Comisión Electrotécnica Internacional).

En Europa las organizaciones de normalización son CEN (Comité Europeo de Normalización), CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnico) y ETSI (Instituto Europeo de Normalización de Telecomunicaciones).

El órgano de normalización en España es AENOR (Asociación Española de Normalización).

2. ESTADO ACTUAL DE APLICACIÓN DE LA REGLAMENTACIÓN ARMONIZADA A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

Hoy en día, la utilización de Normas Armonizadas para dar presunción de conformidad con los requisitos esenciales de las Directivas de aplicación a los productos, es la base fundamental para la comercialización dentro de la Unión Europea, aún siendo éstas de carácter voluntario.

El CEN (Comité Europeo de Normalización), además de desarrollar normas junto con CENELEC y ETSI, coopera con ISO (Organización Internacional de Normalización), para desarrollar conjuntamente normas, evitando la duplicidad del trabajo y así, establecer un sistema coherente de normativa. Una Norma ISO se adopta por el CEN como norma idéntica EN ISO. Posteriormente, esta Norma Europea puede adoptarse como Norma Armonizada.

Desde el año 1994, existe un acuerdo de cooperación entre la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) y CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnico) que consiste en la planificación conjunta del nuevo trabajo y a la votación paralela IEC/CENELEC. El objeto de este acuerdo, es evitar que se dupliquen los esfuerzos, agilizar la preparación de las normas y asegurar la mejor utilización posible de los recursos disponibles, en particular el tiempo de trabajo de los expertos. Si los resultados de la votación paralela son positivos tanto en la IEC como en el CENELEC, la IEC publicará la Norma Internacional, mientras que el CENELEC ratificará la Norma Europea. Posteriormente, esta Norma Europea, puede adoptarse como Norma Armonizada.

Por lo tanto hoy en día, parte de las Normas Armonizadas publicadas para la comercialización dentro de la Unión Europea, son equivalentes a Normas Internacionales.

A nivel internacional, los países miembros de la OMC, aceptan el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio, con el que se pretende prevenir y eliminar los obstáculos técnicos al comercio derivados de los reglamentos técnicos, las normas voluntarias y los procedimientos de evaluación de la conformidad. Asimismo se anima a los miembros de la OMC a la negociación de Acuerdos de Reconocimiento Mutuo de evaluación de la conformidad. Además, el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio, contiene el Código de Conducta para la preparación, adopción y aplicación de normas. En él se invita a los miembros de la OMC a asegurarse de que los organismos de normalización lo acepten y cumplan. Son más de 200 los órganos de normalización que aplican el código.

2.1. NORMAS INTERNACIONALES

Las Normas Internacionales, desempeñan un papel fundamental en el comercio internacional, ya que suprimen los obstáculos técnicos al comercio, promueven el crecimiento económico y abren nuevos mercados; además sirven de base para la normalización nacional.

Actualmente, en los países miembros de la Unión Europea, gran parte de la normativa europea es equivalente a la internacional, pero no ocurre lo mismo en países como Estados Unidos o China.

En los Estados Unidos existen normas federales, estatales y locales. Las normas federales son las de obligatorio cumplimiento en todo el país; el resto deben cumplirse en su respectivo ámbito. También el sector privado establece normas que son en principio voluntarias, pero en muchos casos acaban resultando de cumplimiento forzoso.

Además, en los Estados Unidos existe un gran número de entidades y asociaciones privadas que desarrollan normas voluntarias sectoriales. El NIST (National Institute of Standards & Technology) publica una lista de todas las asociaciones y entidades privadas. Algunas de éstas, no sólo desarrollan las normas, sino

que ofrecen servicios de pruebas de verificación y certificación, como es el caso de Underwriters Laboratories (UL).

Las normas de un gran número de entidades sectoriales muy establecidas, son recomendadas y, a su vez exigidas por organismos federales, estatales y locales competentes.

ANSI (American National Standard Institute) es una entidad privada que administra y coordina el sistema voluntario de normalización en los Estados Unidos.

Un ejemplo es UL, que ha elaborado sus propias normas de seguridad, la mayoría de las cuales han sido reconocidas por ANSI como normas nacionales americanas ANSI / UL, además participa en las actividades del desarrollo de las normas de la IEC y de la ISO, y adopta normas internacionales IEC e ISO (UL/IEC y UL/ISO), con desviaciones nacionales, cuando sea necesario, para coexistir con los requerimientos de la actual norma UL.

UL junto con ANCE (National Association of Standardization and Certification for the Electrical Sector) y con CSA (Canadian Standards Association), coordinados por CANENA (Council for Harmonization of Electrotechnical Standardization of the Nations of the Americas), trabajan en la armonización de normas a nivel regional dando lugar a normas ANCE / CSA / UL.

Aunque en Estados Unidos muchas de las normas se califican como internacionales, muy pocas de éstas últimas son adoptadas por la industria. La existencia de gran cantidad de normas y entidades gubernamentales, así como de entidades y asociaciones privadas que desarrollan normas voluntarias sectoriales, hace que la utilización de normas internacionales sea escasa.

En China, el proceso de generación de las leyes y la existencia de otro tipo de normas de rango menor, hace que todo el sistema legislativo adolezca de una cierta falta de transparencia. La existencia de legislaciones provinciales, dotadas en algunas materias de gran autonomía, establecen situaciones distintas en las diferentes zonas del país. Además, debido al idioma, sólo algunas normas de mayor importancia se traducen al inglés; las normas difieren de las normas internacionales.

2.2. ACUERDOS DE RECONOCIMIENTO MUTUO (ARM)

Los Acuerdos de Reconocimiento Mutuo (ARM) son acuerdos sobre el reconocimiento mutuo de la evaluación de conformidad de productos sometidos a regulación.

A través de un ARM, cada parte otorga y asume a su vez la autoridad para evaluar y certificar productos contrastándolos con los requisitos legislativos de la otra parte, en su propio territorio y antes de efectuar la exportación.

El objetivo de un ARM es facilitar el comercio entre las partes y el acceso a sus respectivos mercados, asegurando la aceptación mutua por las partes de los informes de ensayo, certificados y marcas de la conformidad emitidos por organismos designados en los acuerdos, de conformidad con los requisitos de la otra parte, para los sectores o productos cubiertos por los mismos.

Los ARM afectan a sectores fuertemente regulados por ambas partes y, por ello, a sectores donde los obstáculos técnicos al comercio pueden ser más críticos.

Por lo que se refiere a la Unión Europea y dentro de su Política Comercial, el Consejo, mediante Decisión de 21 de Septiembre de 1992, autorizó a la Comisión a negociar acuerdos entre la Unión Europea y determinados países terceros sobre el reconocimiento mutuo en materia de evaluación de la conformidad. La Unión Europea valoró la importancia que podía tener la consecución de ARM con los principales socios comerciales, y ha emprendido negociaciones de ARM con países como Estados Unidos, Japón, Canadá, Australia, Nueva Zelanda, Israel y Suiza.

El ARM entre la Comunidad Europea y Suiza, firmado el 21 de junio de 1999 y que entró en vigor el 1 de junio de 2002. Abarca gran número de sectores: Material eléctrico, Maquinaria, Material y Maquinaria de construcción, Compatibilidad electromagnética, Juguetes, Equipos sanitarios, Vehículos, Equipos de protección individual, Recipientes a presión y Aparatos y sistemas de protección usados en atmósferas potencialmente explosivas.

El ARM entre la Comunidad Europea y Japón, fue aprobado mediante la Decisión 2001/747/CE del Consejo, de 27 de

septiembre de 2001 y entró en vigor el 1 de enero de 2002. Abarca varios sectores: Equipos terminales de telecomunicación y equipos radioeléctricos, Productos eléctricos y Medicamentos.

El ARM entre la Comunidad Europea y Canadá, fue aprobado mediante la Decisión 98/566/CE del Consejo, de 20 de julio de 1998 y entró en vigor el 1 de noviembre de 1998. Abarca varios sectores: Equipos terminales de telecomunicación, Equipos de tecnología de la información y radiotransmisores, Seguridad eléctrica, Compatibilidad electromagnética y Embarcaciones de recreo.

El ARM entre la Comunidad Europea y Australia, fue aprobado mediante la Decisión 98/508/CE del Consejo, de 18 de julio de 1998 y entró en vigor el 1 de enero de 1999. Abarca gran número de sectores: Compatibilidad Electromagnética, Productos del sector del automóvil, Equipos terminales de telecomunicación, Baja Tensión. Productos sanitarios, Máquinas, Equipos a presión y Medicamentos.

El ARM entre la Comunidad Europea y Nueva Zelanda, fue aprobado mediante la Decisión 98/509/CE del Consejo, de 1998 y entró en vigor el 1 de enero de 1999. Abarca gran número de sectores: Compatibilidad Electromagnética, Productos del sector del automóvil, Equipos terminales de telecomunicación, Baja Tensión. Productos sanitarios, Máquinas, Equipos a presión y Medicamentos.

El ARM entre la Comunidad Europea y Estados Unidos fue aprobado mediante la Decisión 1999/78/CE del Consejo, de 22 de junio de 1998; y ha resultado el menos exitoso y más extenso de negociación. Incluso, se han suspendido las obligaciones de la Comunidad derivadas del sector de Seguridad Eléctrica según la Decisión 2003/57/CE de 21 de enero de 2003. En este momento abarca varios sectores: Equipos terminales de Telecomunicación, Equipos de tecnología de la información y radiotransmisores, Compatibilidad electromagnética, Embarcaciones de recreo, Dispositivos médicos y Medicamentos.

El ARM entre la Comunidad Europea e Israel se basa exclusivamente en los Principios de Buenas Prácticas de Laboratorio.

China no ha conseguido iniciar negociaciones con la Unión Europea.

3. TENDENCIA DE LA REGLAMENTACIÓN ARMONIZADA A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL. APLICACIÓN EN EL SECTOR DE LA MOP

A nivel nacional y europeo, los organismos de normalización están trabajando para desarrollar conjuntamente normas, teniendo a que el total de las Normas Armonizadas sean equivalentes a Normas Internacionales, las cuales se basen en las demandas del mercado.

Las Normas Internacionales desempeñan un papel fundamental en la mejora de la eficiencia industrial y en el desarrollo internacional.

Desarrollar Europa en la economía más innovadora en el mundo antes de 2010, es una de los puntos en la agenda de Lisboa del Consejo de Europa en el año 2000. Además, es esencial que la industria en Europa sea competitiva en el mercado global.

Uno de los requisitos previos para Europa a permanecer entre los líderes industriales mundiales es alzar y facilitar la innovación. La innovación se basa no sólo en la capacidad de la industria europea para desarrollar productos nuevos, los procesos y los procedimientos, sino también su capacidad de hacer cosas de maneras simplificadas y más eficientes.

A nivel internacional, los beneficios que se obtienen con los ARMS son muy importantes, puesto que se reducen los costes y las demoras asociadas a la obtención de certificaciones de productos, se evita la duplicación de procedimientos de evaluación de la conformidad y la incertidumbre existente en la obtención de certificaciones en el tercer país; y permiten que la evaluación de la conformidad sea realizada en el país del exportador. Estos beneficios adquieren mayor importancia cuando mayor es la distancia al mercado.

Aunque la tendencia es la negociación de ARM con terceros países, con objeto de facilitar el comercio reduciendo o eliminando los obstáculos técnicos, y así permitir el abordar nuevos merca-

dos. Las negociaciones, la creación de confianza, la implementación y otras actividades conexas con los ARM son actividades que consumen recursos y tiempo; y no siempre son satisfactorios. Como es el caso de Estados Unidos, en el que tras años de negociaciones, en enero de 2003 se suspendieron todas las obligaciones de la Comunidad derivadas del anexo sectorial sobre seguridad eléctrica del ARM entre la Unión Europea y Estados Unidos.

Debido a la corta vigencia de estos acuerdos, algunos de los cuales, se encuentran aún en la etapa de establecimiento de la confianza; es difícil evaluar el impacto de los ARM en nuestro comercio exterior con terceros países.

No obstante, los ARM pueden contribuir positivamente a favorecer una mayor armonización internacional de las normas, y hay que ser conscientes de las obligaciones como miembros de la Organización Mundial de Comercio (OMC), y obligaciones con arreglo al Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio.

Las exportaciones de maquinaria para construcción, obras públicas y minería, han crecido notablemente en los países de influencia del euro; no ocurre lo mismo en los países en los que el dólar representa la principal moneda de transacción internacional, como es Estados Unidos.

Teniendo en cuenta los puntos fuertes del sector de maquinaria para construcción, obras públicas y minería en España, que son: el nivel tecnológico incorporado, las elevadas prestaciones en cuanto a seguridad laboral y respeto al medioambiente por cumplir la legislación europea vigente, y el precio competitivo.

La negociación de Acuerdos de Reconocimiento Mutuo entre la Unión Europea y países como Estados Unidos y China, en este sector, sería de gran impacto por ser grandes potencias en cuanto a fabricantes y usuarias, de este tipo de maquinaria.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OFICINA ECONÓMICA Y COMERCIAL DE LA EMBAJADA DE ESPAÑA EN SHANGHAI (2004). "El Mercado de Maquinaria de Construcción en la República Popular de China".
- [2] OFICINA ECONÓMICA Y COMERCIAL DE LA EMBAJADA DE ESPAÑA EN CHICAGO (2005). "El Mercado de Maquinaria de Construcción en Estados Unidos de América".
- [3] OFICINA ECONÓMICA Y COMERCIAL DE LA EMBAJADA DE ESPAÑA EN PEKÍN. "China. Principales barreras de acceso".
- [4] OFICINA ECONÓMICA Y COMERCIAL DE LA EMBAJADA DE ESPAÑA EN CHICAGO. "Cómo abordar el mercado americano".
- [5] ANMOPYC (2005). "La maquinaria española para construcción, obras públicas y minería (Año 2005)".
- [6] COMISIÓN EUROPEA (1999). "Guía para la aplicación de las Directivas basadas en el Nuevo Enfoque y en el Enfoque Global".
- [7] SUBDIRECCIÓN GENERAL DE INSPECCIÓN, CERTIFICACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA DEL COMERCIO EXTERIOR (2002). "Acuerdos de Reconocimiento Mutuo. Facilitación del comercio".
- [8] El Portal del Derecho de la Unión Europea www.eur-lex.europa.eu
- [9] Asociación Española de Fabricantes Exportadores de Maquinaria para Construcción, Obras Públicas y Minería www.anmopyc.es
- [10] Instituto Español de Comercio Exterior www.icex.es
- [11] Organización Internacional de Normalización www.iso.org
- [12] Comisión Electrotécnica Internacional www.iec.ch
- [13] Comité Europeo de Normalización www.cen.eu
- [14] Underwriters Laboratories (UL) www.ul-europe.com
- [15] Organización Mundial del Comercio (OCM) www.wto.org

5.3. Integración de aspectos de seguridad y salud en la fase de diseño de las máquinas para construcción y obra pública

José Mené Roche

Departamento de Diseño Mecánico, Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)

1. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS BÁSICOS

1.1. INTRODUCCIÓN.

Las Máquinas para Construcción y Obra Pública (MOP) que quieran ser comercializadas y puestas en servicio dentro de la Unión Europea han de ser seguras, es decir, deberán ser diseñadas y fabricadas de manera que sean aptas para su función y puedan ser manejadas, reguladas y mantenidas sin riesgo para las personas.

Las directivas comunitarias de nuevo enfoque establecen los requisitos de seguridad y salud que deberán cumplir una serie de productos, entre ellos la MOP, para poder ser comercializados en la Unión Europea. En estas directivas se establece que el fabricante es el responsable de que la máquina no pueda comprometer la seguridad y salud de las personas y no pueda ocasionar daños al medio ambiente.

Dentro de estas Directivas de nuevo enfoque cabe destacar la Directiva 98/37/CE relativa a las máquinas, donde se establece el principio de integración de la seguridad. Hacer frente a los aspectos de seguridad y salud desde el principio, durante la fase de diseño, puede mejorar el nivel de protección de los trabajadores que vayan a instalar, utilizar o mantener la MOP.

Al diseñar la máquina el fabricante deberá aplicar los principios siguientes, en el orden siguiente:

- eliminar o reducir los riesgos en la medida de lo posible (diseño y fabricación de la máquina inherentemente seguros),
- adoptar las medidas de protección que sean necesarias frente a los riesgos que no puedan eliminarse,

- informar a los usuarios acerca de los riesgos residuales debidos a la incompleta eficacia de las medidas preventivas adoptadas, indicar si se requiere una formación especial y señalar si es necesario proporcionar algún equipo de protección individual.

Las medidas de prevención intrínseca constituyen el primer y más importante paso en el proceso de reducción de riesgos porque probablemente, las medidas preventivas inherentes a las características de las máquinas permanecen efectivas, mientras que la experiencia muestra que incluso las protecciones bien diseñadas pueden fallar o ser violadas y la información puede no ser puesta en práctica [1].

Dentro del amplio número de disposiciones que establece la Directiva 98/37/CE [2] para evitar diferentes peligros o situaciones peligrosas en las máquinas, se pueden encontrar una serie de medidas de prevención intrínsecas destinadas a eliminar los riesgos para la salud de los trabajadores asociados a la exposición a ruido, vibraciones y sustancias peligrosas.

Además de la Directiva 98/37/CE, existen las Directivas 2000/14/CE [3] y la 97/68/CE [4], mediante las que establecen respectivamente una serie de valores límite para los niveles acústicos y de emisiones de gases y partículas contaminantes, con el objeto de garantizar un elevado nivel de protección para la salud y el bienestar de los ciudadanos, así como del medio ambiente.

Paralelamente al desarrollo de las Directivas de nuevo enfoque, en la Unión Europea se están elaborando una serie de Directi-

vas específicas, que desarrollan una Directiva marco de Prevención de Riesgos Laborales, con el objeto de regular las condiciones de seguridad y salud que se deben cumplir en los centros de trabajo y establecer las obligaciones específicas que deben cumplir los empresarios para garantizar la seguridad y salud de sus trabajadores.

Dentro de esta serie de Directivas específicas (18 en total), existen dos en las que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos: La Directiva 2002/44/CE [5] sobre exposición a vibraciones y la Directiva 2003/10/CE [6] sobre exposición a ruido. Ambas tienen por objeto establecer una serie de valores límite de exposición durante la jornada laboral para garantizar la salud de los operadores de MOP.

La obligación de no superar los niveles de exposición señalados en estas Directivas, va a conducir a que un mismo operador solamente pueda utilizar una máquina durante un tiempo determinado a lo largo de la jornada laboral, el cual se verá notablemente reducido cuanto mayores sean los niveles de emisión acústica y de vibraciones emitidos por las máquinas.

Esta situación va a conducir a que los usuarios de MOP se decanten por aquellas máquinas que emitan menor nivel de ruido y vibraciones, lo que llevará a los fabricantes a integrar una serie de medidas técnicas de reducción de los niveles de emisión de ruido y vibraciones en la fase de diseño de la máquina.

El presente estado del arte hace referencia a la utilización o el diseño de nuevas tecnologías de prevención intrínseca para la reducción de los niveles de emisión de ruido, vibraciones y gases contaminantes, así como el registro e información de estos niveles de emisión en MOP.

1.2. REFERENTES TECNOLÓGICOS.

Automoción, Aeronáutica, Ferrocarril y Máquina Herramienta son algunos de los sectores referentes en la aplicación y desarrollo de tecnologías relacionadas con la seguridad y la salud y por tanto, con la reducción de niveles de emisión. A continuación se enumeran algunos proyectos y tecnologías relevantes de estos sectores:

- Reducción de la emisión de ruido y vibraciones en Máquinas Herramientas.
- Sistema de control activo de vibraciones autoexcitadas en Máquina Herramienta [7].
- Sistema de control activo de ruido y vibraciones mediante asientos para Aeronaves [8].
- Dispositivo para el registro de magnitudes mecánicas como ángulos de giro, número de revoluciones, velocidades angulares o aceleraciones angulares [9].

Entre los Centros Tecnológicos nacionales que están desarrollando proyectos relacionados con la seguridad y la salud y la reducción del nivel de emisiones se encuentran [19] [26]:

- Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Guipúzcoa "Procedimiento de predicción de ruido aerodinámico de componentes para la industria del transporte".
- Fundación Barredo "Simulador de maquinaria minera mediante técnicas de realidad virtual".
- Instituto Tecnológico de Aragón "Reducción de vibraciones en MOP".
- IDEKO "Reducción de emisión de ruido en Máquinas Herramientas".
- LABEIN Tecnalia.
- Instituto de Acústica C.S.I.C.
- AIDICO Instituto Tecnológico de la Construcción.
- Centro Tecnológico de Automoción de Galicia.

Cabe destacar la labor de otros organismos relacionados con la seguridad y salud y control de máquinas. Se trata de los organismos notificados, los cuales comprueban los requisitos de seguridad y salud y los niveles de emisión de las máquinas, como pueden ser [27] [29]:

- Centro Nacional de Verificación de Maquinaria de Vizcaya.
- Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.
- LGAI Technological Center.

Centros de inspección y certificación vehicular como [30] [31]:

- IDIADA.
- Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, INTA.

A nivel internacional, son centros relevantes [32] [34]:

- Institute of Noise Control Engineering of Europe.
- Canadian Machinery Vibration Association.
- Institute of Sound and Vibration Research.

Y los siguientes organismos de control europeos [35] [37]:

- TÜV Internacional.
- Association Interprofessionnelle de France.
- Istituto di Certificazione Europea Prodotti Industriali, S.P.A.



Figura 1. Laboratorio de ensayos de ruido.

2. ESTADO ACTUAL DE LA SEGURIDAD Y SALUD EN LA FASE DE DISEÑO EN EL SECTOR DE LA MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN Y OBRA PÚBLICA A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE LA SEGURIDAD Y LA SALUD EN EL DISEÑO A NIVEL NACIONAL.

A nivel nacional, no está muy extendido el uso de tecnologías de prevención intrínseca en la fase de diseño en el sector de la MOP, pero sí que es habitual aplicar medidas correctoras tras la fabricación de las máquinas y la realización de medidas experimentales.

El registro de información que la MOP lleva a cabo se centra en el registro de parámetros para la realización de mantenimiento preventivo, principalmente en maquinaria pesada; y suele ser inexistente el registro, control e información de niveles de emisión de vibraciones, ruido, sustancias peligrosas, etc. de cara a la seguridad y la salud de las personas y la protección del medio ambiente.

Esto no quiere decir que determinadas empresas del sector, no estén aplicando o desarrollando dichas tecnologías en la fase de diseño para tratar de transmitir los mínimos niveles de emisión a los operarios. Tales tecnologías se mencionan a continuación:

- Automatización de las máquinas.
- Utilización de controles remotos para el mando de las máquinas.
- Sustitución de accionamientos hidráulicos por eléctricos.
- Introducción de amortiguadores, acoplamientos y “amortiguadores de masa sintonizados”.
- Colocación de silenciadores, filtros, pantallas, encapsulamientos acústicos.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE LA SEGURIDAD Y LA SALUD EN EL DISEÑO A NIVEL INTERNACIONAL.

A nivel internacional cabe destacar por su avanzada tecnología Caterpillar, Liebherr, John Deere, Komatsu, etc. por las patentes registradas en sistemas para minimizar los niveles de vibración y ruido. Algunas de las tecnologías aplicadas por éstas y otras empresas se mencionan a continuación:

- Análisis del estado del terreno o de las solicitaciones que le genera a la máquina para optimizar el régimen de trabajo.
- Registro de datos de emisión de vibraciones y ruido de la máquina para obtener un mantenimiento predictivo.
- Sistema de amortiguación de motores que reducen la emisión de ruido [10]
- Elementos activos de suspensión.

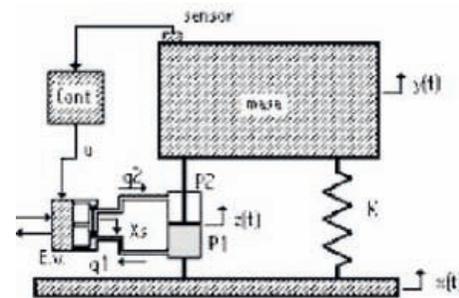


Figura 2. Modelo de simulación de un sistema activo de reducción de vibraciones.

- Variación de la geometría interna de los motores para la reducción de los niveles de ruido [11].
- Atenuadores de vibraciones y en consecuencia de ruido en los mecanismos de las máquinas, por ejemplo en la dirección asistida [12].
- Introducción de estructuras más ligeras y amortiguadas para la reducción de ruido y vibraciones.

Volvo, Mercedes, Atlas Copco, etc., por el desarrollo de motores de eficiencia de consumo de combustible y reducción de niveles de emisión de gases de escape, ruido y vibraciones.

- Desarrollo de motores de combustión más ahorrativos en consumo, menos contaminantes y más pequeños que combinan una mayor gestión electrónica.
- Sistema de control del régimen de revoluciones en función de la exigencia de potencia requerida para la reducción de los niveles de emisión [13].

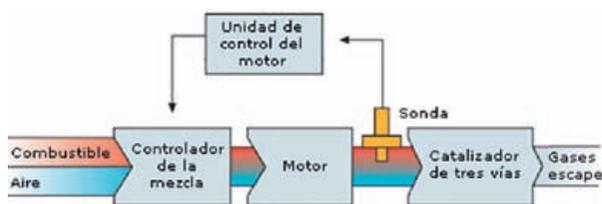


Figura 3. Sistema de control de motor para reducción de emisión de gases.

- Utilización de catalizadores y purificadores, como por ejemplo los dispositivos para purificar y catalizar NOx [14] y SOx [15].
- Dispositivos de registro y control de emisión de gases [16] [17].
- Sistema de registro de niveles de emisión de gases utilizado para indicar un mal funcionamiento e información del nivel de emisión [18].

3. TENDENCIAS DE LA SEGURIDAD Y LA SALUD EN EL DISEÑO A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

3.1 EL RETO FUTURO Y LAS NECESIDADES DE I+D+I

La emisión en las máquinas es un agente agresor para la salud de los trabajadores y la efectividad en el trabajo y compromete la protección del medio ambiente. Se deben tomar en consideración los requisitos de seguridad y salud en el diseño de una nueva maquinaria (Directiva 98/37/CE) y los niveles máximos de emisión de ruido, vibraciones y gases (Directivas 2000/14/CE, 2002/44/CE y 2004/26/CE respectivamente).

La tendencia tecnológica de integración de aspectos de seguridad y salud en la fase de diseño debería ser la introducción o desarrollo de nuevas tecnologías de prevención intrínsecas que eliminen los peligros o reduzcan los riesgos asociados a los mismos. Algunas de estas tecnologías estarán orientadas a los peligros de emisión de ruido, vibraciones y gases.

Respecto a las vibraciones y ruido, además de introducir sistemas de amortiguación, pantallas y encapsulamientos, se espera que se compaginen con sistemas de control activos. Se prevé la introducción de nuevos materiales más ligeros y de mayor amortiguación para la reducción de los niveles de vibración y ruido. También el control remoto de vehículos y la automatización de las tareas distanciarán al operario de las fuentes de vibración y ruido.

En cuanto a la emisión de gases, los planes de la Unión Europea prevén una fuerte bajada en la emisión de contaminantes para el 2009. La tendencia tecnológica a corto plazo prevé la aplicación de tecnologías en los motores de combustión interna de registro y control de emisión de gases, control de la curva de potencia para reducir el consumo y contaminación de los motores y obtener una mayor eficiencia de la máquina. Se aprecia una tendencia a la implantación de motores eléctricos frente a los de combustión interna, lo que se traducirá en una disminución de las emisiones de ruido y gases de combustión. A largo plazo se prevé la mejora y desarrollo de nuevos combustibles como la pila de combustible, hidrógeno, etc., lo que implicará el desarrollo y cambio de nuevas propulsiones.

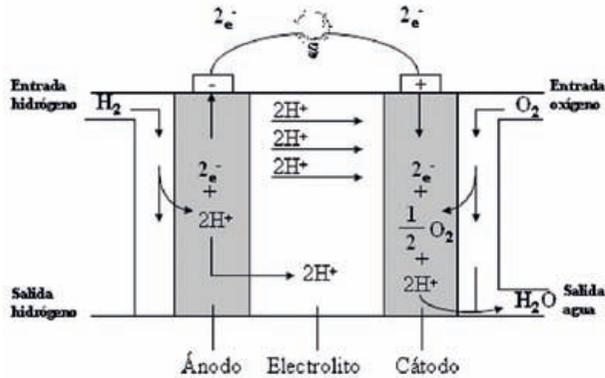


Figura 4. Sistema de almacenamiento de energía. Pila de combustible.

También cabe destacar la importación de un buen mantenimiento de las máquinas ya que es parte esencial para controlar los niveles de emisión. La tendencia tecnológica en este aspecto prevé el desarrollo y aplicación de tecnologías de registro e información in situ de los niveles de emisión de las máquinas, tanto para la aplicación de planes de mantenimiento preventivo y predictivo, como para informar de los niveles de emisión a los usuarios y las autoridades competentes.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] UNE-EN ISO 12100-2 Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 2: Principios técnicos.
- [2] DIRECTIVA 98/37/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 22 junio de 1998 relativa a la aproximación de legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas.
- [3] DIRECTIVA 2000/14/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 8 de mayo de 2000 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre emisiones sonoras en el entorno debidas a las máquinas de uso al aire libre.
- [4] DIRECTIVA 2001/63/CE DE LA COMISIÓN de 17 de agosto de 2001 por la que se adapta al progreso técnico la Directiva 97/68/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre medidas contra la emisión de gases y partículas contaminantes procedentes de los motores de combustión interna que se instalan en las máquinas móviles no de carretera.
- [5] DIRECTIVA 2002/44/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de junio de 2002 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones) (decimosexta Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).
- [6] DIRECTIVA 2003/10/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 6 de febrero de 2003 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido).
- [7] ES200501099 "Sistema de control activo de vibraciones autoexcitadas en Maquina Herramienta".
- [8] "Sistema de control activo de ruido y vibraciones mediante asientos para Aeronaves". www.sea-acustica.es/Gandia06/AEVO02.pdf.

3.2 IMPACTO DE APLICACIÓN

El sector de MOP se encuentra en permanente evolución de forma que para lograr la excelencia en el mismo es vital incorporar en el diseño de las máquinas los últimos avances tecnológicos con el fin de lograr una diferenciación aportando mayor valor añadido y aumentando con ello la competitividad del equipo en cuestión.

Las empresas han de tomar conciencia de la importancia de invertir en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), para adecuarse al desarrollo del sector de la construcción. A los tradicionales avances que se venían produciendo consiguiendo máquinas con mayor eficiencia operativa hay que sumar los esfuerzos que se realizan en materia de protección de la seguridad de los trabajadores y respeto al medio ambiente.

Los niveles de emisión de ruido, vibraciones y gases de las máquinas constituyen un indicador de la eficiencia en el funcionamiento de las máquinas.

- [9] 97937557.3 "Dispositivo para el registro de magnitudes mecánicas como ángulos de giro, numero de revoluciones, velocidades angulares o aceleraciones angulares". www.invenia.es/oeqm:e97937557.
- [10] US-7201254 B2. "Machine housing component with acoustic media grille and method of attenuating machine noise".
- [11] EP-1281840 B1 "Reduced noise engine compression release braking".
- [12] US-7059353 B2. "Power steering noise and vibration attenuator".
- [13] US-7165530 B2. "Method for controlling a variable-speed engine".
- [14] EP-1770253 A1. "Exhaust purification apparatus for engine".
- [15] EP-1760282 A1. "Exhaust purifier for compression ignition type internal combustion engine".
- [16] US-2006/0266018 A1. "Exhaust control system implementing sulphur detection".
- [17] EP-1762710 A1 "Exhaust emission control device".
- [18] US-2007/0101705 A1. "Particulate loading monitoring system".
- [19] Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Guipúzcoa, www.ceit.es.
- [20] Instituto Tecnológico de Aragón, ITA, www.ita.es.
- [21] Fundación Barredo, www.fund-barredo.es.
- [22] IDEKO, www.ideko.es.
- [23] LABEIN Tecnalia, www.labein.es.
- [24] Instituto de Acústica C.S.I.C., www.ia.csic.es.
- [25] AIDICO Instituto Tecnológico de la Construcción, www.aidico.es.
- [26] Centro Tecnológico de Automoción de Galicia, www.ctag.com.
- [27] Centro Nacional de Verificación de Maquinaria de Vizcaya, www.mtas.es/insht/principal/locacnvm.htm
- [28] Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR, www.aenor.es.
- [29] LGAI Technological Center, www.lgai.es.
- [30] IDIADA, www.idiada.es.
- [31] Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, INTA, www.inta.es.
- [32] Institute of Noise Control Engineering of Europa, www.inceusa.org.
- [33] Canadian Machinery Vibration Association, www.cmva.com.
- [34] Institute of Sound and Vibration Research, www.isvr.soton.ac.uk.
- [35] TÜV Internacional, www.tuv.com.
- [36] Association Interprofessionnelle de France, www.association-ainf.com.
- [37] Instituto di Certificazione Europea Prodotti Industriali, S.P.A., ICEPI, www.icepi.com.

5.4. Ecodiseño y ecoeficiencia en la maquinaria de construcción y obra pública (MOP)

Agustín Chiminelli Sarriá

Departamento de Materiales, Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)

1. DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS BÁSICOS DE ECODISEÑO Y ECOEFICIENCIA

Una de las principales conclusiones de la Conferencia de las Naciones Unidas de Río de Janeiro sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Junio de 1992) fue que la reducción de los impactos ambientales generados por el hombre requiere de un compromiso no sólo por parte de los gobiernos, sino también por parte de las empresas, las organizaciones no gubernamentales y las comunidades científico-tecnológicas [1].

A nivel empresarial, este compromiso se ve reflejado principalmente en la implementación de los Sistemas de Gestión Medioambiental (SGMA), planteados como un conjunto de acciones y medidas que se toman de cara a contribuir al cumplimiento de la legislación vigente y a disminuir las agresiones que se generan sobre el ambiente [2]. La incorporación de estas políticas en las compañías ha generado a su vez nuevos conceptos, como los de ecodiseño y ecoeficiencia, asociados al mismo objetivo: la reducción de los impactos ambientales de productos o servicios.

1.1. DEFINICIONES

El ecodiseño puede definirse como la “integración de los aspectos medioambientales en el diseño del producto con el fin de mejorar su comportamiento medioambiental a lo largo de todo su ciclo de vida” [3]; mientras que la ecoeficiencia se entiende como “la distribución de bienes y servicios a precios competitivos que satisfacen las necesidades humanas y mejoran la calidad de vida, al tiempo que reducen progresivamente los impactos ecológicos y la intensidad de recursos a lo largo del ciclo de vida a un nivel al menos adecuado a la capacidad estimada

del planeta” [4]. Por lo tanto, la ecoeficiencia se plantea como un objetivo, mientras que el ecodiseño aparece como una vía para su consecución.

El ecodiseño incorpora los aspectos ambientales como un nuevo criterio a considerar en la definición de un producto o servicio, basándose en una valoración del impacto medioambiental que generará a lo largo de toda su vida: desde la obtención de las materias primas y la utilización de recursos energéticos primarios, pasando por las fases de fabricación, uso y mantenimiento, hasta su fin de vida (incluyendo el posible reciclado o reutilización). Evidentemente, este planteamiento establece un campo de acción ambiental de gran amplitud, que va más allá de las acciones correctivas o mejoras que suelen aplicarse en general sobre productos que ya están en el mercado.

Por otro lado, la ecoeficiencia es el principal medio a través del cual las empresas contribuyen al desarrollo sostenible y al mismo tiempo consiguen incrementar su competitividad. Introduce una valoración económica del producto o del servicio en relación con su impacto ambiental, por lo que integra ambos aspectos [5].

$$\text{Ecoeficiencia} = \text{Valor del producto o Servicio} / \text{Impacto Ambiental}$$

La utilización de metodologías de ecodiseño sobre un producto permiten disminuir desde su definición su impacto ambiental, con la consecuente mejora del índice de ecoeficiencia asociado.

1.2. REFERENTES TECNOLÓGICOS

A nivel empresarial, los países líderes en la incorporación de SGMA son Japón, China, España, Italia y Reino Unido [6]. Sin embargo, existen otros países con un importante desarrollo, incluso superior al de los países anteriores, en temas concretos de ecodiseño y ecoeficiencia como Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Diseño de fin de vida (reciclado, recuperación) o Estudios de Impacto Ambiental. Pueden destacarse entre ellos a Dinamarca, Alemania, Holanda, Austria, Suecia y Suiza [7]. En todos ellos se evidencia una fuerte participación de organismos gubernamentales y no gubernamentales, institutos tecnológicos, universidades y empresas. Las actividades desarrolladas por cada uno de estos actores abarcan desde la elaboración de metodologías de aplicación, actividades de diseminación y educativas, hasta la implementación directa en el desarrollo de productos.

Los principales referentes tecnológicos a nivel mundial surgen entonces mayoritariamente de estos países: CfSD (Centre for Sustainable Design, Reino Unido), Econcept (Agency for Sustainable Design, Alemania), Öko Institute (Alemania), TU Wien (Austria), Kathalys (Centre for Sustainable Product Innovation, Delft University of Technology and TNO, Holanda), Pré Consultants (Product Ecology Consultants, Holanda), Chalmers University of Technology (Suecia), entre otros. Una red internacional reúne a muchos de estos centros, institutos y universidades, la denominada O2 Global Network.

Algunas de las entidades y administraciones que son referentes debido a su papel regulador o promotor en temas de ecodiseño o ecoeficiencia son la UNEP (Programa Ambiental de las Naciones Unidas), el WBCSD (World Business Council for Sustainable Development), el Parlamento Europeo y del Consejo y la EPE (European for the Environment), por mencionar a algunos de los más importantes.

En España, los principales referentes tecnológicos en actividades relacionadas con el ecodiseño y la ecoeficiencia son el Instituto de Ciencias y Tecnologías Ambientales (ICTA) de la Universidad Autónoma de Barcelona, que trabaja junto con el grupo de investigación SosteniPra y la Escuela Superior de Diseño ELI-SAVA, e IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental (País

Vasco). Algunas otras instituciones que participan en proyectos y redes temáticas relacionadas son Gaiker (País Vasco), AIMME (Comunidad Valenciana), ITA (Aragón) y la Fundación CARTIF (Castilla y León).

Finalmente, algunas empresas que ya han implementado políticas de ecodiseño y ecoeficiencia también son lógicamente importantes referentes, entre las que es posible mencionar a Dow, BASF, IBM, Volvo, Electrolux, SKF, Akzo-Nobel, Unilever, Philips y Rockwool. A nivel industrial, en relación con otros sectores, la actividad es mucho mayor en el sector de la automoción, el eléctrico/electrónico, el químico, el del embalaje y en la construcción [7], [8] y [9].

2. ESTADO ACTUAL DE APLICACIÓN DEL ECODISEÑO Y LA ECOEFICIENCIA EN EL SECTOR DE LA MOP A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DEL USO DEL ECODISEÑO Y LA ECOEFICIENCIA A NIVEL NACIONAL EN EL SECTOR DE LA MOP. APLICACIONES EN MÁQUINAS Y EMPRESAS DE REFERENCIA

Como se mencionó anteriormente, uno de los principales indicadores de la incorporación de la temática medioambiental en las empresas es la implantación de los SGMA, siendo el estándar ISO 14001 indudablemente uno de los más reconocidos y utilizados a nivel internacional. A finales del año 2004 existían en el mundo 90569 compañías que habían obtenido el certificado ISO 14001, aproximadamente seis veces más de las que había en 1999 [10]. Este crecimiento de la conciencia medioambiental empresarial se ha producido también en España, que se encuentra en la actualidad entre los países con mayor cantidad de certificados obtenidos.

Sin embargo, las prácticas medioambientales en las empresas se limitan en la mayoría de los casos a medidas para la protección y el control de la contaminación (tratamiento de aguas, residuos y emisiones) y para el reciclado. Evidentemente, el ecodiseño y la ecoeficiencia son conceptos mucho más amplios, que abarcan muchas otras medidas posibles, como las de reducción del

consumo de energía, minimización del uso de materiales y utilización preferente de aquellos con bajo impacto ambiental, facilitación de la reparación y el mantenimiento, aumento de la durabilidad, reducción del uso de sustancias tóxicas y recursos naturales no-renovables, entre otras. El modelo de Brezet [11] logra representar este fenómeno con claridad, identificando cuatro niveles de acción para la ecoeficiencia: mejora de producto, rediseño, innovación de funciones e innovación del sistema.

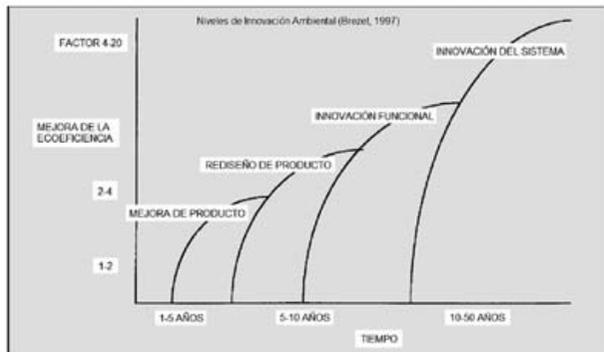


Figura 1. Modelo de Brezet (1997).

Actualmente, las acciones empresariales se encuentran en la mayoría de los casos dentro de los niveles de mejora y rediseño de producto. Esto se debe fundamentalmente a que en la mayoría de los casos el salto desde estos primeros niveles a los últimos es demasiado grande. Sin embargo, todo indica que la recuperación de los impactos ambientales producidos hasta ahora requerirá la realización de ese esfuerzo por parte de las empresas. Weizsäcker [12] postula por ejemplo que dicha recuperación podría alcanzarse si la industria consiguiera posicionarse durante los próximos 50 años en factores de ecoeficiencia del orden de 20. Esto sólo es alcanzable mediante acciones de innovación del sistema, el ecodiseño y la ecoeficiencia aplicados en toda su amplitud.

Actualmente, a nivel nacional, el sector de MOP presenta ese mismo comportamiento. Existen varias empresas que han obtenido el certificado ISO 14001 pero que hasta el momento no han hecho públicos trabajos concretos de aplicación del ecodiseño a sus productos ni a valoraciones de ecoeficiencia.

Dentro de la MOP, existen empresas que ofrecen productos desarrollados especialmente para el reciclado, el tratamiento de residuos y la reducción emisiones de polvo. Surgen como una respuesta a necesidades del sector de la construcción, cuyo grado de compromiso con el medio ambiente es mayor y sobre el cual existe una legislación mucho más estricta. Estos productos pueden catalogarse como equipos para prácticas ecoeficientes, por lo que pueden mencionarse como una actividad de la MOP hacia la ecoeficiencia. La maquinaria concreta abarca trituradoras, equipos para el reciclado en carreteras y autopistas, humectadores de polvo y equipos de molienda (incluyendo clasificación y manipulación). Sin embargo, siendo maquinaria con fines claramente medioambientales, esto no significa que las empresas utilicen criterios ecológicos en el diseño de estos equipos, ni que éstos sean evaluados desde la perspectiva de la ecoeficiencia como un sistema de producto en sí mismo.

Uno de los componentes utilizados en sector de la MOP sobre el que si se encuentra más evidencia de la aplicación de técnicas de ecodiseño es el motor diesel, motivado principalmente por la presión que ejercen los estándares de la Agencia de Regulación Medioambiental de los Estados Unidos y de la Unión Europea, donde se establecen límites de emisión de NOx y material particulado en distintos niveles (Tier 1-Tier4 en US y Stage I-Stage III en UE) [14]. Sin embargo, nuevamente se traduce hasta ahora únicamente en una mejora en la reducción de emisiones.

En comparación con otros sectores similares, como podría ser el de la maquinaria de herramienta, el nivel de desarrollo de actividades de ecodiseño y ecoeficiencia en MOP en España es relativamente bajo [15].

2.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE USO DEL ECODISEÑO Y LA ECOEFICIENCIA A NIVEL INTERNACIONAL EN EL SECTOR DE LA MOP. APLICACIONES EN MÁQUINAS Y EMPRESAS DE REFERENCIA

A nivel internacional, la utilización del ecodiseño y la ecoeficiencia sigue un patrón similar al español. Muchas empresas que poseen un sistema de gestión certificado ISO 14001, han aplicado políticas medioambientales centradas principalmente en la reducción de emisiones, residuos y ruidos, pero no han publi-

cado hasta el momento documentación concreta referente al ecodiseño de sus productos. Una excepción es el caso de los motores diesel de combustión ya mencionado anteriormente. Otro ejemplo excepcional es el de Hitachi, que hace referencia en su reporte medioambiental del 2001 al ecodiseño (diseño ambiental) aplicado a una excavadora hidráulica (MOD.ZX200) [16].

En publicaciones del sector, como pueden ser IM International Mining, Automation in Construction, International Journal of Construction Education and Research o el Journal of Constructional Steel Research, es difícil encontrar referencias de ecodiseño y ecoeficiencia aplicadas.

En definitiva, los ejemplos concretos de la aplicación del ecodiseño en sector de la MOP no son muy numerosos y las acciones de mejora de los índices de ecoeficiencia en general se limitan, como se mencionó anteriormente, al tratamiento de residuos, control de emisiones y el reciclado.

3. DEFINICIÓN DE LA TENDENCIA TECNOLÓGICA EN EL SECTOR DE LA MOP A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

Las perspectivas a futuro respecto a la implementación sistemática de técnicas de ecodiseño y ecoeficiencia en las empresas del sector responden principalmente a dos factores:

- La legislación ambiental (influencia directa).
- La presión que puede recibir el sector de sus clientes (influencia indirecta de la legislación) o de otros actores sociales.

Ambos factores se identifican claramente dentro de las empresas como razones de peso que justifican la realización de estudios de ecodiseño y ecoeficiencia [7]. Por lo general, la incorporación de políticas ambientales en las compañías responde a un convencimiento de que esto les traerá beneficios futuros, relacionados en primer lugar con poder responder a los clientes y en segundo lugar con el simple cumplimiento de la normativa ambiental.

En el caso de la MOP, su principal cliente, el sector de la construcción, está sometido a una fuerte regulación medioambiental

(como la introducida en el Código Técnico de la Construcción [17]), dado su alto nivel de impacto asociado. Es de esperarse entonces que esta presión se traslade progresivamente también al sector de la MOP (principalmente en relación con el uso de los productos), conforme el nivel de exigencias vaya aumentando. Por otro lado, respecto a la influencia directa de la legislación ambiental sobre el sector, pese a que actualmente se limita a generar la mejora de determinados componentes concretos, es probable que surjan nuevas exigencias que fuercen al sector a una mayor utilización del ecodiseño y la ecoeficiencia.

3.1. POSIBILIDADES DE USO DEL ECODISEÑO Y LA ECOEFICIENCIA EN LA MOP

El ecodiseño es aplicable en principio a cualquier producto o servicio. Sin embargo, es en aquellos casos donde el impacto ambiental es relativamente alto donde su utilización será lógicamente más necesaria. En el caso de la MOP es posible identificar una serie de fuentes de agresión al medioambiente como las de mayor influencia para este sector en concreto:

- Emisiones
- Ruido
- Residuos
- Consumo de recursos en su fabricación o en uso
- Daño a salud de los usuarios y seguridad

Respecto a las emisiones, principalmente asociadas a los motores de combustión utilizados, pese a que como se mencionó ya existe una legislación que está generando algunas respuestas concretas en el sector, la actividad es aún muy incipiente. El objetivo ecoeficiente marcado es el de llegar a niveles de emisiones considerablemente más bajos que los actuales (Tier4-Stagell) para todos los tipos de motores, como los utilizados en dumpers, carretillas, excavadoras, niveladoras, cargadoras, manipuladores, etc. En este sentido, hay mucho trabajo de ecodiseño pendiente por hacer, desde el estudio de nuevas tecnologías hasta la implementación de las soluciones que se generen. Aparecen también las posibilidades de los nuevos sistemas de generación de energía que, aunque hasta el momento no existen evidencias de que el sector de la MOP lo esté planteando como una vía de mejora de sus productos, constituyen soluciones de gran in-

terés. Es probable que la utilización de otros combustibles (como el hidrógeno o el gas natural licuado) o de energías alternativas (como la solar), sobre las que se están realizando grandes avances en otros sectores como el de la automoción, llegue también a la MOP en el medio o largo plazo.

En cuanto al ruido, como clase de contaminación ambiental, existe una tendencia en la MOP en intentar minimizarlo (tanto para los propios operarios de las máquinas como para otras personas). Sin embargo, las soluciones en general apuntan más a agregar aislamientos acústicos que a intentar disminuir las fuentes del ruido. El ecodiseño, como herramienta, permitiría en estos casos evaluar ambos tipos de soluciones y definir cual es la óptima. En este sentido, podría aplicarse no sólo sobre la maquinaria mencionada anteriormente, sino también sobre maquinaria más pequeña como tronadoras, cortadoras, pulidoras, perforadoras, dobladoras, andamios eléctricos, etc.

Respecto a la generación de residuos y su minimización, las tecnologías analizadas suelen aportar importantes mejoras no sólo en relación con la posibilidad de reciclado de los componentes, sino también en temas concretos de mantenimiento (repuestos), reutilización y aumento de la durabilidad. En el caso concreto de la MOP pueden ser medidas de gran interés.

La minimización del consumo de recursos junto con la minimización del daño a la salud de los usuarios son criterios aplicables a toda la MOP en general, la implementación del ecodiseño y la ecoeficiencia se presentan también como vías de mejora de estos aspectos.

Finalmente, conforme se avance en estas temáticas medioambientales, la aplicación del ecodiseño y la ecoeficiencia podrán generar nuevos productos, una maquinaria que además de cumplir con los requerimientos funcionales logre reducir su impacto ambiental.

3.2. RETOS Y NECESIDADES PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL SECTOR

La principal dificultad con la que se encuentran las empresas a la hora de implementar el ecodiseño y aumentar su ecoeficiencia en el sentido amplio es, como se mencionó con anterioridad,

que ambos requieren en muchos casos dar un salto de envergadura hacia nuevas tecnologías (materiales y procesos) y planteamientos que a su vez demandan enormes esfuerzos. En muchos casos, puede significar cambios no asumibles en el corto y medio plazo por las compañías, algo que lógicamente es aún más crítico en el caso de las pequeñas y medianas empresas.

Independientemente de esto, otras dificultades que se pueden presentar están relacionadas directamente con la aplicación de las metodologías asociadas. En la realización de un ACV por ejemplo, en determinados casos puede no contarse con la información de partida necesaria para llevar a cabo el estudio. A partir de aquí, la valoración del impacto ambiental del sistema de producto analizado podría dificultarse enormemente, o incluso podrían generarse resultados cuya validez no se puede asegurar.

En cuanto a las necesidades de recursos, la implementación del ecodiseño y ecoeficiencia se llevan a cabo a través de una serie de metodologías específicas mediante las cuáles se podrán realizar las evaluaciones ambientales pertinentes. Algunas de las más utilizadas son por ejemplo los Análisis de Ciclo de Vida (ACV), las Evaluaciones de Comportamiento Ambiental, los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), los Análisis de Riesgos Ambientales, las Evaluaciones de Eco-indicadores, entre otros. La realización de estos estudios requiere en la mayoría de los casos la utilización de programas de análisis específicos, bases de datos e información sobre los materiales y procesos involucrados, y usuarios experimentados que logren desarrollar los métodos adecuadamente. Sin embargo, en muchos casos estos estudios pueden subcontratarse, en cuyo caso las inversiones de I+D a nivel interno para el desarrollo del ecodiseño y la ecoeficiencia ya no tendrían por qué ser tan elevadas.

3.3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA APLICACIÓN DE ESTAS TECNOLOGÍAS

En primer lugar, el ecodiseño y la ecoeficiencia son para las empresas medios para el desarrollo de productos menos agresivos con el medioambiente y por lo tanto, una vía de contribución al desarrollo sostenible. En el caso concreto de la MOP, su aplicación resulta especialmente adecuada como respuesta a las necesidades del sector de la construcción, su prin-

principal cliente, donde la minimización de los impactos ambientales es de enorme importancia.

En segundo lugar, la utilización del ecodiseño y la ecoeficiencia ha demostrado ser una forma de aumentar la competitividad de las empresas. La mejora de la imagen corporativa asociada a los “productos verdes” o “amigables con el medioambiente” tiene efectos directos en el mercado dentro de una sociedad con una conciencia ambiental cada vez mayor. Esto es de particular importancia en el sector de la MOP, sobre el cuál no existe en general una imagen positiva desde el punto de vista medioambiental. Este aspecto puede concretarse sobre los productos en la obtención de las llamadas ecoetiquetas, nacionales o europeas, que certifiquen la sensibilidad ambiental de la empresa.

En términos estrictamente económicos, la utilización de las técnicas analizadas contribuye en muchos casos a la reducción de los costes asociados a la obtención y el tratamiento de las ma-

terias primas, a la producción y el consumo energético, al transporte y distribución de productos, y al tratamiento de los residuos generados. Los gastos asociados a seguros son en general más bajos para aquellas empresas que desarrollen políticas medioambientales. Existen además otros beneficios económicos que pueden conseguir las empresas por acogerse a los diferentes sistemas de gestión medioambiental promovidos por las administraciones [18].

Finalmente, la tendencia actual es claramente hacia regulaciones medioambientales cada vez más estrictas que en algún momento alcanzarán al sector de la MOP en forma más directa. Supone un cambio en el concepto tradicional del diseño que cuanto antes sea asumido por las empresas, más fácil les será luego adaptarse a un entorno en el que la temática ambiental será de una enorme importancia. Lógicamente, este cambio aportará nuevas soluciones y generará también nuevas oportunidades tecnológicas.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BIASCO, E. (2002), “Ante el primer decenio de la conferencia de Río de Janeiro sobre el medioambiente y el desarrollo”, Preparación de la Cumbre Mundial sobre el desarrollo sostenible, Johannesburgo 2002.
- [2] HERAS, I. (2006), “ISO 9000, ISO 14001 y otros estándares de gestión: pasado, presente y futuro”, Biblioteca Civitas Economía y Empresa.
- [3] Directiva europea 2005/32/CE. (2005), “Requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía”, Diario Oficial de la Unión Europea.
- [4] SCHMIDHEINY, S. (1992), “Changing Course: A global business perspective on development and the environment”, World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).
- [5] “Guía para la ecoeficiencia”, (2000), Fundació Fórum Ambiental.
- [6] ISO Survey 2005, ISO Central Secretariat.
- [7] “EcoDesign: European State of the Art.”, European Commission — Joint Research Centre Institute for Prospective Technological Studies Seville, 2000.
- [8] SHERWIN, C., (2004), “Design and sustainability: A discussion paper based on personal experience and observations*”, The Journal of Sustainable Product Design.
- [9] CRAMER, J., van LOCHEM, H. (2001), “The practical use of the ‘eco-efficiency’ concept in industry: The case of Akzo-Nobel”, The Journal of Sustainable Product Design.
- [10] ISO Survey 2004, ISO Central Secretariat.
- [11] BREZET, H. (1997), Dynamics in EcoDesign Practice. in: UNEP IE: Industry and Environment. Vol. 20 N. 1–2, January–June.
- [12] WEIZSÄCKER, E. von, LOVINS, A.B. and LOVINS, L.H. (1997), Factor Four. Doubling Wealth-Halving Resource Use. The New Report to the Club of Rome, Earthscan, London.
- [13] http://www.ansa.com/esp/S_eco.asp
- [14] JOSLIN, S. (2006), “Air fresheners: the onus to meet EPA diesel engine emission standards is on equipment manufacturers”, Recycling Today.
- [15] <http://www.invena.es - Gestión Industrial / Medio Ambiente / Ecodiseño>
- [16] Hitachi Group, (2001), “Environment report 2001”.
- [17] Código Técnico de la Construcción, (2006), Ministerio de Vivienda Español.
- [18] RIERADEVALL, J., DOMÉNECH, X., MILÀ, L., (2002) “ACV aplicada al sector nacional d’envasos de cartró. Estudi d’un expositor de cartró”, Grupo de Investigación en Ecodiseño ELISAVA.

5.5. Automatización en la construcción

Javier Piedrafita

Departamento de Diseño Electrónico y Control, Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)

1. ELEMENTOS BÁSICOS

1.1. DEFINICIÓN Y APLICACIONES USUALES

Por Automatización en Construcción se entiende cualquier dispositivo o método que sustituye a un operador humano en un proceso implicado en la Construcción. La construcción puede dividirse en dos grandes campos: obra civil y edificación. El presente estudio se va a centrar en la automatización en la construcción de edificios.

El ámbito de aplicación de la automatización en la construcción puede ser bastante amplio pues abarca todas las fases del ciclo de vida de la construcción: arquitectura y diseño inicial, construcción en obra, mantenimiento y control, y desmantelamiento y demolición. De nuevo se acota este estudio a la fase de construcción en obra.

La construcción presenta ciertas características diferenciadoras de otros sectores que van a repercutir en la forma de llevar a cabo la automatización [1]: el lugar del trabajo no es permanente, los componentes estructurales son grandes y pesados, la mayoría de las operaciones se hacen al aire libre, hay falta de estandarización en el sector, y la legislación y forma de construir son distintas en cada país. Estos factores han provocado que la automatización en el sector de la construcción esté retrasado con respecto a otros sectores como el de la automoción.

Por estas razones, la automatización en la construcción necesita nuevas formas de construir, en concreto el uso de elementos prefabricados es necesario al permitir una simplificación desde el punto de vista de la automatización del ensamblaje en obra. También se consigue un mayor grado de industrialización del

sector ya que se aumenta la propia automatización en la factoría y permite la introducción de estándares, elementos que por su importancia ya están presentes en otros sectores industrializados. Los prefabricados van desde bloques para construir paredes, pasando por módulos tridimensionales (baños, cocinas, habitaciones en general) hasta el edificio completo.

La automatización en construcción viene motivada por ciertas necesidades del proceso constructivo. La organización IAARC [2] las agrupa en cuatro necesidades, cada una de ellas a su vez impulsadas por varios factores:

- Productividad: mayor producción a menor coste unitario y mejora de la competitividad (especialmente la internacional).
- Mano de obra: carencia de trabajadores cualificados, aumento de la edad media de los trabajadores, carrera en el sector de la construcción poco atrayente a gente joven.
- Seguridad: eliminación de trabajos en sitios elevados, sucios, peligrosos y poco gratificantes, protección y liberación de operarios de maquinaria, operación de maquinaria más segura.
- Calidad: mejor ejecución del trabajo en sí (mejora de procesos), mayor consistencia en los resultados del trabajo (mejora del producto) y mayor nivel de control sobre los procesos de producción en general.

De cara a medir el grado de automatización, ésta se puede dividir en tres niveles: mejoras en el equipamiento y en la maquinaria que actualmente existe, robots dedicados a tareas específicas y máquinas inteligentes.

1.2. REFERENTES TECNOLÓGICOS

El organismo internacional con tal vez mayor orientación a la automatización en la construcción y mayor actividad es la Asociación Internacional para la Automatización y la Robótica en la Construcción (International Association for Automation and Robotics in Construction, IAARC)[2]. Esta asociación organiza un simposio anual, cada año en un lugar distinto, conocido como International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC. Hasta ahora se han celebrado 23 simposios, el último de ellos en octubre de 2006, en Tokio, Japón. En este se presentaron un total de 162 artículos repartidos en 32 sesiones y agrupados en 5 temáticas: perspectiva futura de la producción en la construcción, tecnologías de planificación y gestión, tecnologías clave en robótica, nuevos campos y áreas, aplicaciones.

En el ámbito europeo existe la Plataforma de la Tecnología de la Construcción Europea [3] (European Construction Technology Platform, ECTP), con siete áreas de enfoque, una de ellas denominada Processes & ICT, en donde se incluye aspectos de la automatización en la construcción. La versión española de esta plataforma se denomina Plataforma Tecnológica Española de la Construcción, PTEC [4].

Otro centro español destacado en la automatización en la construcción es el laboratorio Robotics Lab, de la Universidad Carlos III de Madrid [5], con diversos proyectos en el campo de la construcción y numerosos artículos publicados (en revistas como Automation in Construction o en simposios ISARC).

La organización internacional CIB [6] (International Council For Research And Innovation In Building And Construction) está orientada hacia la investigación e innovación en la construcción que, sin estar centrado en la automatización misma, sí que tiene cabida como parte de aquélla. Esta organización, creada en 1953, cuenta con más de 350 miembros de todo el mundo (institutos, empresas y otros centros de investigación), más de la mitad europeos y seis españoles, de entre los cuales cabe destacar el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

2. ESTADO ACTUAL

2.1. ESTADO DE USO A NIVEL NACIONAL

En España, al igual que en el resto del mundo, el sector de la construcción está menos automatizado que otros sectores industriales. Tampoco el gasto en I+D+i en el sector parece indicar que vayan a ocurrir progresos espectaculares, pues este gasto relativo al VAB (Valor Añadido Bruto) es significativamente inferior al de otros sectores [7].

Sin embargo, no quiere decir esto que no se hagan avances en el campo de la automatización en el sector, más al contrario las empresas fabricantes de maquinaria de construcción han tomado conciencia de la importancia de invertir en I+D+i, lo que está dando ya sus frutos. Por ejemplo, en máquinas para trabajar firmes la automatización es cada vez mayor, consiguiendo mayor precisión en el trabajo realizado; también va aumentando el uso de la electrónica en maquinaria ligera de cara a obtener mayor eficacia y seguridad [8].

Las grandes empresas constructoras sí que han apostado por una fuerte I+D+i, sin embargo, dentro de esta no hay grandes esfuerzos dedicados a la automatización. Destacar el proyecto europeo Manubuild [9], financiado por la Unión Europea y cuyo objetivo es reducir a la mitad el coste de la construcción de un edificio y en un 70% el tiempo que se emplea en la misma mediante la combinación de: alta eficiencia en fabricación y montaje en obra, robots y sistemas inteligentes totalmente nuevos y sistemas abiertos para productos y componentes. Participantes españoles en este proyecto son: Dragados (Madrid), FCC (Fomento de Construcciones y Contratas, Madrid), Empresa Municipal de la Vivienda y el Suelo (Madrid) la Universidad Carlos III de Madrid y la Fundación Labein (Vizcaya) [10].

El uso de robots también se está usando en labores de la construcción. Un ejemplo de ello es la demolición de la torre Wind-sor de Madrid, realizada el año 2005 por Construcciones Ortiz, en donde se utilizaron robots dirigidos por control remoto, así como varias grúas móviles auto-erigibles (que se montan en menos de media hora) capaces de llegar hasta 140m de altura. Gracias a estas técnicas novedosas, se logró completar la de-

molición en un tiempo récord, captando la atención de colegios profesionales y del mundo universitario de países como el Reino Unido y Japón.

La construcción modular es otro de los campos en donde se requiere una fuerte automatización. Algunas empresas españolas fabrican de forma automática distintos tipos de paneles prefabricados, sobre todo de hormigón y GRC (Glass Reinforced Concrete). Un ejemplo es el sistema patentado denominado INDAGSA, perteneciente al grupo Ortiz, que según su fabricante “se ha impuesto como la solución actual más competitiva de construcción industrializada en la edificación, y se basa en paneles portantes de hormigón armado a medida, que gracias a su doble función (estructural y de cerramiento), permiten acortar los plazos de ejecución de las obras” [11].

Otro ejemplo de construcción modular es la empresa Habidite (Ortuella, Vizcaya) [12] quien ha desarrollado un sistema que “contempla la fabricación de los distintos elementos que conforman un bloque de viviendas en un medio controlado y estable, como es una planta industrial, por medio de un proceso de producción en serie. Una vez finalizados los mismos, son transportados al punto de destino, en donde se procede al ensamblaje definitivo del edificio”. También aseguran que la obra se realiza un 60% más rápido que la construcción tradicional, y que el “edificio terminado no muestra, en apariencia, ninguna diferencia con respecto a una construcción tradicional, y sin embargo está diseñado para ofrecer innumerables ventajas eco-tecnológicas”. Actualmente se está construyendo una primera planta en Magallón (Zaragoza) y posteriormente se construirá otra en Alonstegi (Vizcaya).

2.2. ESTADO DE USO A NIVEL INTERNACIONAL

A nivel internacional, los mayores avances se han logrado en Japón, gracias a las principales empresas constructoras japonesas, aunque también han contado con el apoyo de institutos de investigación y otras compañías de ingeniería. En Estados Unidos, Canadá, Europa y Australia también se han hecho desarrollos, aunque la producción conseguida en Japón supera con creces a la del resto juntos.

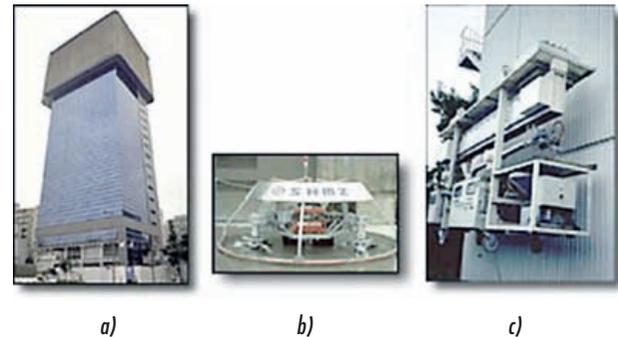


Figura 1. Tres ejemplos de automatización en la construcción. La figura a) es un edificio de construcción totalmente automatizada en Nagoya, Japón. La figura b) es un robot para el acabado de superficies de hormigón. La figura c) es un robot con movimiento vertical para pintar fachadas.

El caso más representativo de automatización en construcción es el proyecto SMART [13] de la empresa japonesa Shimizu, en el que se consigue construir un edificio de forma totalmente automatizada (figura 1a). Los procesos automatizados son [14]: levantamiento y soldadura de la estructura de acero, colocación de las placas de hormigón prefabricado para el suelo, colocación de los paneles de muros interiores y exteriores, e instalación de diversas unidades prefabricadas. El proceso entero es controlado por ordenador, y los operarios tan solo realizan labores de supervisión.

En esta misma línea, otro proyecto interesante es el desarrollado por el Dr. Behrokh Khoshnevis, de la Universidad del Sur de California (University of Southern California) [15]: mediante la tecnología patentada conocida como Contour Crafting, se podrá construir un edificio en 24 horas. Será una construcción principalmente de cemento y yeso, de dos pisos e impermeable, y el coste de la construcción será del orden de una quinta parte del actual. El sistema se basa en dos procesos [16]: extrusión y llenado (figura 2). El proceso de extrusión forma una superficie lisa mediante una paleta que se desplaza por el contorno. Cuando ha completado la extrusión del contorno realiza un desplazamiento vertical para comenzar otro nivel.

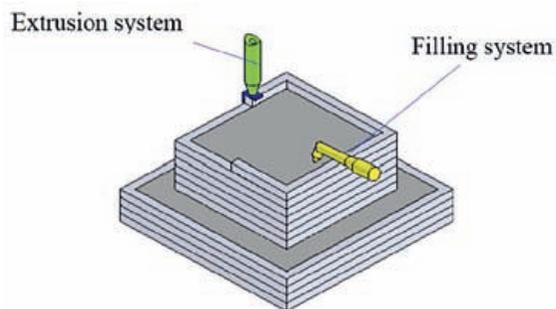


Figura 2. Sistema automático de construcción Contour Crafting.

Otros ejemplos de automatización en la construcción de edificios son los robots creados para trabajos específicos, como: pintado de fachadas, acabado de superficies de hormigón, colocación de hormigón, nivelado, elevación y posicionamiento de aceros, y aplicación de espuma anti-fuego. Este tipo de robots trabajan normalmente bajo tele-operación o un programa de control. El operario no necesita estar en las inmediaciones del lugar donde se realiza la tarea, limitándose a controlar el robot. El objetivo final de este tipo de robots es la mejora en la productividad. De nuevo son empresas japonesas los principales desarrolladores: Shimizu, Taisei, Obayashi son las más conocidas.

3. TENDENCIA A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

3.1. POSIBILIDAD DE USO

El incremento del uso de robots para la construcción será uno de los aspectos en donde la automatización en la construcción se verá más reflejada. Estos robots serán de dos tipos: aquéllos que realizan tareas de hoy en día y que pasarán a automatizarse, y nuevos robots para llevar a cabo aquellas tareas que surjan debido a nuevos procesos de construcción. En los primeros, el aspecto y la forma de trabajar será similar al de las máquinas actuales, que al prescindirse del operario humano pasarán a ser auténticos robots. Ejemplos de esto son: la automatización del proceso de carga de tierra a un camión mediante una excavadora [17,18], el levantamiento completa-

mente automatizado de grúas torre [19], instalaciones automáticas de muros-cortina [20], etc.

En cuanto a robots de nuevas tareas, el uso de elementos prefabricados tendrá dos consecuencias en la robotización: por una parte los prefabricados permiten una mayor automatización en su fabricación, y por otra se facilita el ensamblaje en obra, labor que finalmente se podrá realizar mediante robots. Un ejemplo de este tipo es el sistema ROCCO [21], orientado a la construcción de viviendas familiares utilizando bloques prefabricados de material silico-calcáreo. Estos bloques se trasladan a la obra en palés colocados de una forma estructurada para facilitar la tarea del robot, que se limita a ir situando cada uno de los bloques en su posición correspondiente. Los robots deben estar dotados de movilidad y de capacidades de reconocimiento y localización de los elementos con los que trabaja. Con este sistema, el proceso de colocación de 35 apartamentos formados por bloques tipo contenedor de 8x 2,2 metros, se realizó sólo en cinco días.

Otra visión es la que plantean Maas y Gassel [22], quienes proponen desarrollar la automatización en la construcción bajo tres aspectos: Gestión de la construcción (gestión de riesgos, sistemas de ayuda a la decisión, seguridad y salud, etc.), ingeniería de la construcción (producción industrial, producción sostenible, edificios inteligentes, etc.) y gestión de la ejecución de la obra (cooperación, asociaciones estratégicas, colaboración en ingeniería y planificación, etc.) Apoyan la perspectiva de Richard [23] de ir más allá de la automatización y robotización basados en métodos tradicionales de la construcción, siendo necesaria una búsqueda de nuevas ideas que generen procesos más sencillos.

En cuanto a la ingeniería en la construcción, Maas y Gassel destacan la importancia de las tecnologías hombre-máquina y de la seguridad en la obra del trabajador. Un trabajo interesante en este campo de la seguridad es el de Abderrahim y otros [24], de la Universidad Autónoma Carlos III de Madrid, en el que desarrollan un sistema de seguridad basado en un caso que posibilita la localización en tiempo real del trabajador. En todo momento es conocida la posición de hombres y máquinas lo que permite a un sistema automatizado detectar riesgos y prevenir posibles accidentes.

3.2. RETO (DIFICULTAD EN SU IMPLEMENTACIÓN) Y NECESIDADES DE I+D+I

En la siguiente tabla se comparan los factores que pueden afectar a la automatización en los sectores de la construcción y de la industria manufacturera. Al compararlo se deduce la dificultad que presenta la automatización en la construcción. Sobre algunos de estos factores no puede actuarse, como por ejemplo la vida del producto. En otros sí, y son los que la construcción debería abordar para mejorar la automatización: estandarización, complejidad, ergonomía, esfuerzo y responsabilidad.

Factor	Industria manufacturera	Construcción
Situación	El trabajo se suele realizar en un lugar fijo	El trabajo está disperso por muchos lugares y de forma temporal
Vida del producto	A corto y medio término.	Larga vida de servicio que es mayor que la propia vida del diseño.
Estandarización	Alta estandarización de productos o pocas variantes toleradas	Poca estandarización con la mayoría de los edificios de diseño único
Complejidad	Baja dependencia de habilidades manuales, amplio uso de la automatización	Gran número de tareas que requieren amplias habilidades manuales
Zona de trabajo	Las tareas se realizan normalmente en puestos fijos	Las tareas se realizan en una zona amplia con trabajadores móviles
Ergonomía	Puesto de trabajo bien ajustado a las necesidades humanas	Duro y severo entorno de trabajo en donde la aplicación de la ergonomía es difícil
Esfuerzo	Muy estable. Bajo movimiento de personal	Alto movimiento de personal
Responsabilidad	Diseño, producción y comercialización unificados	Divida entre clientes, diseñadores y especialistas

Tabla 1: Diferencias entre industria manufacturera y construcción (fuente: IAARC)

Por otra parte, las inversiones en I+D también son significativamente más bajas en el sector de la construcción. De hecho, en la investigación sobre robots en la construcción, las inversiones son actualmente inferiores que en la década de los 90 (Figura 3). Por tanto, para mejorar la automatización en la construcción se han de incrementar las inversiones en investigación.

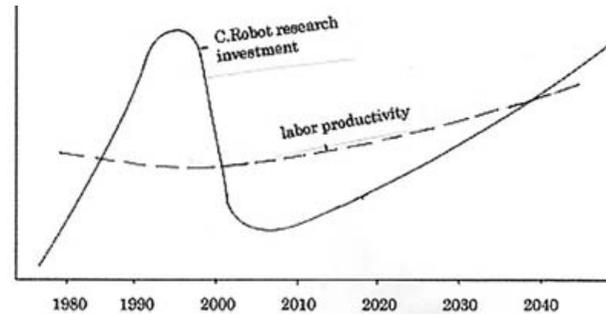


Figura 3: Evolución y previsión de la inversión en investigación en robots para la construcción y de la productividad de la mano de obra (Fuente: [1]).

3.3. IMPACTO DE APLICACIÓN

En la anterior gráfica se muestra uno de los beneficios de la automatización en la construcción, tal vez el más prioritario: *la mejora de la productividad*. Sin embargo, no es el único; entre otros [25] [26]:

- Una Industria más segura: los operarios se podrán sustituir en tareas peligrosas, como la pulverización de productos aislantes y resistentes al fuego, o la demolición de edificios peligrosos.
- Realización de tareas repetitivas y tediosas, como la colocación de ladrillos o de paneles en un edificio.
- Mejora de la calidad: mejores acabados en las obras, como la pintura de paredes, colocación de ventanas, etc.
- Ahorro energético: Desarrollo de productos y servicios que reducirán el uso de energía en construcción en más de un 30%.
- Sostenibilidad: Dada la importancia que la industria de la construcción tiene en los valores nacionales de consumo energético, emisiones y materiales de desecho, la repercusión medioambiental será inmediata.
- Tecnología de productos y servicios orientadas al cliente. Las nuevas tecnologías desarrolladas le permitirán al cliente hacer una selección previa de parámetros de accesibilidad, funcionalidad y precio.
- Una industria más competitiva y tecnológicamente destacada. Desarrollo de nuevos materiales, técnicas de fabricación, métodos de ensamblaje, sistemas de gestión y logística, ...
- Menor dependencia de mano de obra temporal y poco cualificada.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] YUKIO HASEGAWA (2006). Construction Automation and Robotics in the 21st Century. 23rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction.
- [2] Página web de IAARC: www.iaarc.org
- [3] Página web de ECTP: <http://www.ectp.org>
- [4] Página web de PTEC: <http://www.construccion2030.org>
- [5] Página web de Robotics Lab: <http://roboticslab.uc3m.es>
- [6] Página web de CIB: <http://www.cibworld.nl>
- [7] PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DE LA CONSTRUCCIÓN (PTEC). Presentación en su página web. <http://www.construccion2030.org/ptec.php?apartado=18>. Visitado el 20 de abril de 2007.
- [8] ANMOPYC (2005). "Nota Sectorial: La Maquinaria Española para Contrucción, Obras Públicas y Minería. Año 2005". p. 6.
- [9] Página web del proyecto Manubuild: www.manubuild.org
- [10] Robotics Lab, página de información del proyecto Manubuild. http://roboticslab.uc3m.es/roboticslab/proyecto.php?id_proy=7. Visitado el 20 de abril de 2007
- [11] Página web del Grupo Ortiz: www.grupoortiz.com, sección "Áreas de Negocio / Ingeniería y prefab. de hormigón".
- [12] Página web de Habidite: <http://www.habidite.com>.
- [13] MIYATAKE Y, YAMAZAKI Y, KANGARI R. (1993). The SMART system project: a strategy for management of information and automation technology in computer integrated construction.
- [14] The International Association for Automation and Robotics in Construction (IAARC). Página web Self-Study Course, http://www.iaarc.org/frame/quick/self_study.htm. Visitado el 20 de abril de 2007.
- [15] Página web del proyecto Contour Crafting: www.contourcrafting.org
- [16] DOOIL HWANG, BEHROKH KHOSHNEVIS (2205). An Innovative Construction Process-Contour Crafting (CC). 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction.
- [17] S. SARATA, N. KOYACHI, T.TOUBOUCHI, H. OSUMI, M. KURISU, K. SUGAWARA (2006). Development of Autonomous System for Loading Operation by Wheel Loader. 23rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction.
- [18] O. KANAI, H. OSUMI, S. SARATA, M. KURISU (2006). Autonomous Scooping of a Rock Pile by a Wheel Loader Using Disturbance Observer. 23rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction.
- [19] SHIH CHUNG KANG, EDUARDO MIRANDA (2006). Planning and visualization for automated robotic crane erection processes in construction. Automation in Construction. Volume 15, Issue 4, pp. 398-414
- [20] JONG HO CHOI, KYE YOUNG LEE, CHANG SOO HAN, SEUNG YEOL LEE, SANG HEON LEE. Automation System For Curtain Wall Installation II. 23rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction.
- [21] E. GAMBao, C. BALAGUER and F. Gebhart. Robot assembly system for computer-integrated construction. Automation in Construction Volume 9 (2000). pp 479-487.
- [22] G.MAAS, F. VAN GASSEL. The influence of automation and robotics on the performance construction. Revista Automation in Construction Volume 14 (2005). pp. 435-441.
- [23] R.B. RICHARD. Industrialised Building Systems: Reproduction before Automation and Robotics. Automation in Construction Volume 14 (2004). pp. 443-452.
- [24] M.ABDERRAHIM, E. GARCÍA, R. DÍEZ, C. BALAGUER. A Mechatronics Security System for the Construction Site. Automation in Construction Volume 14 (2004). pp. 443-452.
- [25] PLATAFORMA ESPAÑOLA TECNOLÓGICA DE LA CONSTRUCCIÓN. L.E. de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Construcción. Abril 2005. p. 9.
- [26] COMITÉ ESPAÑOL DE AUTOMÁTICA (2007). Libro Blanco de la Robótica: de la Investigación al Desarrollo Tecnológico y Aplicaciones Futuras. pp. 31-34.

5.6. Nuevos sistemas constructivos y su impacto en la maquinaria de construcción y obra pública | La construcción industrializada y la rehabilitación y mantenimiento de edificios

D. Javier Domínguez Hernández Dr. Ingeniero Industrial. Arquitecto. Profesor Titular. Centro Politécnico Superior. Área de Ingeniería de la Construcción. Universidad de Zaragoza.

D. Enrique Cano Suñén Ingeniero Industrial. Profesor Colaborador. Centro Politécnico Superior. Área de Ingeniería de la Construcción. Universidad de Zaragoza.

D. Beatriz Rodríguez Soria Ingeniero Industrial. Profesor Ayudante. Centro Politécnico Superior. Área de Ingeniería de la Construcción. Universidad de Zaragoza.

1. OBJETIVOS

El presente trabajo trata de corroborar y analizar dos de las hipótesis de trabajo presentadas por el panel de Expertos del Proyecto Innpulsa, en junio de 2006. Innpulsa es un proyecto para impulsar la cultura de la innovación en el sector de maquinaria para construcción, obras públicas y minería. Dichas hipótesis son:

- La construcción se industrializará en base a elementos prefabricados y estandarizados lo que significará que la mayoría de la fabricación se realizará fuera de obra y se automatizará el montaje.
- El aumento de las actividades de rehabilitación y mantenimiento, así como las actividades de bricolaje y reparación casera, requerirá de nuevas máquinas adaptadas a estas necesidades.

Cabe destacar además, que las nuevas tendencias en la industria de obra civil se basan en la adición de nuevas sustancias que permitan absorber contaminantes y aumentar la resistencia de los materiales, sin que ello afecte al proceso constructivo de la misma. Sin embargo, es en la industria de la edificación donde empiezan a surgir nuevos cambios en la forma de construir y nuevas tendencias en el tratamiento de los materiales y la puesta en obra, por lo que el presente artículo se centrará en el análisis de los procesos constructivos de esta última.

2. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción está viviendo un convulso cambio del marco normativo con la entrada en vigor del CTE y la nueva Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción. Este cambio normativo, acompañado por la descontrolada subida de precios del suelo [1] [2] y los cambios que se está produciendo en las bases de bienestar social y hábitos de nuestra sociedad [3] [4] hacen que cambien paulatinamente la demanda de la vivienda y las exigencias técnicas y de calidad de la edificación, y por tanto, que sea necesaria una renovación de las técnicas y procesos constructivos con las que se estaba edificando hasta ahora.

Así, el objetivo sería analizar mediante elementos de juicio contrastados, los principales motivos que van a provocar cambios en el sector de la construcción, en qué aspectos fundamentales de estas técnicas y procesos constructivos influirían principalmente y cuáles serían las nuevas metodologías a seguir para renovar y adaptar tanto los procesos como la maquinaria necesaria, a las nuevas exigencias del sector.

Dentro de este nuevo estado de tendencias de mercado, destacan como soluciones óptimas la industrialización y prefabricación de la edificación, el uso de nuevos materiales y técnicas constructivas más sostenibles, la rehabilitación y mantenimiento

de los edificios, así como el facilitar al usuario la posibilidad de ampliar, reparar y mantener su vivienda con el bricolaje.

3. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS Y EVOLUCIÓN TÉCNICA

3.1. BREVE DESCRIPCIÓN

El primer paso para analizar cuáles deben ser las bases para el desarrollo de las nuevas técnicas y maquinaria adaptadas a estas nuevas tendencias, es hacer un breve estudio de todos los elementos que componen un edificio, describir la forma en que se ejecutan actualmente y plantear cuáles son las nuevas formas constructivas que se imponen para cada uno de ellos. Se diferencian principalmente entre estos elementos, la estructura portante, los cerramientos, la cubierta y las particiones interiores.

- **Estructura portante:** En la actualidad la cimentación se realiza mediante elementos de hormigón armado, que debido a las barras de acero que poseen reducen considerablemente el ciclo de vida de la misma. La nueva tendencia en este campo en el resto de Europa, es utilizar hormigones en masa con áridos reciclados y aditivos con fibras de polipropileno que mejoran la resistencia del hormigón [5]. Para la estructura, también de hormigón armado, se espera mejorar la sostenibilidad mediante las uniones en seco, el aumento del uso de elementos prefabricados y muros estructurales con bloques cerámicos, los cuales confieren una gran inercia térmica. Para vigas, jácenas y pilares la nueva tendencia es usar la madera. Como impermeabilizante de cimentación tiende a usarse la bentonita.
- **Cerramientos:** Actualmente la configuración de capas que componen el típico cerramiento no es térmicamente adecuada, debiendo invertirse su disposición, colocando la hoja de mayor masa en el interior con el aislamiento en el exterior para impedir que se pierda inercia térmica. Este es el fundamento de las cada vez más usadas fachadas ventiladas, que confieren una gran estabilidad térmica en las viviendas. Además se pasa a utilizar materiales de aislamiento naturales como el corcho, la manta de cáñamo, los tableros de fibras de madera prensadas y las placas de vidrio celular.
- **Cubierta:** Está demostrado que las cubiertas tradicionales que mejor aíslan son la inclinada con cámara de aire ventilada y

la azotea catalana [6]. Son dos tipos de cubiertas cuyo funcionamiento deja de ser eficiente cuando se utilizan con fines habitables. Otro sistema existente es el de cubierta invertida, cuyo funcionamiento también deja de ser eficiente al cubrirse de grava protectora que potencia la transmisión de calor al interior. Los mejores materiales de recubrimiento son las tejas cerámicas y de hormigón, así como las cubiertas de tipo ecológico compuestas de un sustrato de pequeño espesor, de especies vegetales de nulo mantenimiento, que mediante elementos drenantes recogen las aguas de lluvia y las almacenan hasta que lo requiere la vegetación dispuesta en su superficie. Se logra de este modo aumentar el confort higrotérmico, la retención de polvo y sustancias contaminantes, un mejor aislamiento y una mayor absorción acústica. [6]

Como impermeabilizantes, se debería pasar a usar láminas de caucho y polipropileno, en lugar de las dispuestas actualmente en PVC o tela asfáltica, mucho más contaminantes.

- **Particiones interiores:** Se busca cada vez más nuevas particiones que permitan modificar los espacios interiores de forma más flexible, ya que los actuales tabiques generan residuos contaminantes al ser demolidos, causando adicionalmente la modificación de diversas instalaciones. Los materiales más adecuados para este propósito son las particiones con alma metálica y uniones atornilladas con paneles prefabricados de madera o aglomerados, en lugar de los de cartón-yeso.

3.2. REFERENTES TECNOLÓGICOS

Destacan como edificaciones que han utilizado sistemas constructivos sostenibles, a nivel nacional e internacional:

- La sede del CENER en Sarriguren (Navarra) cuya principal característica radica en el uso de sistemas constructivos y de gestión utilizados para aprovechamiento solar. [5]
- Edificio Trasluz en Madrid, de Carlos Expósito Mora y Emilio Miguel Mitre, que presenta una fachada ventilada con estructura de madera, 10 cm de aislamiento y acabado exterior de pizarra, así como forjados de losa alveolar de gran inercia térmica. Su distribución es diáfana y flexible y posee paneles solares y fotovoltaicos. [5]

- City Hall en Londres, de Norman Foster: tiene una estrategia energética que le permite consumir una cuarta parte de lo que consume generalmente un edificio de sus características, mediante ventilación natural, aprovechamiento de la luz solar, y el reciclaje del calor generado por ordenadores y luces. No tiene sistema de aire acondicionado, sino que usa eficientemente los recursos de los que dispone para enfriar el edificio.
- Casa Marika-Alderton, Comunidad Yiirkala, Magney House, Fredericks House y Kakadu Nacional Park, todas ellas en Australia, del arquitecto Glenn Murcutt, que destacan por el empleo de materiales sostenibles procedentes del entorno, así como por su diseño bioclimático completamente integrado en la naturaleza que le rodea. Algunas de ellas poseen adicionalmente elementos prefabricados. [7]

En cuanto a institutos, centros y asociaciones de investigación, desarrollo e innovación en construcción, podemos destacar los siguientes:

- European Construction Research.
- ENBRI: European Network of Building Research Institutes.
- IAARC: International Association for Automation and Robotics in Construction.
- CIB: International Council for Research and Innovation in Building and Construction.
- RILEM: International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures.
- ECCREDI: The European Council for Construction Research, Development and Innovation.
- CECE: Committee for European Construction Equipment.
- EUZ: Energie + Umwelt Zentrum.
- LABEIN Tecnalia.
- CIDEMCO: Centro de Investigación Tecnológica.

4. ESTADO DEL SECTOR. EVOLUCIÓN DEL MERCADO

En un ámbito nacional se puede comprobar, según datos estadísticos del Ministerio de Fomento, que el dinero invertido en la industria de la construcción, ha pasado desde 1990 a 2005, de 24.963.418 a 59.453.942 miles de euros respectivamente [8]. Cabe mencionar que de este dinero invertido, en 1990 el 53,89% se debía a la edificación y el 56,11 % a la

ingeniería civil, mientras que en 2005, se había pasado a un porcentaje del 62,27% para la primera. [8]

El incremento en cuanto número de viviendas construidas del año 2000 al año 2005 es del 28'71 %, de las cuales, se construyeron 184.218 residenciales [9](con un 9'7 % de viviendas unifamiliares y un 90'60 % de viviendas colectivas) y 19.159 edificios no residenciales [9] (14'05 % en explotaciones agrarias y pesqueras, 42'17 % en industrial, 1'33 % en transporte y comunicaciones, 27'12 % en almacenes, 2'4 % en edificios burocráticos, 5'13 en servicios comerciales y el resto atribuible a otros servicios). La rehabilitación ha sufrido del mismo modo un crecimiento del 28'60 %, llegando en 2005 a rehabilitar 33.086 edificios. [8]

Entre dichas construcciones, destaca el incremento del uso del hormigón en las mismas en un 19% frente al 2'36 % del crecimiento del uso de la estructura metálica desde 1990 hasta 2005. [10]

En cuanto a la industria del bricolaje casero, puede compararse como en España en cuestión de 5 años, las empresas terciarias dedicadas a este sector han visto triplicados sus ingresos anuales, lo cual queda reflejado en el crecimiento y proliferación de plantas que se está experimentando en todo el territorio nacional. [11]

5. NUEVAS TENDENCIAS

Existen actualmente varios factores que pueden influir en el cambio en los materiales y en las tecnologías de la construcción.

El primero de ellos es la clara recesión que está sufriendo el sector inmobiliario. Avalan esta afirmación los datos emitidos por el Ministerio de la Vivienda, según los cuales, en el año 2005, respecto al 2004, se detecta [4]:

- Disminución del número de promociones nuevas.
- Disminución del tamaño de las promociones.
- Disminución del ritmo de venta.

Cabe añadir que el mayor aumento de precios en la construcción, según datos del Ministerio de Fomento, se produce en la

siderurgia, los cementos artificiales, los productos bituminosos, los productos metálicos estructurales, el material eléctrico y los aceites lubricantes. [8]

El segundo factor a tener en cuenta es la actual entrada en vigor del CTE. Con su aprobación, se producen cambios fundamentales en las exigencias en cuanto a la calidad en la edificación, documentación de seguimiento de obra y mantenimiento de los edificios.

En su Anejo II: "Documentación del seguimiento de la obra", se indica que el constructor deberá recabar de todos los suministradores de productos, los controles realizados, las instrucciones de uso y mantenimiento y las garantías correspondientes de su producto. Este aumento de la certificación en obra, es prácticamente inviable en la actualidad. Mediante la industrialización y el uso de la estructura prefabricada, puede obtenerse un solo certificado global con todos los controles y garantías necesarios de cada una de las piezas completas que se van a montar en la obra.

El CTE tiende a incrementar el grado de aislamiento de los edificios tanto en cantidad como en calidad. La mejora en la calidad también afecta a otro tipo de elementos constructivos como ventanas o carpinterías, buscando siempre el mayor ahorro energético.

En cuanto al mantenimiento del edificio, con la entrada en vigor del CTE, es la primera vez que se hace directamente responsable del uso y mantenimiento del mismo al propietario o adquirente, a la vez que se exige realizar una inspección técnica de las edificaciones cada cuatro años [12]. Esto implicará que los usuarios deban realizar operaciones de mantenimiento, que deberán estar garantizadas y certificadas por empresas específicas que las realicen, por lo que se tenderá a aumentar la cualificación de los operarios de estas empresas de reformas.

Otro factor de cambio será la exigencia de cumplimiento de ciertos parámetros de sostenibilidad motivados por la preocupación creciente por el cambio climático. Esto dentro del sector de la construcción implica cambios en todos los niveles. En origen afecta a los procesos de fabricación de los materiales de cons-

trucción y a la elección de los mismos, debiendo ser éstos respetuosos con el medioambiente, y cobrando de esta manera especial relevancia el análisis de su ciclo de vida. De esta forma se aprecia como se están introduciendo nuevos materiales en base a criterios de sostenibilidad, como su reciclabilidad, biodegradabilidad, contenido de sustancias contaminantes, procedencia de los materiales, etc.

Una iniciativa pionera en España en este campo es la "certificación Q Sostenible", que tiene por objeto regular y certificar la Edificación Sostenible, asegurando unos mínimos de calidad que eviten de esta forma el uso del término sostenible como simple reclamo publicitario.

Por último, cabe destacar también que debido a la entrada en vigor de la nueva Ley de Subcontratación en el Sector de la Construcción, se reducen considerablemente el número de autónomos y pequeñas empresas que pueden entrar a trabajar en las obras de edificación. Esto conlleva una modificación en el actual modelo de contratación y gestión de la obras de construcción, cuya solución podría estar en la industrialización de los procesos constructivos, los cuales se llevarán a cabo por empresas especializadas con trabajadores en plantilla propia, de forma que en obra solo será necesario el montaje de los dichos elementos.

5.1. NUEVOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Para dar cumplimiento a todos los condicionantes nombrados anteriormente, conforme a las exigencias de actual normativa y la nueva demanda del mercado inmobiliario, aparecen con fuerza en el sector dos tendencias constructivas que se prevé van a imponerse en un corto plazo de tiempo frente a los actuales procesos de construcción. Estas son las viviendas prefabricadas modulares y la edificación con sistemas constructivos sostenibles, donde toman especial relevancia la gestión de los residuos y el reciclado de los materiales.

- **Viviendas prefabricadas modulares:** Se trata un sistema innovador en España, pero con varios precedentes a nivel mundial. Consiste en fabricar en serie de forma prefabricada, partes o habitáculos modulares de un edificio que contienen todas las instalaciones y elementos necesarios

para ser simplemente ensamblados en obra, configurando bloques enteros de viviendas. Estos módulos se pueden combinar entre sí creando diferentes tipos de viviendas. El acabado de los paramentos se realiza mediante el sistema de fachada ventilada. Empresas pioneras en el sector son "Toyota Homes" y "Sekisui Heims Factories". En Toyota Homes, sus casas pueden componerse a partir de 300 módulos habitacionales diferentes, siendo capaces de producir y ensamblar en fábrica 12 piezas cada 4 a 6 horas [13]. Se ofrece una garantía en sus viviendas entre 10 y 20 años. Sekisui Heims Factories, actualmente está produciendo 25.000 casas al año. Poseen robots capaces de soldar unidades modulares en tan solo 2,5 minutos [13]. En España actualmente, se está instalando una fábrica similar, perteneciente al "Grupo Afer" junto con "Habidite Technologies", en Magallón (Zaragoza).

- **Sistemas Constructivos Sostenibles:** Las bases para conseguir sistemas de construcción sostenibles en base al estudio del ciclo de vida, pueden resumirse en cinco principios:

- Estandarización e industrialización, para mejorar la calidad y optimizar los gastos de material.
- Sistemas de montaje en seco, para facilitar su reutilización, así como disminuir los residuos y costes del montaje.
- Elementos de fácil transportabilidad y poco mantenimiento.
- Instalaciones registrables para fácil mantenimiento y recuperación de material.
- Utilización de materiales de fácil reciclaje, poco contaminantes y con un consumo energético mínimo en su producción.

Como ya se ha mencionado, las nuevas tendencias para conseguir sistemas constructivos sostenibles se fundamentan: para la estructura, en la prefabricación y estandarización de elementos, y en la disminución en lo posible la cantidad de acero en cimentación así como en el uso de bentonita como aislamiento; en cubiertas se impone la cubierta invertida ecológica con aislamientos como el caucho o el polipropileno; en la construcción de fachadas se recomienda el uso de termoarcillas o similares como hoja interior en la ejecución de fachadas ventiladas; y en particiones interiores, la utilización de paneles prefabricados de aglomerados de madera con uniones atornilladas.



Figura 1: Edificio de oficinas realizado con forjados de placas alveolares y vigas Twin. Fuente: Hormipresa



Figura 2: Esquema de organización de estructura para viviendas con elementos prefabricados. Fuente: Hormipresa.



Figura 3: Estructura con pared portante para un hotel. Fuente: Prainsa.



Figura 4: Edificios prefabricados. Fuente: Prainsa.

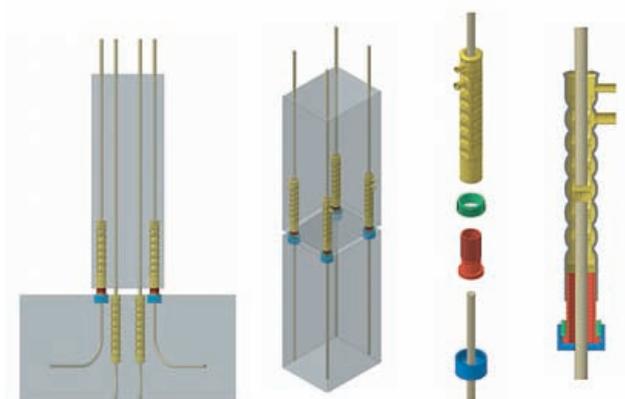


Figura 5: Nuevo sistema de unión de elementos prefabricados para resolver la hiperestaticidad de uniones, que consigue eliminar la excentricidad de esfuerzos y consigue resultados antisísmicos óptimos. Fuente: B.S. Italia.

5.2. NUEVOS MATERIALES

Para conseguir llevar a cabo estos sistemas constructivos sostenibles, están apareciendo en el mercado nuevos materiales con mejor ciclo de vida y una capacidad de reciclaje mucho mayor. Destacan entre ellos:

- **Espumas rígidas:** realizadas con poliestireno extruido que emplea dióxido de carbono (CO₂) como agente expandente. Se obtiene un aislamiento térmico totalmente libre de CFC, HCFC, HFC evitando de esta forma el agotamiento de la capa de ozono. El balance energético del ciclo de vida de este producto se considera positivo debido al bajo consumo de materias primas en su fabricación y el importante ahorro energético que supone sobre los consumos de calefacción y refrigeración en viviendas durante su vida útil. [14]
- **Morteros minerales:** Frente al "método de capa gruesa", donde debe aplicarse una capa de 10 a 25 mm de mortero, en esta técnica de "capa fina", ejecutada con morteros minerales, basta con un espesor de la que varía entre 2 y 4 mm. Las excelentes propiedades de retención de agua que el polímero confiere a la capa de mortero evitan la humectación previa de los azulejos y el paramento y las propiedades antidescuelgue

que se inducen permiten colocar los azulejos de arriba hacia abajo, sin necesidad de separadores y reglas basales. El factor clave es la formación de películas poliméricas o zonas de resina en la matriz del cemento fraguado. [15]

- **S.A.BIO. Sistema Integral de Aislamiento Bioclimático:** El aislamiento incorporado a este sistema es corcho negro. La incorporación de materiales orgánicos de origen vegetal en la construcción, además de su biodegradabilidad, tiene la ventaja de presentar una emisión de CO₂ negativa si tenemos en cuenta su ciclo de vida completo. [14]
- **Aislamientos naturales:** En el apartado de aislamientos encontramos multitud de materiales naturales como la lana de oveja, paneles de fibras de madera, fibras de cáñamo y lino, corcho y otros materiales que por su origen, resultan totalmente biodegradables. [14]
- **Pinturas ecológicas:** Las pinturas ecológicas no contienen disolventes orgánicos volátiles tóxicos al estar hechas, principalmente, en base de aceites vegetales sobre todo de lino, resinas naturales, caseína o de cítricos o silicatos cuando son para exteriores. A su vez los pigmentos no se realizan con metales pesados sino mediante base de tierras, óxidos de metales y diversos productos de origen mineral o vegetal. [14]
- **Bambú:** El bambú se plantea como alternativa sostenible de la madera. El bambú, al ser un rizoma, crece sin necesidad de plantación y alcanza su talla adulta en tan solo 6 años mientras que el roble tarda 50. En cualquier caso, existe el inconveniente de gran huella ecológica debido a que se debe importar de países lejanos poniendo en seria duda el balance nulo en la emisión de dióxido de carbono a lo largo de todo su ciclo de vida, tan característico de materiales orgánicos. [14]

5.3. TENDENCIAS DE MERCADO

En resumen, teniendo en cuenta todos los factores que se han analizado hasta el momento, la previsión de la evolución del sector de la construcción tenderá principalmente a:

- **Un aumento de los elementos prefabricados y estandarizados.** (Figuras 1, 2, 3 y 4).

Se resalta en este aspecto el papel tan importante que tiene la estructura prefabricada para dar un primer paso, teniendo como objetivo final la construcción de viviendas prefabricadas modulares. Gracias a estos sistemas, mediante los que se pasa el proceso de fabricación a instalaciones fijas realizando en obra solo el montaje, se logra:

- Mejores condiciones de trabajo, y por lo tanto disminución de accidentes laborales.
- Certificación de los productos terminados en fábrica, por lo que será más fácil recopilar certificaciones de obra.
- Reorganización en la contratación de gremios, los cuales deberán poseer una mayor cualificación. La plantilla será menos eventual, al ser más constante la producción en industria.
- Disminución de la generación de residuos en el proceso constructivo.
- Disminución de casi en un 50% los tiempos de ejecución.
- Obtención de un mayor control en el presupuesto de la obra.

Como inconvenientes, quedan todavía por solucionar problemas de uniones hiperestáticas en edificación, de transmisión térmica por juntas y puentes térmicos así como de transmisión de ruidos. (Figura 5)

- Aumento de la rehabilitación y mantenimiento. Bricolaje casero: Como se ha comentado con anterioridad, con la entrada en vigor del CTE, los usuarios de los edificios, se hacen partícipes del uso y mantenimiento del mismo, al ser obligados a realizar una inspección técnica de las edificaciones cada cuatro años. Se tenderá a contratar empresas especializadas que puedan garantizar las operaciones de mantenimiento que realicen, para evitar responsabilidades derivadas.

La tendencia a rehabilitar edificios es perfectamente palpable en el resto de Europa, siendo la pionera Alemania en la última década. Se espera que se perfeccionen e investiguen los métodos constructivos utilizados en rehabilitación así como su sistematización. [16]

En cuanto al bricolaje casero, su factor de influencia tiene como referente el sistema social europeo, en el cual los trabajadores poseen más tiempo libre y debido a los precios que ha adqui-

rido la vivienda, dedican una buena parte de él a reformas en casa.

- Gestión de residuos de la construcción: Actualmente en Europa los residuos generados por el sector de la construcción son de aproximadamente el 40% del total [5]. En España, el primer paso dado para evitar la proliferación y vertido descontrolado de los mismos, ha sido redactar el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (PNRCD) 2001-2006, cuyos objetivos principales son prevenir, reutilizar, reciclar, y valorizar energéticamente los residuos, incluyendo la gestión de los mismos en fase de proyecto, así como la creación de una red de infraestructuras para reciclar adecuada.

Ciclo de vida de los materiales: Para saber realmente cual es la sostenibilidad un proceso de construcción debe analizarse el ciclo de vida completo de los materiales, cuyas fases son:

- Extracción de materiales: se tendrá en consideración la transformación del medio sufrida.
- Producción: influyen tanto el consumo energético como las emisiones producidas.
- Transporte: en esta fase se tendrá en cuenta el consumo de energía.
- Puesta en obra: Se valora los riesgos que conlleva para la salud y la generación de sobrantes.
- Reconstrucción: Emisión de contaminantes y transformación del medio.

- Usar materiales reciclados: El reciclaje de materiales ocupa un papel muy importante en la sostenibilidad. En el sector de la construcción pueden encontrarse materiales fabricados a partir del reciclaje de materiales de desecho tales como pavimentos para exteriores, en los que se usa hasta un 90% de vidrio reciclado, el cual también es reutilizable para fabricar embases o aislamientos térmicos de fibras de celulosa, material aislante obtenido a partir de papel de periódico reciclado.

Destacan como materiales potencialmente reciclables:

- Materiales pétreos: machacados para fabricar áridos o rellenos.
- Metales: la chatarra sobrante se fusiona con otros materiales.

- Maderas: se trituran para hacer tableros aglomerados o se utilizan como biomasa.
 - Asfaltos y cauchos: utilizados para la pavimentación de carreteras.
 - Material cerámico: se machaca para utilizar como relleno en firmes de carretera o para fabricación de hormigón.
 - Hormigón: Los resultantes del derribo podrían usarse como áridos para hormigón en masa o armado, pero actualmente es muy complicado separar las armaduras.
 - Vidrio: Se recicla de nuevo en vidrio mediante fusión.
- **Robotización de los procesos:** La investigación para la robotización e industrialización de los procesos constructivos en edificación comenzó en los años 80, con una destacada iniciativa de la industria e investigación japonesa, siendo en los 90 cuando empezó a aplicarse en la construcción de bloques de viviendas [13]. Las razones por las cuales esta robotización no se ha implantado en el campo de la edificación de forma tan consolidada como el resto de los procesos industriales, son principalmente las condiciones ambientales de trabajo adversas, la movilidad necesaria para los robots, y sobre todo la no estandarización de las obras, de manera que cada una de ellas necesitaría programas robotizados diferentes, haciendo que no sea rentable su utilización.



Figura 6: Robot humanoide conduciendo una pala excavadora.

Otro gran inconveniente es que se debe trabajar en paralelo con el resto de obreros, con el consecuente peligro que ello conlleva.

Por tanto, una vez se haya afianzado la industria prefabricada, los elementos estandarizados y las uniones secas en construcción, será posible usar de forma rentable toda la tecnología que

se está desarrollando en la actualidad en torno a la robotización de los trabajos en los procesos constructivos. Es un objetivo alcanzable únicamente a largo plazo.

En la actualidad, ya existen robots capaces de ensamblar encofrados, instalar falsos techos, levantar tabiques, pintar fachadas o conducir carretillas elevadoras o palas excavadoras. Un solo robot es capaz de colocar el falso techo, suelo técnico y paneles de pladur de una vivienda introduciendo mediante CAD/CAM la distribución interior con puertas y ventanas (Figura 7). Para que resulte rentable, solo haría falta implantar industrias de elementos estandarizados para todas las obras. En la actualidad se están desarrollando sistemas de detección de cuerpos y reconocimiento de espacios por sensores para programar automáticamente las acciones del robot y la identificación de lugares por sistemas de procesamiento de imágenes. [13]

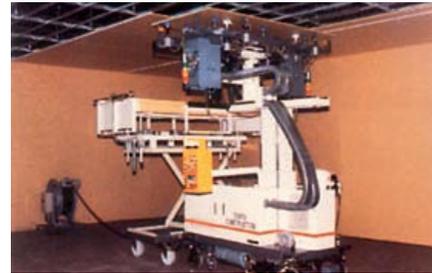


Figura 7: Robot programable para colocación de falsos techos y paneles de fachada.

La marca TAISEI, ha conseguido desarrollar un robot capaz de pintar 100 m² de fachada del Edificio de Centro de Shinjuku de 220 metros de altura.

En la actualidad ya existen robots cuya aplicación al mundo de la construcción se está realizando de forma rentable. Destaca la creación de un robot capaz de realizar forjados, cubiertas y fachadas de hormigón. Para ello limpia la zona de producción y coloca espaciadores regulares. Después mediante dos brazos coloca los perfiles de acero según los datos de diseño de CAD y en un tercer paso ata las barras de refuerzo según datos estructurales de la ingeniería. (Figura 8). Por último extiende de forma controlada el hormigón reconociendo mediante un programa de CAD/CAM la ubicación de ventanas y puertas. [13]



Figura 8: Colocación de las armaduras y vertido regulado del hormigón.

En 2005 C.A.F.E. desarrolló un prototipo de sistema semiautomático de bajo coste (7.000 €) para la limpieza de fachadas. El operario maneja la máquina por control remoto. Se trata de una pequeña grúa situada en el tejado del edificio, que se desplaza por la fachada realizando las operaciones de limpieza con el agua que es reutilizada al recogerse por aspiración. [17] [18]

Otro claro ejemplo es el robot procedente de Suiza que ha empezado a demoler el Atrium Beach, de Villajoyosa. Los robots, dirigidos por control remoto, trituran el hormigón y cortan las piezas metálicas de la estructura. Lo hace mediante un procedimiento de presión en vez de por percusión para no dañar el resto de la estructura. El método permite, además, separar el hormigón del hierro para favorecer el reciclado. La empresa encargada de los trabajos es "Alicantina de Corte y Perforaciones". [19]

Como sistemas más sofisticados utilizados hasta el momento, se encuentran los nuevos procesos de construcción robotizados TUP de TAISEI, ABC de OBAYASHI y SMART de SHIMIZU. El edificio Jurdku Bank, en Nagoya, Japón, fue realizado con este último procedimiento [20]. Condicionaba especialmente su construcción la falta de espacio colindante para trabajar. En su construcción, el transporte, almacenaje en obra y ensamblaje de piezas estructurales y de fachada se realizó de forma completamente automatizada mediante robots programados, justo en el momento preciso. Para ello se utilizaron hasta 22 robots equipados con grúas automáticas. Otros robots, una vez posicionados de forma automática, se encargaban de soldar las uniones, cuya posición y calidad era monitorizada por laser. Una vez terminado un piso, el soporte estructural es levantado al siguiente mediante prensas hi-

dráulicas. Esta operación cuesta realizarla una hora y media. El levantamiento y ensamblaje de la estructura de acero mediante este método cuesta tan solo de tres a seis semanas. Los cerramientos de fachada se colocan de arriba abajo desde la azotea. Este sistema de construcción redujo los costos de trabajo en un 30%.

Una tecnología mucho más cercana en el tiempo es la producción de muros de mampostería prefabricados, para después transportar y colocar en obra, así como la utilización de robots que transportan y colocan todos los elementos estructurales necesarios en la obra de forma programada para después soldarlos.

Los últimos estudios en robótica tienden a solucionar trabajos de acabados y rehabilitación, al detectarse durante la última década el aumento de rehabilitación y restauración de edificios en el sector de construcción alemán. [16]

6. IMPACTOS SOBRE EL SECTOR DE LA MOPYC

El aumento de la población española, el cambio de hábitos [21], de tipología de vivienda [22] y el aumento de la segunda residencia, supondrá un aumento considerable del sector del bricolaje en los próximos años [23]. Este fenómeno ya se ha producido en países de nuestro entorno como Francia o el Reino Unido. España ocupa todavía una sexta posición en el mercado europeo con amplio margen de crecimiento (20% anual). A largo plazo es posible un estancamiento de la fórmula "hazlo tu mismo", por la de "hazlo por mí", tal como está ocurriendo en otros estados de la UE, como en el Reino Unido. [24].

Creemos que el aumento de tanto del bricolaje como de la rehabilitación supondrá nuevas oportunidades de negocio para las empresas del sector, así como la creación de productos destinados a tales fines.

Consideramos que el sector de viviendas prefabricadas (las completamente construidas en fábrica y transportadas a su ubicación), no será un sector que pueda hacer caer la demanda de maquinaria en la construcción, debido a las particularidades en el urbanismo en España y su sector hipotecario [25].

Al contrario de lo que se piensa la aplicación del Código Técnico de la Edificación no redundará en un aumento de la sostenibilidad en la edificación. El CTE supondrá un aumento de la calidad de la edificación, tanto en su parte constructiva como sobre todo de la parte de instalaciones. El coste que supone la aplicación del CTE varía entre el 1% hasta el 10% según las fuentes [4], que no podrá ser repercutido directamente sobre el comprador, y que redundará en un aumento de la calidad de los proyectos de arquitectura e ingeniería, del control de obra y la maquinaria, de los materiales y de su puesta en obra, de las instalaciones (fontanería, saneamiento, ACS y aporte solar mínimo) y de los aislantes y soluciones constructivas.

La posible congelación en la demanda en la construcción de la vivienda supondrá una desaceleración en el sector de la construcción [26] [27]. Esta ralentización supondrá un aumento de la competencia, y por lo tanto junto a la aplicación real del Código Técnico y la ley 32/2006, una mejora en la calidad del producto final. Para cumplir con todos los requisitos que se imponen con la nueva legislación y el aumento de las responsabilidades y demandas por fallos y deficiencias en la edificación, se impondrá la prefabricación, la utilización de nuevos materiales con mayores certificados de calidad y mayores prestaciones, la integración de las instalaciones, la modularidad tanto en el diseño como en la fabricación, e incluso la robotización de ciertos procesos constructivos.

A medio y largo plazo, la toma en conciencia de la sociedad del cambio climático y sus efectos, supondrá el desarrollo de legislaciones cada vez más restrictivas con los consumos energéticos y la aplicación efectiva de indicadores de sostenibilidad en la construcción [28]. Esto se traducirá en una mayor rentabilidad y consiguiente utilización de materiales reciclados, de materiales sostenibles y gestión de residuos.

Para responder a estos cambios en el sector, serán necesarias nuevos tipos de procedimientos y maquinarias del sector:

- El aumento de la prefabricación exigirá una mayor utilización de grúas, tanto grandes como pequeñas, de sistemas electrónicos de medición y la aplicación de procedimientos de construcción en seco. Se reducirá el número de encofrados, puntales y elementos auxiliares en la construcción de forjados,

aunque aumentará mucho la calidad de los mismos. Crecerá la investigación en uniones entre elementos prefabricados y uniones especiales con el resto de las partes del edificio.

- El aumento de la rehabilitación, exige encofrados especiales, puntales y apeos de fachada, soluciones metálicas, pequeña maquinaria auxiliar, y utilización de las nuevas tendencias integrales en rehabilitación y reparación de edificios (cubiertas, fachadas, forjados, estructuras, instalaciones, etc). Aplicación de morteros especiales, adhesivos, protectores de armaduras e impermeabilizantes.
- El aumento del bricolaje supone una oportunidad única para el sector; aumentará la demanda de pequeña maquinaria para la construcción, especialización, marketing y facilidad de uso.
- El aumento de la industria de viviendas o partes de las mismas, supondrá la demanda de nuevas máquinas que se puedan integrar en procesos industrializados en fábricas completamente automatizadas y en sistemas de puesta en obra: grúas con soportes especiales, utilización de gatos hidráulicos, etc.
- El aumento de la sostenibilidad supondrá trazabilidad global de todos los materiales y procesos implicados en la construcción, lo que acarreará certificaciones energéticas y de seguridad en todas las máquinas utilizadas en el proceso. Se aumentará el control y requisitos sobre las empresas extractivas, con mayores exigencias de tipo ambiental, que dificultarán mucho la implantación de este tipo de industrias y de los transportes que conllevan.
- La utilización de nuevos áridos, cementos y materiales reciclados, supondrá la adaptación de los sectores del hormigón, áridos y transporte a las nuevas características de estos productos.
- El aumento de la robotización supone una oportunidad excepcional para el desarrollo del I+D+i y de la diversificación de productos de la industria del sector.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RODRÍGUEZ LÓPEZ, J. "Situación y Perspectivas Futuras en el Sector de Inmobiliario en España". Estadístico Superior del Estado, Economista del Banco España. Ministerio de Vivienda. Mayo 2006.
- [2] Estudio de Oferta de Vivienda de Nueva Construcción en Zonas Urbanas. Ministerio de Vivienda. 2006
- [3] Boletín Informativo del Instituto Nacional de España. Cambios en la composición de los hogares. Junio de 2004.
- [4] Boletín Informativo del Instituto Nacional de España. Censo de Población y Vivienda 2001. Febrero de 2003.
- [5] Antonio Baño Nieva. Arquitecto. Profesor Asociado de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Alcalá de Henares. Alberto Vigil-Escalera del Pozo. Ingeniero Técnico de Obras Públicas. Técnico del Centro Nacional de Educación Ambiental (CENEAM). Guía de construcción sostenible del ministerio de medio ambiente. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS) ISTAS es una fundación técnico-sindical de CC.OO. que promueve la salud laboral, la mejora de las condiciones laborales y la protección del medio ambiente. Noviembre 2005.
- [6] COSCOLLANO RODRÍGUEZ, J. "La Cubierta del Edificio". Ed. Thomson Paraninfo. Madrid, 2004.
- [7] Institute for tropical architecture. III encuentro de arquitectura, urbanismo y paisajismo tropical. San José, Costa Rica, 27, Noviembre de 2004.
- [8] Ministerio de Fomento. [www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/INFORMACION_MFOM/INFORMACION_ESTADISTICA]. [http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/INFORMACION_MFOM/INFORMACION_ESTADISTICA/licencias_municipales_obra.htm].
- [9] Ministerio de la Vivienda. Estudios y estadísticas. [http://www.mviv.es/es/index.php?option=com_content&task=blogsection&id=9&Itemid=35]. Ministerio de la Vivienda. Exposiciones y publicaciones. [http://www.mviv.es/es/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=50&Itemid=154].
- [10] INE: Instituto Nacional de Estadística. Industria y Construcción: Construcción y Vivienda. [http://www.ine.es/inebmenu/menu7_ind.htm#3].
- [11] El País Digital. Duelo de Titanes en el Bricolaje. Ed 29/04/2007.
- [12] ROMEO CASTILLEJO, I. DOMÍNGUEZ HERNÁNDEA, J. CANO SUÑÉN, E. "Inspección Técnica en la Edificación. Aplicación al barrio de San Pablo de Zaragoza". Los Autores, Zaragoza 2004.
- [13] International Association of Automation and Robotics in Construction. IAARC Newsletter, issues 5 y link [http://66.249.91.104/translate_c?hl=es&u=http://www.iaarc.org/frame/...].
- [14] Ecohabitar. Revista de bioconstrucción.
- [15] La revista técnica de la construcción. Nº 26, junio 2002.
- [16] ENBRI: European Network of Building Research Institutes.
- [17] http://www.ti.profes.net/archivo2.asp?id_contenido=33678.
- [18] <http://www.coiia.net/revista/347.pdf>.
- [19] www.panorama-actual.es/noticias/not195322.htm.
- [20] Review Article "Smart structures research in Japan" of Department of Aerospace Engineering, Nagoya University, Chikussa, Nagoya 464-01, Japan.
- [21] Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Alternativas a la construcción convencional de vivienda. ITeC, Barcelona 2002.
- [22] PARICIO, I. La vivienda contemporánea. Programa y tecnología. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITeC, Barcelona 1998.
- [23] Salón Profesional del Bricolaje. Informe Eurobrico 2005. Feria de Valencia. Octubre de 2006.
- [24] The Guardian. Ed. 02/04/07. Buenas perspectivas para el sector del bricolaje en Reino.
- [25] El Mundo Digital. [www.elmundo.es/Edmundo/2007/04/02/suvienda/1175500105.html].
- [26] Banco de España. Indicadores Económicos. 25.c. *Precios en la Construcción*. Abril 2007.
- [27] Banco de España. Indicadores Económicos. 3.3. CONSTRUCCIÓN. INDICADORES DE OBRAS INICIADAS Y CONSUMO DE CEMENTO. ESPAÑA. Abril 2007.
- [28] Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Parámetros de sostenibilidad. ITeC, Barcelona 2003.

5.7. La multifuncionalidad en la maquinaria de construcción y obra pública

Carlos Millán

Área de Innovación y Mercado, Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)

1. LA MULTIFUNCIONALIDAD EN EL SECTOR DE BIENES DE EQUIPO

La multifuncionalidad en el ámbito de la maquinaria se refiere a la capacidad de una máquina para poder efectuar un conjunto de tareas y operaciones diversas de transformación ya sea de forma secuencial o bien simultáneamente.

Se trata de una nueva tendencia de diseño de máquinas que está adquiriendo mucha fuerza sobre todo en el sector de la máquina herramienta por las ventajas que supone este concepto en cuanto a ahorro de costes (al reducirse los movimientos de piezas entre máquinas monofuncionales) y en cuanto a precisión dimensional. Las máquinas más convencionales que presentan alta multifuncionalidad son centros de mecanizado con capacidad para realizar torneados, fresados y taladrados gracias a que disponen de cabezales multiherramienta motorizados [1]. Las máquinas herramienta multifuncionales más usuales son tornos de control numérico de última generación, fresadoras y centros de mecanizado, todos ellos con capacidad para realizar operaciones de torneado, fresado y taladrado entorno a un conjunto importante de ejes controlados.



Figura 1. Cabezal de acabado de multifuncional [2].



Figura 2. Centro de mecanizado con capacidad para realizar torneados, fresados y taladrados [2].

Estas máquinas tienen capacidad de disponer varias herramientas sobre la pieza al mismo tiempo realizando operaciones de transformación diversas, siendo todo controlado por sofisticados software de control que evitan la colisión entre las herramientas, así como permiten seguir a la máquina autónomamente las planificaciones de producción. Esta tendencia hacia la multifuncionalidad en este tipo de máquinas está permitiendo que piezas complejas en series largas que actualmente se fabrican previamente mediante forja o fundición, sean mecanizadas en una sola máquina eliminando de esta forma los costes de estos procesos previos y las ineficiencias en los movimientos de las piezas. [1]

Las grandes empresas tradicionales fabricantes de centros de mecanizado son DMG, Mazak o Mori-Seiki. En las últimas ferias internacionales de máquina herramienta estas empresas están presentando máquinas de mayores dimensiones, con clara tendencia hacia la multifuncionalidad.

La creación de una célula de máquinas multifuncionales permitió en 2001 a la empresa Sandvik Mining and Construction

(Sandviken, Suecia) trasladar su producción de puntas de perforación de roca desde su centro de producción en México a Suecia. Estas piezas se mecanizaban partiendo de preformas forjadas de 200 tipologías, 15 de las cuáles son las más frecuentes produciéndose en lotes que varían de 8 a 48 unidades. La creación de una célula integrada por 3 máquinas multifuncionales Nakamura STS-40 (con capacidad para realizar torneados, fresados, taladrados e incluso tratamientos térmicos superficiales) con cambios de pieza robotizados permitió alcanzar los niveles de producción requeridos con 12 operarios mientras el anterior método requería de 7 máquinas y 50 operarios. [1]

Otros ejemplos de multifuncionalidad en máquina herramienta hacen referencia a la incorporación a las máquinas de sistemas láser y ultrasonidos para realizar operaciones de transformación a las piezas alternativas. Los sistemas láser permiten la realización de un importante conjunto de procesos que abarcan el corte, el marcado, la soldadura, la asistencia al mecanizado, la realización de tratamientos térmicos superficiales, el aporte de material, etc. superando en muchas ocasiones las posibilidades de los procesos convencionales. Algunos ejemplos de estas capacidades se pueden encontrar en [3], [4], [5] y [6]. Por otro lado los ultrasonidos permiten la realización de procesos como la asistencia al mecanizado, la soldadura o el propio mecanizado abrasivo. La aplicación de los ultrasonidos para la asistencia a procesos de mecanizado convencionales como el taladrado y el torneado se ha realizado fundamentalmente a nivel de investigación presentando interesantes ventajas en ambos procesos que pueden encontrarse en [7] y [8]. Otra de las posibilidades de uso para las tecnologías ultrasónicas es la aplicación para el reavivado de muelas de superabrasivo en procesos de rectificado [9].

Actualmente ya existen fresadoras de alta velocidad [10] que integran el proceso de ablación por láser, que permite sobre una pieza mecanizada utilizar el láser para mecanizar geometrías complejas o pequeños diámetros en superficies curvas (evitando la utilización de herramientas demasiado esbeltas). Siguiendo esta filosofía de multifuncionalidad y a tenor de las inquietudes mostradas por las empresas usuarias de estas tecnologías se están comenzando a desarrollar nuevos procesos de fabricación mixta fresado-láser, pero dónde el láser pueda servir para aportar, templar o soldar, apostando decididamente por reforzar la versatilidad que ofrece dicha técnica.

Otra tendencia de uso de los sistemas láser y ultrasonidos es la asistencia al mecanizado convencional, ya sea torneado, fresado, taladrado o rectificado. La misión de esta asistencia es mejorar el rendimiento de la operación en cuanto a desgaste de herramienta, facilitar la generación y rotura de viruta, actuando sobre los mecanismos intrínsecos a su formación.

1.1. REFERENTES TECNOLÓGICOS

A nivel nacional:

- **Empresas:** Nicolás Correa, Grupo Danobat, Etxe Tar.
- **Centros Tecnológicos y Universidades:** Ideko, Fatronik, Tekniker, ITA

A nivel internacional:

- **Empresas:** Wimmer, Probst, O&K (Orenstein and Koppel AG), Mecalac Ahlmann, Mori Seiki, Mazak, DMG.
- **Centros Tecnológicos y Universidades:** Webb School of Construction, APS (European Centre for Mechatronics), Innas BV.

2. LA MULTIFUNCIONALIDAD EN EL SECTOR MÁQUINA DE CONSTRUCCIÓN Y OBRA PÚBLICA

En este apartado se pretenden presentar algunos ejemplos detectados de multifuncionalidad entre las Máquinas de Construcción y Obra Pública tanto a nivel nacional como internacional. Como se ha podido constatar en la última feria de Bauma 2007 en Munich, la tendencia a buscar mayor funcionalidad en este tipo de máquinas se manifiesta cada vez con más fuerza. Hoy en día se ha logrado que ciertos trabajos en la construcción o la obra pública, para cuya ejecución se necesitaba antes utilizar dos o incluso tres máquinas, se puedan realizar ahora con tan solo una, con las importantes repercusiones que tiene este hecho para la productividad total de la obra.

2.1. LA MULTIFUNCIONALIDAD EN EL SECTOR DE LA MÁQUINA DE CONSTRUCCIÓN Y OBRA PÚBLICA A NIVEL INTERNACIONAL: PRINCIPALES APLICACIONES Y EMPRESAS DE REFERENCIA

Como indica SITEK en [11] la necesidad de adaptar la máquina a las necesidades de la obra e incrementar la productividad está haciendo que proliferen en un importante conjunto de fabricantes las máquinas compactas y multifuncionales.

La máquina con accionamiento hidráulico es la tendencia más usual en el mercado actual tanto en máquina compacta como en máquina de gran tonelaje, por las propias características del entorno de trabajo de las mismas y por la gran flexibilidad que tiene este sistema de accionamiento. En este tipo de máquinas se está extendiendo el uso de sistemas de cambio de adaptación rápida de herramientas, lo que permite que una misma máquina pueda realizar diversas operaciones de transformación en obra de forma secuencial. Empresas como Wimmer [12] han desarrollado estos sistemas para máquinas hidráulicas (excavadoras, cargadoras, etc.) con sistemas de enganche de herramienta tanto mecánicos como hidráulicos (Figuras 3 y 4).



Figura 3. Sistema hidráulico de adaptación rápida de herramientas [12].



Figura 4. Sistema de compactación adaptado a brazo de máquina hidráulica [12].

Las herramientas convencionales con posibilidad de adaptación a brazos o sistemas hidráulicos son muy diversas. Abarcan desde martillos, sistemas de compactación, cucharas para movimiento de tierra, sistemas de taladrado, herramientas de corte, sistemas abrasivos en base a fresadoras para eliminar asfalto, etc. Un sub-sector en el que cobra especial importancia este hecho es el de la demolición y reciclaje, en el que las máquinas necesitan de un conjunto variado de herramientas para diferentes trabajos de corte y manipulación de materiales. Según [13] los tiempos de cambio de estas herramientas se reducen de horas a minutos gracias a los sistemas de cambio rápido automáticos, con los que además de incrementarse la productividad de los trabajos en obra, se incrementa la seguridad de los operarios al reducirse drásticamente las operaciones manuales.

Otros tipos de herramientas menos convencionales pero que también permiten dotar a las máquinas de altos niveles de funcionalidad son las referentes a la manipulación de materiales en obra con formas y pesos diversos. Probst [14] fabrica multitud de estas herramientas para máquinas compactas que permiten el movimiento de materiales de construcción con formas prismáticas, alargadas, circulares, tronco-cónicas y que pueden ser adaptadas a máquinas diversas. Algunas de estas herramientas permiten alcanzar importantes niveles de productividad en obra, sobre todo en lo referente a sistemas de ubicación precisa (figura 5).



Figura 5. Herramientas para ubicación precisa en obra [14].



Figura 5. Herramientas para ubicación precisa en obra [14].

En [11] se presenta una relación de fabricantes de maquinaria que actualmente están desarrollando maquinaria compacta orientada a la multifuncionalidad en obra, entre los que se citan a: ASV, Amman Group, Bobcat, Burkeen, Case, Caterpillar, CNH, Daewoo, Ditch Witch, Dressta, Gehl, Hitachi, Ingersoll-Rand, JCB, John Deere, Kobelco, Komatsu, Kubota, LeeBoy, Liebherr, Link-Belt, Manitou, Multiquip, Mustang, New Holland, O & K, Rayco, Schaeff-Terex, Takeuchi, TCM, Terex, Terramite, Thomas, Toro, Vermeer, Volvo, Waldon Equipment, Yanmar.

En este apartado caben destacar los trabajos realizados en el proyecto europeo del V Programa Marco "Advanced Multifunctional Machinery for Outdoor Applications" [15] cuyo objetivo es el desarrollo de tecnología para una nueva generación de máquinas eficientes energéticamente y multifuncionales para trabajos en el exterior. En este proyecto se han desarrollado estructuras de máquinas hidráulicas orientadas a la multifuncionalidad, nuevos sistemas de acoplamiento de herramientas, actuadores inteligentes y energéticamente eficientes, sistemas avanzados de control de movimiento para operación en obra y sistemas de diagnóstico y monitorización. Todos estos sistemas permiten una operabilidad mejorada en obra, altos niveles de intercambiabilidad de herramientas y seguridad mejorada para el operario. Todos los sistemas desarrollados fueron implementados en 3 plataformas para su ensayo y final validación.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE USO DE LA TECNOLOGÍA A NIVEL NACIONAL EN EL SECTOR DE LA MOP: APLICACIONES EN MÁQUINAS Y EMPRESAS DE REFERENCIA.

Entre las máquinas de fabricantes nacionales existen algunos ejemplos de multifuncionalidad aunque en términos generales la maquinaria nacional tiende preferentemente a la monofuncionalidad convencional. Entre los principales ejemplos de máquinas con multifuncionalidad se pueden citar los dúmperes de obra con capacidad de autocarga (figura 7), los vehículos multiservicio (figura 8), los dúmperes con funcionalidades alternativas (figura 9) y los brazos articulados con posibilidad de aprehensión de distintas herramientas, sobre todo martillos hidráulicos y herramientas de demolición.



Figura 7. Dúmper de obra con capacidad de auto-carga.



Figura 8. Vehículo multiservicio.



Figura 9. Dúmper barreadora con posibilidad de cambio por pala cargadora.



Figura 10. Herramienta para demolición de edificios.

También es interesante destacar la fabricación por parte de algunas empresas nacionales de sistemas de enganche rápido tanto mecánicos como hidráulicos para cazos de excavadoras así como la fabricación de diversas herramientas para derribo y corte de acero (figura 10).

3. EVALUACIÓN DE LA TENDENCIA MULTIFUNCIONAL EN LA MOP A MEDIO Y LARGO PLAZO

3.1. POSIBILIDAD DE APLICACIÓN

La industrialización de la construcción es una tendencia clara de futuro para este sector. Es evidente que los actuales sistemas constructivos así como los actuales mecanismos de organización existentes en la construcción son altamente ineficientes desde muchos puntos de vista, entre ellos el económico. Se está tratando con profundidad el hecho de que en el futuro se automatizarán operaciones en obra, se estructurarán los entornos constructivos y en base a esto empezarán a proliferar máquinas robotizadas. También en este contexto se está extendiendo la idea de los nuevos sistemas de organización en obra que permitan un uso más eficiente de los recursos como analogía al Lean Manufacturing del mundo industrial. Es en este ámbito en donde se debe ubicar la necesidad de la multifuncionalidad en la maquinaria de construcción y obra pública ([16] y [17]).

Esta necesidad de mayor eficiencia en obra, de reducción de desperdicios, de uso racional y eficiente del tiempo y de las personas es el motor de la necesidad de que las máquinas sean capaces de realizar mayor número de operaciones distintas tanto secuencial como simultáneamente. Como tendencias de diseño de máquina multifuncional más significativas se pueden citar las siguientes:

- En entornos constructivos urbanos se prevé que proliferen las máquinas compactas con capacidad de cambio hidráulico rápido y automático de herramientas y con mayor adaptación al tipo y a la dimensión del trabajo a realizar. [11]
- En entornos de obra pública y por tanto con mayor referencia a maquinaria de movimiento de tierra, se prevé que las máquinas evolucionen hacia estructuras móviles contrapesadas y accionadas por sistemas energéticos eficientes. Esta estructura será la plataforma de trabajo de un conjunto de herramientas hidráulicas muy variadas controladas por computadores y que dispondrán de sistemas de comunicación que pondrán en contacto la máquina con los equipos de gestión reportándoles diagnósticos de producción y de posición en obra. ([18], [19] y [20])

- A medida que se vayan estructurando los entornos constructivos proliferarán las máquinas robotizadas para realización de operaciones repetitivas o trabajos penosos y con tendencia a la multifuncionalidad.
- El mayor uso de prefabricados en obra va a hacer proliferar la existencia de grandes máquinas de manipulación de los mismos con capacidad para mover elementos constructivos con formas diversas y con capacidad para ubicarlos con precisión en sus posiciones en obra por lo que tendrán que ir equipadas con sistemas de medición (sistemas Best Fit).

3.2. RETOS TECNOLÓGICOS DE LA MÁQUINA DE CONSTRUCCIÓN Y OBRA PÚBLICA MULTIFUNCIONAL

Las implicaciones de la multifuncionalidad en la maquinaria de construcción y obra pública no son únicamente de tipo tecnológico, sino organizativo y también estratégico para el sector de la construcción. Los retos tecnológicos son variados y de amplio espectro. Se pueden sintetizar en:

- La necesidad de desarrollar plataformas de máquina compactas, flexibles y estandarizadas para poder adaptar multitud de herramientas diversas, que incorporen los elementos básicos como los sistemas de generación de energía, los sistemas de movimiento y estabilización y los sistemas de control y comunicación.
- La necesidad de desarrollar nuevos sistemas de cambio rápido y automático de nuevas herramientas.

- La necesidad de incorporar mayores accionamientos eléctricos en sustitución de los hidráulicos con objeto de incrementar las capacidades de control de la máquina y reducir consumos y ruido.

Con objeto de impulsar estos desarrollos en el sector a nivel nacional sería importante introducir la necesidad de estos desarrollos entre las prioridades temáticas de los nuevos Planes Nacionales de I+D, tanto de Diseño y Producción Industrial como de la Construcción, a través de las Plataformas Manufature y la Plataforma Tecnológica de la Construcción (PTEC), ámbitos en dónde el sector tiene representación a través de la asociación ANMOPYC.

3.3. IMPACTO DE LA MULTIFUNCIONALIDAD EN EL SECTOR DE LA MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN Y OBRA PÚBLICA

En el medio plazo se prevé que la fisonomía de la maquinaria de construcción y obra pública sea sensiblemente distinta a la actual, siendo uno de los factores de este cambio la necesidad de incrementar sus funcionalidades. Se prevé la aparición de nuevas tipologías de máquinas para aplicaciones ahora usuales así como nuevas máquinas para nuevas aplicaciones con tendencia hacia la multifuncionalidad.

Esto supone tanto un reto como una oportunidad de diversificación para el sector a nivel nacional que deberá adaptarse a estas nuevas tendencias para seguir manteniendo la competitividad a nivel internacional.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LORINCZ, J. (2006), "Multitasking Machining. Done-in-one setup makes parts better", *Manufacturing Engineering*, Vol. 136, No. 2.
- [2] LORINCZ, J. (2006), "Metalcutting: Multitasking Equipment", *Manufacturing Engineering*, Vol. 137, No. 2.
- [3] "Láser Assisted Machining". Fraunhofer USA Center for Manufacturing Innovation.
- [4] ALVAREZ, C., AMADO, J.M., LÓPEZ, A.J., NICOLÁS, G., RAMIL, A., SAAVEDRA, E., TOBAR, M.J., YAÑEZ, A. (2004) "A simulation based scheme for parameter process selection in laser surface treatments". *Proceedings of the Laser Assisted Net Shape Engineering*.
- [5] KOPEL, A., REITZ, W. (1999) "Laser surface treatment". *Advanced Materials & Processes*, volume 9.
- [6] WANG, Y., YANG, L.J., WANG, N.J. (2002) "An investigation of laser-assisted machining of Al2O3 particle reinforced aluminium matrix composite". *Journal of Materials Processing Technology* 129, 268-272.
- [7] BABITSKY, V.I., KALASHNIKOV, A.N., MEADOWS, A., WIJESUNDARA, A.A.H.P. (2003) "Ultrasonically assisted turning of aviation materials". *Journal of Materials Processing Technology* 132, 157-167.
- [8] NEUGEBAUER, R., STOLL, A. (2004). "Ultrasonic application in drilling". *Proceedings of the 14th International Symposium for Electromachining ISEM XVI*, vol. II.
- [9] NOMURA, N., WU, Y., KATO, M., KURIYAGAWA, T. (2005). "Effects of ultrasonic vibration in truing and dressing of CBN grinding wheel used for internal grinding of small holes". *Key Engineering Materials Vols. 291-292*, 183-188.
- [10] PEREZ, J.M., MILLÁN, C. (2007) "Technologies related to high speed machining (HSM). Spanish scenario, international references and challenges". *Proceedings of Sixth International Conference of High Speed Machining*, San Sebastián.
- [11] SITEK, G. (2005) "Compact Equipment". *Associated Construction Publications*.
- [12] www.wimmer.info
- [13] GUBENO, J. (2005) "Quick-attach systems help scrap processors get more out of their material handling equipment". *Recycling Today*.
- [14] www.probst.eu
- [15] Project "Advanced Multifunctional Machinery for Outdoor Applications", *Competitive and Sustainable GROWTH EU-Programme, V Programa Marco*.
- [16] TATUM, C.B., VORSTER, M., KLINGLER, M., PAULSON, B.C. (2006), "Systems analysis of technical advancement in earthmoving equipment", *Journal of Construction Engineering and Management*, Volume 132, Issue 9, pp. 976-986.
- [17] ARDITI, D., KALE, S., TANGKAR, M. (1997), "Innovation in construction equipment and its flow into the construction industry", *Journal of Construction Engineering and Management*, Volume 123, Issue 4, pp. 371-378.
- [18] SCHEXNAYDER, C.J., DAVID, S.A. (2002) "Past and Future of Construction Equipment—Part IV". *Journal of Construction Engineering and Management*, Volume 128, Issue 4, pp. 279-286.
- [19] TATUM, C.B., VORSTER, M., KLINGLER, M. (2006), "Innovations in Earthmoving Equipment: New Forms and Their Evolution", *Journal of Construction Engineering and Management*, Volume 132, Issue 9, pp. 987-997.
- [20] GIRMSCHIED, G., SCHEXNAYDER, C.J. (2003), "Tunnel Boring Machines", *Pract. Periodical on Struct. Des. and Constr.*, Volume 8, Issue 3, pp. 150-163.

5.8. Herramientas CAD/CAM/CAE y prototipado virtual y rápido para diseño y desarrollo de maquinaria de construcción y obra pública

Juan Ramón Escudero

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS HERRAMIENTAS CAD/CAM/CAE Y PROTOTIPADO RÁPIDO (RP)

Las herramientas de CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing), CAE (Computer Aided Engineering) y RP (Rapid Prototyping) configuran los conocimientos y técnicas del estado del arte tratado en este documento.

La aplicación de este conjunto de conocimientos y técnicas indicados lleva a conseguir obtener mejora del ciclo de desarrollo y fabricación de un producto o servicio. Por tanto, debe considerarse de sumo interés la incorporación de metodologías de trabajo y herramientas informáticas de ingeniería que sirvan de soporte a dicha estrategia.

Este artículo se refiere a una parte de las herramientas de gestión de la vida de un producto, PLM (Product Lifecycle Management), y en particular las que se ocupan del diseño (CAD), análisis (CAE) y fabricación (CAM) asistida por ordenador y prototipado rápido (RP).

El uso de las herramientas CAD/CAM/CAE en combinación con RP permite el mantenimiento y mejora de los niveles técnicos y de innovación con las capacidades adecuadas para obtener los productos demandados por las diferentes y nuevas necesidades de los mercados.

En el siguiente esquema se ofrece una visión conjunta de las técnicas utilizadas en la Gestión del Ciclo de Vida de un Producto (herramientas PLM), las técnicas tratadas en este documento son aquellas técnicas involucradas en el desarrollo de producto desde su diseño conceptual hasta su realización (enmarcadas dentro del cuadro):

TECNICAS UTILIZADAS EN EL DESARROLLO DE UN PRODUCTO

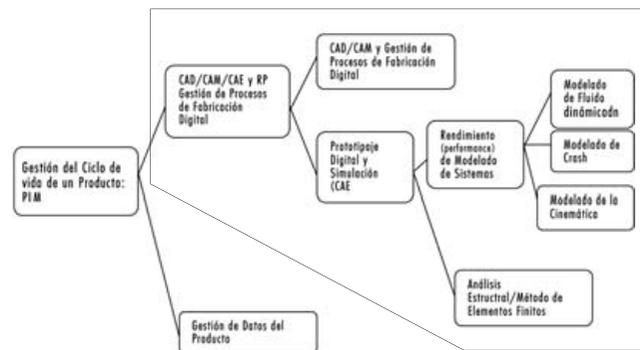


Figura 1. Herramientas Digitales utilizadas para el desarrollo de un producto. Daratech [6]

1.1. CAD

Básicamente se trata del conjunto de entidades geométricas o base de datos geométrica, con las que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Permite diseñar en dos o tres dimensiones mediante geometría de alambres, esto es, puntos, líneas, arcos, etc; o definiendo superficies y/o elementos sólidos para obtener un modelo gráfico de un objeto o conjunto de ellos.

Definir virtualmente el producto, esto es, definiendo completamente todas y cada una de las características del producto final, por medio de un sistema de CAD va a permitir poder obtener el producto sin los fallos debidos a la definición de las dimensiones relativas entre cada una de las partes, conjuntos y subconjuntos, elementos auxiliares y de su montaje [19]. Y sin conocimiento por parte del operador del sistema gráfico, de lo

que está realizando internamente el ordenador, este desarrolla un modelo numérico interno único dentro de los parámetros de todo el conjunto, subconjunto, partes, tolerancias y demás definiciones geométricas involucradas en la definición del producto.

1.2. CAE

Se denomina así al conjunto de programas informáticos que permiten analizar y simular los diseños de ingeniería realizados con el ordenador, o creados de otro modo (maquetas) e introducidos en el ordenador, para valorar sus características, propiedades, viabilidad y rentabilidad. Su finalidad es optimizar su desarrollo, los consecuentes costos de fabricación y reducir al máximo las pruebas para la obtención del producto deseado.

La mayoría de las herramientas CAE se presentan como módulos o extensiones de aplicaciones CAD, que incorporan:

- Análisis cinemática, análisis de choque, análisis de fluidos.
- Análisis por el método de elementos finitos (FEM, Finite Elements Method). Análisis estructural
- De simulación de programas CNC (Computered Numeric Control).
- De exportación de ficheros para máquinas de prototipado rápido.

Los sistemas CAE, a partir de la definición de un producto conseguida con un sistema de CAD, permiten a su vez ir redefiniendo el producto con los conocimientos teóricos necesarios, las características de los materiales, elementos auxiliares y de disponer de los conocimientos históricos anteriormente generados en otros desarrollos, Base Data Knowledge.

Para la aplicación del análisis por ordenador (CAE) en un producto se tendrán en cuenta la relación entre los equipos HW/SW (Hardware/Software) utilizados para el análisis, la complejidad necesaria para la definición del diseño y las necesidades de la precisión que el análisis requiera, en algún caso se opta por un diseño más esquemático del producto, modelización.

1.3. CAM

Se refiere al uso de programas informáticos especializados en la dirección y control de los equipos de fabricación. Cuando la

información de CAD se transforma en instrucciones para CAM, el resultado es el CAD/CAM.

Una vez que se ha concluido el diseño de la pieza y se han realizado las simulaciones sobre su comportamiento ante situaciones extremas, se procede a su fabricación. Es en este momento donde entra en acción el CAM, creando, a partir del diseño CAD, los dispositivos de control numérico, que controlarán el trabajo de las diferentes máquinas, de forma que el resultado coincida exactamente con el diseño realizado.

El sistema CAM permite: determinar flujos de trabajo en máquina o en planta para el desarrollo de un producto, en máquinas de mecanizado se encarga de simular el recorrido físico de cada herramienta con el fin de prevenir el tiempo de ejecución y posibles interferencias entre herramientas y materiales.

1.4. EL USO CONJUNTO DEL CAD/CAM/CAE

La utilización conjunta de las herramientas CAD/CAM/CAE, cuando estos sistemas se hayan incorporado correctamente en la organización de la empresa, permite conseguir que el tiempo de desarrollo y fabricación del producto, "Lead Time" y el tiempo de poner el producto en el mercado, "Time to Market", sea mínimo [24].

1.5. MÉTODOS DE RP DISPONIBLES

Los sistemas de RP permiten obtener modelos físicos tridimensionales de manera rápida y exacta de las geometrías diseñadas en modeladores 3D (CAD). [26]

Existen varios métodos de fabricación de prototipos rápidos, entre los cuales se encuentran: estereolitografía (STL), laminación de papel (PLT), sinterizado láser (SLS), deposición directa de metal (DMD), deposición de material fundido (FDM) e impresión en 3D (3DP). [10]

Y sus usos son la realización de prototipos que pueden ser únicamente estéticos para validación de formas y proporciones o semi-funcionales, permitiendo en estos últimos casos asegurar la

validez de los diseños, comprobación de interferencias, realizar pruebas funcionales de laboratorio, gestionar con seguridad aspectos relacionados con el empaquetado, realizar fotografías promocionales o de catálogo, y presentar productos casi finales para ferias.

En RP hoy en día hay una oferta muy extensa para realización de prototipos. Para cada situación se debe escoger el sistema de prototipado idóneo. La decisión de que sistema de RP es el adecuado depende del uso del producto, el volumen de piezas necesarias, requisitos del material y las necesarias características finales.

1.6. ANÁLISIS DEL USO DEL CAD/CAM/CAE Y RP

Los sectores de automoción y aeronáutica son los pioneros en el desarrollo y utilización de estas herramientas en su primera y última generación de la evolución del HW/SW.

La necesidad en el desarrollo de nuevos productos fue respondiendo a los constantes desafíos técnicos y necesidades de unos mercados ávidos de innovaciones que les han llevado a ser la punta de lanza de estas técnicas.

El sector aeronáutico desde su origen, constantemente abordando nuevos retos, se ha constituido como impulsor de estas nuevas técnicas y tecnologías. Tiene como necesidad básica el uso de las herramientas de todo el Ciclo de Vida del Producto (PLM) [31], y en particular las correspondientes a las herramientas CAD/CAM/CAE y RP, la utilización de estas en este sector es del 100%.

En el sector de automoción sin ser tan comprometida la naturaleza de su existencia, el tamaño y las necesidades que el mercado impone hacen básica la utilización de este arte. La utilización de estas herramientas en los fabricantes de este sector y la de los proveedores de componentes de primer equipo es del 100%.

Los dos sectores hacen uso de proveedores que deben “desarrollar” imponiéndoles los usos y a veces las herramientas y las empresas desarrolladoras de SW.

Los sectores de ingeniería civil, productos electrónicos y eléctricos y fabricación no han mostrado la imperiosa necesidad de la absoluta compatibilidad digital que han exigido los sectores automoción y aeronáutico [22].

1.7. REFERENTES TECNOLÓGICOS Y CIENTÍFICOS

En España:

- ASOCIACIONES: Asociación de la Industria Navarra.

- CENTROS TECNOLÓGICOS: AIMME - Instituto Tecnológico Metalmeccánica, Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Gipuzkoa, CIDAUT, Fundación CARTIF, IKERLAN. Centro de Investigaciones Tecnológicas, ITA - Instituto Tecnológico de Aragón, LBEIN, ROBOTIKER-Tecnalia, TEKNIKER, CEDEX - Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

A nivel internacional:

- Daratech, Inc., NAFEMS Ltd, CIMdata, Inc.

2. ESTADO ACTUAL DE APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE CAD/CAM/CAE Y RP EN EL SECTOR DE LA MOP A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE USUDE LA TECNOLOGÍA A NIVEL NACIONAL EN EL SECTOR DE LA MOP: APLICACIONES EN MÁQUINAS Y EMPRESAS DE REFERENCIA

Las herramientas de CAD, CAM, CAE y RP aplicadas a ingeniería mecánica configuran el estado del arte que analizamos en este documento. Son cuatro de las aplicaciones que permiten realizar estudios y desarrollos de productos con alto nivel tecnológico, importante reducción de tiempo de desarrollo y número de errores en su construcción. Se quiere indicar que el empleo de herramientas de gestión modernas de la ingeniería tales como QFD (Quality Function Development), ingeniería concurrente, FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), diseño para ensamblaje, análisis de valor, etc., son de gran utilidad al ingeniero de diseño pero no se les considera en este estudio de estado del arte [8].

Lo indicado en este punto está fundamentado en base a la experiencia del escritor de este documento. Desde que comenzó el 1990 su experiencia profesional en el campo comercial como especialista en CAD/CAM/CAE en ingeniería mecánica en la península ibérica. El 100% de sus clientes del sector de automoción diseñaban en 3D y sólidos obteniendo posteriormente planos de producción.

Creador de una empresa especializada en sistemas CAD/CAM/CAE (GRINSA) en el 1992 y entonces una de las cuatro agencias especializados en este campo de IBM. Con atención sobre todo en la provincia de Zaragoza y Navarra desde el 1992 al 2005 y habiéndose dedicado también a los mercados de Madrid desde el 1990 al 2005 y Valencia y País Vasco desde el 1995 al 2005. Durante estos años analizó el mercado de CAD/CAM/CAE de toda las empresas fabricantes de productos mecánicos de facturación anual mayor de 6 millones euros, algunas de ellas del sector de maquinaria de obras públicas.

El estado del uso de estas herramientas en cada empresa de la MOP depende en gran medida del tipo de producto final de las empresas. Así los fabricantes de productos singulares tienen diferentes necesidades en el desarrollo que los fabricantes de series, sean estas largas o cortas. Pero todas las empresas son conscientes cada vez más de la necesidad del uso intensivo de estas diferentes técnicas para poder realizar el desarrollo de un producto o proyecto logrando los objetivos de tiempo y calidad necesarios.

2.1.1. Situación de la implantación del CAD/CAE/CAM en España: Estado de uso.

A principios de la década de los 90 en Zaragoza las empresas del sector de la maquinaria de obras públicas solo aproximadamente un 10% tenía CAD en 2D y algunos departamentos de ingeniería, en las empresas, realizaban cálculos por Elementos Finitos en ordenador personal.

Hoy en día todos los fabricantes de MOP disponen de un sistema de CAD en 2D, los fabricantes de productos con un elevado número de componentes y complicadas geometrías de diseño disponen de sistemas en 3D y sólidos y en algún caso tienen plenamente integrados el CAD y el CAE.

Los fabricantes de maquinaria con un gran número de componentes han sido los primeros en adaptar los sistemas de diseño de altas prestaciones. Por equipos de altas prestaciones se quiere indicar equipos HW y SW de CAD/CAE capaces de manejar conjuntos mecánicos con toda la información del producto en tiempo real.

El RP, como se ha indicado anteriormente, se utiliza para realización de prototipos o moldes prototipos, pueden ser únicamente estéticos para validación de formas o semi-funcionales, permitiendo en estos últimos casos asegurar la validez de los diseños, comprobación de interferencias, realizar preseries o presentar productos casi finales para ferias.

2.1.2. Situación de los productos CAD/CAE/CAM disponibles presentes en España.

Las compañías desarrolladoras de SW de herramientas CAD/CAE/CAM utilizadas por las empresas de MOP son PTC Inc. [11], Dassault Systèmes [12], UGS Corp. [13], Autodesk Inc. [14] y CoCreate Software Inc. [17] (una licencia en AUSA).

La tendencia que muestra este tipo de software hacia el desarrollo de la ingeniería colaborativa, hace imposible catalogar estas herramientas como exclusivamente software tipo CAD, CAM, CAE [8].

Se adjunta al final de este documento el Anexo A. Este es una breve descripción de las herramientas SW que las compañías desarrolladoras indicadas están ofreciendo para el desarrollo de producto en España. También proponen herramientas de tipo integral de manejo del ciclo de producto (PLM), las cuales se integran dentro de sus sistemas de PLM [11] [12], [13], y [14].

2.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE USO DE LAS TECNOLOGÍAS CAD/CAM/CAE A NIVEL INTERNACIONAL EN EL SECTOR DE LA MOP: APLICACIONES EN MÁQUINAS Y EMPRESAS DE REFERENCIA

En España están disponibles los mismos productos de este estado del arte que en el resto de los mercados internacionales.

Sin embargo el estado del uso es mayor en aquellos países donde hay más acceso a estas técnicas y el mercado absorbe más variedad de producto. Estados Unidos, Japón y Europa son las partes del mundo donde antes comenzaron a desarrollar las técnicas de este estado del arte y donde mayor es su uso. Esto quiere decir que, hoy por hoy, el estado de uso en Estados Unidos es mayor que en China.

Dentro de los mercados de Estados Unidos, Japón y Europa vuelve a ocurrir lo indicado en España, las empresas de mayor facturación son las que más invierten en equipos de alta tecnología, siendo las empresas multinacionales con centros de fabricación en diferentes países las que más invierten en esta tecnología e imponen su uso.

En el sector de automoción, que es uno de los sectores industriales más internacionales, las directrices de las corporaciones imponen el uso de todas las herramientas involucradas en este estado del arte.

3. TENDENCIA EN EL SECTOR DE LA MOP DE IMPLANTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE CAD/CAM/CAE Y RP A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE USO DE LAS MISMAS PARA EL SECTOR

3.1. POSIBILIDAD DE USO

En un mercado globalizado donde se ha incrementado internacionalmente la demanda surgen nuevas necesidades, no solo por el propio crecimiento natural del mercado sino además por el de una economía mundial en expansión.

Se demandan diferentes tipos de equipos, productos y servicios, realizando las mismas operaciones pero de diferente manera, maquinaria con otras posibilidades, tamaños y dimensiones, formas y líneas de diseño, pesos y capacidades de movilidad, bajos consumos energéticos y políticas restrictivas de emisiones y amables con el medio ambiente..., equipos de diferente potencias, más fuertes y ágiles, que permitan mayor accesibilidad y alcance. [22]

Aumenta la multiplicidad de la demanda con las nuevas necesidades y se requiere un tiempo mínimo para satisfacerla. De esta

forma se acorta el tiempo de desarrollo y de construcción del producto, desde que se generó la idea hasta su definitiva puesta en el mercado.

Los sistemas del estado del arte tratados en este documento van a ser imprescindibles para conseguir desarrollar los nuevos productos demandados: Equipos singulares, máquinas, vehículos y herramientas compuestos de un gran número de componentes o piezas. De esta forma no solo se consigue el objetivo en tiempo sino también el de incrementar la Base de Conocimiento de los productos desarrollados.

La tendencia tecnológica en el sector de MOP dirige a implementar equipos y sistemas acordes a las necesidades impuestas por la demanda de productos.

Aumenta la necesidad de la demanda. Un buen ejemplo de lo que está sucediendo en este nuevo mercado de la MOP es analizar parte de la nueva oferta ofrecida en BAUMA2008 [9]. Se potencia el uso de diferentes tipos de equipos y utilidades que dan lugar a nuevos productos [22, 25]:

- La regulación de emisiones de ruidos y gases es cada vez más restrictiva y exige cada vez más esfuerzo de innovación en tecnología de inyección, recirculación de gases de escape y filtrado de partículas [22].
- Protección medioambiental, diseño ergonómico y larga vida de servicio están siendo los aspectos que centran mayor atención en los nuevos desarrollos de maquinaria y equipos.
- Se muestra el potencial de los diferentes usos de sistemas transportadores de fábrica y la gran variedad de aplicaciones en las que pueden ser utilizados. Herramientas importantes para la racionalización de procesos, no solo en las fábricas de componentes de prefabricados de hormigón o en el sitio donde se realice el preprocesado, sino en el lugar donde se realiza la obra.
- Incorporación de nuevos sistemas de control y monitoreo, incluso vía Internet, en equipos y maquinaria para minas bajo tierra o a cielo abierto. Operaciones que se pueden realizar sin operario. [27]
- Acoplamientos especiales para excavadoras hidráulicas que raramente son utilizados pero que disminuyen tiempos y costo de montaje. Montaje rápido de estos equipos con

diferentes tipos y tamaños de monturas de taladro, cribadores, pulverizadores de hormigón, pisones o martillos hidráulicos.

- En ingeniería civil, métodos de reparación de daños en cañerías de aguas residuales de las diferentes redes públicas y privadas. Sistemas de perforación de pozos y de tendidos de tuberías. Maquinaria moderna en combinación con comunicación electrónica y técnicas de monitoreo.
- Diferente maquinaria para extracción en cantera y procesamiento de la piedra.
- Tecnología de fabricación para diferentes componentes y materias primas de construcción de edificios. Con clara tendencia hacia la automatización de procesos de ejecución. La máxima rentabilidad en línea con las necesidades del mercado se consigue con una combinación de implementación de última tecnología: control electrónico y sistemas de visualización
- Gran variedad de técnicas para ejecución de túneles y galerías tanto de ejecución de maquinaria como de equipo.
- Los equipos de compactación y mezcla de hormigones exigen unos requerimientos más exactos. En la mezcla de hormigón, la mejora del rendimiento se requiere con la misma o mayor calidad y en compactación el mayor énfasis se hace en la reducción de ruidos.
- Diferentes sistemas de reciclado en frío del asfalto de carreteras y autopistas
- Desarrollos de equipos pequeños, móviles y de alto rendimiento para aplicaciones especiales en trabajos de cimentación
- Implementación de sistemas GPS como localizadores de maquinaria, y como un buen sistema antirrobo.
- Equipos o sistemas de proceso de reciclaje de materiales de construcción

3.2. DEFINIR EL RETO (DIFICULTAD EN SU IMPLEMENTACIÓN) Y LAS NECESIDADES DE I+D PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LAS APLICACIONES PREVISTAS EN EL SECTOR DE LA MOP

En definitiva se necesita ampliar la oferta de productos adaptándolos a los nuevos requerimientos y usos partiendo de la experiencia técnica de la empresa de los departamentos técnicos, desde los principios de su actividad y ampliándola con los nuevos conocimientos generados.

Para poder conseguir alcanzar, desarrollar, los nuevos productos que satisfagan las necesidades del mercado hay que aplicar las nuevas tecnologías y técnicas tratadas en este estado del arte. Tecnologías que permiten optimizar el tiempo de desarrollo y el índice de errores en el diseño.

Los equipos y sistemas disponibles en la oferta técnica comercial actual tienen la capacidad de aportar la tecnología necesaria para cubrir estas necesidades y a su vez permiten la innovación en las etapas de desarrollo de los diferentes departamentos y áreas.

La incorporación de los equipos y sistemas y de las herramientas tratadas en este estado del arte para el desarrollo de los productos, supone principalmente disponer de los necesarios recursos económicos para su adquisición e instalación y de realizar la inversión en tiempo y formación en el equipo técnico de los departamentos afectados en su implantación. [22, 23]

Comenzando con proyectos ya definidos casi en su totalidad se minimizan las dudas y problemas que surgen en la puesta en marcha de estos equipos [4]. Se intenta de esta forma minimizar el impacto que pueda surgir por la novedad de las nuevas herramientas y por la variedad de conocimientos involucrados en el desarrollo de los propios productos.

En el desarrollo de la mayoría de los equipos de la MOP existe una gran complejidad de los propios productos a desarrollar. Productos de gran número de piezas donde los conocimientos involucrados en la ingeniería de diseño del producto, se mezclan con los de las tecnologías de fabricación. [22]

El diseño de un producto y de cada una de sus partes, su análisis virtual cuando sea necesario, disponer de las bases de datos para escoger los materiales y componentes auxiliares mas adecuados, la realización de prototipos funcionales (RP y taller) en base a los desarrollos realizados, supone tener unos sistemas de diseño (CAD), de fabricación (CAM), y de análisis (CAE) que permitan entenderse. Y también, establecer un método operativo para compartir los nuevos conocimientos y desarrollos generados con los diferentes departamentos y áreas de la empresa.

3.3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS CAD/CAM/CAE Y RP EN EL SECTOR DE LA MOP

La implementación de los sistemas CAD/CAM/CAE y RP en el sector de MOP afecta a todas las áreas de ingeniería, desde la idea conceptual del nuevo producto, con la cual las diferentes áreas empiezan a trabajar y a plantear distintas alternativas para su realización, hasta la terminación del producto.

Una vez generada la idea se pone en marcha el proceso de desarrollo, se estudian diferentes posibilidades en base a los proyectos anteriores y abiertos a una nueva concepción del producto. Se consideran diferentes alternativas, se hacen búsquedas de usos o adaptaciones de elementos comerciales, realizando y analizando diferentes preferencias de su diseño físico.

Los equipos, sistemas y herramientas, esto es el HW/SW básico y los diferentes sistemas CAD/CAM/CAE y RP, no solo han de comunicarse sino de ser plenamente compatibles y de estar enteramente operativos.

El equipo humano ha de entenderse de igual forma, dependiendo de la complejidad orgánica de la empresa, debe haber gente de diferentes disciplinas con formas y actitudes desigua-

les a la hora de implementar los nuevos equipos. Técnicos informáticos, mecánicos, eléctricos del departamento de ingeniería y las relaciones necesarias con personal de fábrica y del departamento comercial.

El impacto que produce la implantación de los equipos de este estado del arte en el departamento de ingeniería al utilizar las herramientas objeto de este documento es consecuencia de la introducción de nuevas formas de trabajar entre las áreas del departamento y por la forma de obtener la información necesaria en todo el desarrollo, geometría, bases de datos de elementos comerciales, materiales y archivo de productos ya desarrollados. La implicación de las personas participantes en el proyecto es parte fundamental para lograr la implantación de los sistemas necesarios en todo el ciclo de desarrollo.

Con esta nueva forma de trabajar se hacen posibles desarrollos en un tiempo mínimo ya que todos o gran parte de los participantes en el proyecto, en el caso de aplicación de herramientas de trabajo colaborativo, disponen de la última información generada en el desarrollo, datos actualizados de los últimos cambios, estos se realizan tras comprobar que materiales, diseño físico, tolerancias, normas y homologaciones aplicadas, en definitiva todo aquello que generalmente produce errores y retrasos, en el desarrollo del diseño y fabricación de prototipos.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] D. VEERAMANI D., TSERNG H.P., RUSELL J.S.. "Computer-integrated collaborative design and operation in the construction industry", en *Automation in Construction* 7 1998: pp 485-492, ELSEVIER.
- [2] LAWRENCE SASS (2006), "Synthesis of design production with integrated digital fabrication", en *Automation in Construction*, Volume 16, Issue 3, May 2007, ELSEVIER.
- [3] DEREK H.T. WALKER, VACHARA PEANSUPAP, "Factors Affecting ICT Diffusion in Australian Construction Organisations" – The Storey from the Big End, RMIT University1, 2001-004-A AIQS Building Economist Magazine 3.
- [4] KEUN PARK, Y.S. KIMA, C.S. KIMA and H.J. PARK, "Integrated application of CAD/CAM/CAE and RP for rapid development of a humanoid biped robot", *Journal of Materials Processing Technology*, Volumes 187-188, 12 June 2007, Pages 609-613.
- [5] Mtra ARYENIS ARIAS N., Dra. GABRIELA DUNTRÉNIT. "Acumulación de Capacidades Tecnológicas Locales de Empresas Globales en México: El Caso del Centro Técnico de Delphi Corp", *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, Número 6 / Mayo – Agosto, (2003).
- [6] Daratech's comprehensive analysis of today's GIS/Geospatial industry. : www.daratech.com/
- [7] Accelerating Product Development, Driving Down Cost, Digital Product Simulation daratechDPS2004, October 4-5, 2004. www.daratech.com.
- [8] CHAUR BERNAL, JAIRO, "Diseño conceptual de productos asistido por ordenador. Un estudio analítico sobre aplicaciones y definición de la estructura básica de un nuevo programa", 736 PROJECTES D'ENGINYERIA, Universisdad Politècnica de Catalunya. (2005), Pgs 71-98.

- [9] 28TH INTERNATIONAL TRADE FAIR FOR CONSTRUCTION MACHINERY, BUILDING MATERIAL MACHINES, MINING MACHINES, CONSTRUCTION VEHICLES AND CONSTRUCTION EQUIPMENT, www.bauma.de.
- [10] Selecting Rapid Prototyping Systems Journal of Industrial Technology • Volume 18, Number 1 • November 2001 to January 2002.
- [11] Parametric Tecnologie Corporation. Disponible en Internet. <http://www.ptc.com/products/index.htm>.
- [12] Dassault Systèmes. <http://www.3ds.com/es/products-solutions/>
- [13] UGS Corp. <http://www.ugs.es/>
- [14] Autodesk, Inc. <http://www.autodesk.es/>
- [15] DISEÑO INTEGRAL DE CENTROS DE TRANSFORMACIÓN. APORTACIÓN AL DEPARTAMENTO DE I+D Y A LA OFICINA TÉCNICA DE ORMAZABAL Y CIA, S.A. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, 5-7 junio de 2002.
- [16] Advances in Concurrent Engineering: CE97 Proceedings Autor S. (ed.) Ganesan, Oakland University.
- [17] CoCreate Software, Inc. www.cocreate.com.
- [18] LAWRENCE SASS, "Synthesis of design production with integrated digital fabrication", Department of Architecture, Massachusetts Institute of Technology, United States. Accepted 30 June 2006.
- [19] ALAN CHRISTMAN, "Technological Advances Ensure Value Throughout the Market ". CIMdata, Tooling & Production, November 2006, page 18-23).
- [20] MAURICIO CASRILLERO SANCHEZ, "Estado de arte de las tecnologías para la manufactura global de la industria automotriz en México", Universidad de las Américas, Puebla mayo de 2004.
- [21] Complexity in Design and Engineering, GIST TECHNICAL REPORT G2005-1, DEPARTMENT OF COMPUTING SCIENCE, UNIVERSITY OF GLASGOW, SCOTLAND.
- [22] FERNANDO ESPIGA, PETER SEGAERT, A REVIEW OF FEA TECHNOLOGY ISSUES CONFRONTING THE AUTOMOTIVE INDUSTRY, NAEMS, MAY 2005.
- [23] JOHN SMART, JIM WOOD, EDUCATION & DISSEMINATION ISSUES IDENTIFIED IN THE FENET PROJECT, NAEMS, MAY 2005.
- [24] GERRIT-JAN DOP, STEFANO ODORIZZI, A REVIEW OF TECHNOLOGY ISSUES CONFRONTING THE PROCESS & MANUFACTURING INDUSTRY, NAEMS, MAY 2005.
- [25] N C KNOWLES, W S ATKINS, THE FENET PROJECT —A CONTRIBUTION TO NAFEMS' TECHNOLOGY STRATEGY PLAN?, NAEMS, MAY 2005.
- [26] LAWRENCE SASS, Synthesis of design production with integrated digital fabrication, Massachusetts Institute of Technology, Automation in Construction 16 (2007) 298–310.
- [27] TOMI MAKKONEN, KELERVO NEVALA, RAUNO HEIKKILÄ, " 3D model based control of an excavator, Automation in Construction 15 (2006) 571–577.
- [28] ZHAOYANG MA, QIPING SHEN, JIANPING ZHANG. Application of 4D for dynamic site layout and management of construction projects. Automation in Construction 14 (2005) 369–381.
- [29] D.Y. YANG, DG. AHN, C.H. LEE, C.H. PARK, T.J. KIM. Integration of CAD/CAM/CAE/RP for the development of Metal Forming Process. Journal of Materials Processing Technology 125-126 (2002) 26-34.
- [30] TAYLAN ALTAN, VICTOR VAZQUEZ. Status of Process simulation using 2D and 3D finite element method. 'What is practical today? What can be expect in the future?. Journal in Materials Processing Technology 71 (1997) 49-63.
- [31] R. SUDARSAAN, S.J. FENVES, R.D. SRIRAM, F. WANG. A product information modeling framework for product lifecycle management. Computer-Aided Design 37 (2005) 1399–1411.
- [32] M. SOKOVIC, J. KOPAC. RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development. Journal of Materials Processing Technology 175 (2006) 398–403

ANEXO A. Herramientas de CAD/CAM/CAE comercializadas en España

PTC Inc, Pro/Engineer [11]

Su filosofía se ha centrado en los últimos años en soluciones para el desarrollo colaborativo de productos, basadas en la red y destinadas a compartir y aprovechar los activos en toda la cadena de valor.

CAD

Paquete Básico

Pro/ENGINEER Advanced Assembly

Pro/ENGINEER Expert Framework

Pro/ENGINEER Reverse Engineering

Pro/ENGINEER Advanced Rendering

Pro/ENGINEER Interactive Surface Design

Pro/CONCEPT

Soluciones CAD superiores para proyectos grandes y pequeños

Gestiona componentes y subcomponentes para el diseño descendente

Prestaciones de diseño estructurales para diseñadores de maquinaria y fabricantes de equipos

Transforma los productos físicos existentes en modelos digitales

Creación rápida de imágenes de productos asombrosamente realistas.

Prestaciones superiores de creación de superficies

Cuaderno combinado de esbozos digitales 2D y 3D para la creación de ideas y presentación de productos

CAM

Paquete Básico

Pro/ENGINEER Production Machining

Pro/ENGINEER Computer-Aided Verification

Pro/ENGINEER Tool Design

Pro/ENGINEER Progressive Die

Pro/ENGINEER Expert Moldbase

Pro/ENGINEER Complete Mold Design

Pro/ENGINEER Prismatic and Multi-surface Milling

Pro/ENGINEER NC Sheetmetal

Pro/ENGINEER Complete Machining

Pro/ENGINEER Plastic Advisor

Soluciones CAD superiores para proyectos grandes y pequeños

Proporciona prestaciones eficaces de programación CN

Permite efectuar inspecciones digitales de piezas y conjuntos mecanizados con fines de garantía de calidad

Un flujo de trabajo guiado gobernado por procesos para la creación de moldes de una y varias cavidades

Creación automática de documentación, cortes de alojamiento y taladros

Flujo de trabajo sencillo y gobernado por procesos para automatizar el diseño y la creación de planos de placas de molde

Prestaciones de diseño de placas de molde, macho y cavidad en un solo paquete

Aumente la productividad CN con esta especialista en fresado virtual para el mecanizado prismático

Creación y optimización automática de trayectorias de herramientas con herramientas estándar y utillaje

Una solución completa para la creación de todo tipo de programas para máquinas CNC

Simula el proceso de relleno de plástico para piezas moldeadas por inyección

CAE

Pro/ENGINEER

Pro/ENGINEER Advanced Mechanics

Pro/ENGINEER Behavioral Modeling

Pro/ENGINEER Mechanism Dynamics

Pro/ENGINEER Mechanics

Pro/ENGINEER Fatigue Advisor

Soluciones CAD superiores para proyectos grandes y pequeños

Conocer el rendimiento del producto al principio del ciclo de desarrollo

Integración de los requisitos de diseño reales en el modelo digital para que los criterios se cumplan permanentemente

Simulación virtual de reacciones a las aceleraciones y el peso de los componentes móviles

Diseño simultáneo y simulación de los resultados de las variaciones de diseño

Predicción y mejora del rendimiento de fatiga de los diseños

Dassault Systèmes [12]

Desarrolla y comercializa aplicaciones software y servicios PLM que dan soporte a los procesos industriales y permiten obtener una visión 3D de todo el ciclo de vida del producto, desde la fase de creación hasta el mantenimiento.

CATIA para el diseño del producto y simulación de su comportamiento.

SolidWorks es el estándar de facto en el mercado de los programas de diseño 3D, con sus soluciones accesibles e innovadoras para el diseño mecánico, análisis y gestión de datos del producto, que facilitan el paso del 2D al 3D y la rápida salida del producto al mercado.

UGS Corp. [13]

Esta empresa surge hacia el año 2000, básicamente de la unión de dos grandes empresas: la Unigraphics Solutions, nacida en el año 1963 como una de las pioneras de software CAM, y la SDRC, creada en 1967 por un grupo de investigadores de la Universidad de Cincinnati, y que es más conocida por su producto estrella, llamado I-DEAS, lanzado al mercado a principios

de los 90's. La unión de estas compañías permite la generación de una oferta importante bajo el concepto de la gestión del ciclo de vida del producto, PLM.

Productos NX:

Industrial Design and Styling (CAID)

Diseño (CAD)

Simulación (CAE)

Tooling

CAM

Engineering Process Management

Programming & Customization

Knowledge Driven Product Customization

Solid Edge

Autodesk Inc [14]

Ofrece un abanico de productos bastante amplio que va desde el programa de referencia AutoCAD hasta programas especializados en diferentes ramas de la técnica.

GLOSARIO DE TÉRMINOS:

CAD: *Computer Aided Design*. Diseño Asistido por Ordenador

CAE: *Computer Aided Engineering*. Ingeniería Asistida por Ordenador

CAM: *Computer Aided Manufacturing* Fabricación Asistida por Ordenador

CFD: *Computational Fluid Dynamics*. Dinámica de Fluidos por Ordenador

DMPM: *Digital Manufacturing Process Management* .Gestión de Procesos de Fabricación Digital

FEA: Finite Element Analysis. Análisis por el Método de Elementos Finitos

HW: Hardware

MOP: Maquinaria de Obras Públicas

RP: *Rapid Prototyping*. Prototipaje rápido. Fabricación Rápida de Prototipos

SW: Software

QFD: Quality Function Development

FMEA: Failure Modes and Effects Analysis

5.9. Técnicas de tratamiento superficial por láser y nano-recubrimientos en maquinaria de construcción y obra pública

Clara Isabel López

Departamento de Diseño Mecánico, Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS TÉCNICAS DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL POR LÁSER Y NANO-RECUBRIMIENTOS A NIVEL INDUSTRIAL

El comportamiento en servicio de cualquier componente o estructura está supeditado a sus interacciones con el ambiente, las condiciones de trabajo y las propiedades del componente o estructura en cuestión (material, proceso de fabricación, estado superficial,...). Estudios de evaluación llevados a cabo por expertos fijan unas pérdidas económicas anuales debidas a la actuación de mecanismos de degradación superficial en torno a un 4% del producto interior bruto en los países industrializados y en vías de desarrollo.

La ingeniería de superficies, rama multidisciplinar de la ingeniería, optimiza las superficies expuestas a interacción mediante tratamientos y procesos superficiales, con el objeto de mejorar las prestaciones del propio material y prolongar significativamente su duración en servicio, contribuyendo al ahorro en los costes anteriormente señalados. La deposición de recubrimientos y capas delgadas, la difusión superficial de especies atómicas y moleculares, o el acondicionamiento y funcionalización de superficies mediante calentamiento por plasma, radiación láser o implantación iónica son algunos tratamientos superficiales aplicables. Además, la ingeniería de superficies no es ajena a la revolución tecnológica y científica de la última década relativa al desarrollo de la nanotecnología y la nanociencia.

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL Y APLICACIONES MÁS USUALES DE LAS TÉCNICAS DE TRATAMIENTOSUPERFICIAL POR LÁSER Y NANO-RECUBRIMIENTOS

El láser es una herramienta industrial que, a diferencia de cualquier otra, presenta una increíble flexibilidad. La radiación láser

consiste en un haz de luz que puede ser controlado con gran precisión y versatilidad, tanto en el tiempo como en el espacio. Puede ser enfocado en un área lo suficientemente pequeña como para penetrar cualquier clase de material, o en áreas mayores como para tratar superficies. Los diferentes valores de irradiancia, longitud de onda y tiempo de interacción, provocan que los procesos físicos que ocurren tengan carácter térmico o atómico. En consecuencia, las aplicaciones láser en el procesamiento de materiales son muy numerosas y cada vez más extendidas en la industria.

Como concepto general, los tratamientos superficiales permiten modificar las propiedades de un elemento en su superficie, manteniéndolas inalteradas en su interior, con diferentes objetivos. Cuando lo que se pretende es mejorar el comportamiento del elemento frente a la corrosión y el desgaste, son posibles los siguientes tratamientos superficiales mediante técnicas láser:

ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL POR CALENTAMIENTO (Laser surface hardening). En este proceso térmico, principalmente aplicado en aceros y fundiciones férricas, se produce un calentamiento local de un pequeño volumen del material al incidir la radiación láser sobre su superficie, alcanzándose valores de temperatura por encima de una temperatura crítica, pero inferiores a la temperatura de fusión del material. El movimiento relativo entre la pieza y el haz láser provoca un enfriamiento rápido de la zona calentada que induce un cambio en la microestructura de la superficie del elemento y origina, además, la aparición de tensiones de tipo compresivo. Algunos ejemplos se resumen a continuación:

ZHANG [1] analiza la mejora de la resistencia frente a la fricción y el desgaste en aceros En31 utilizando un sistema láser de CO₂ para el endurecimiento superficial. KAUL [2] compara el proceso por láser con técnicas convencionales, en términos de resistencia frente al desgaste, del acero En8. RUIZ [3] estudia el efecto del tratamiento superficial por láser sobre fundición gris en su comportamiento frente al desgaste. KOMANDURI [4] realiza la optimización de los parámetros del proceso de endurecimiento superficial por láser para una máxima productividad, y para ello se realiza el análisis térmico del proceso aplicado al caso de dientes de engranaje. KENNEDY [5] destaca la bondad de los sistemas láser de diodos de alta potencia para esta aplicación concreta, nombrando varios ejemplos en los que el endurecimiento superficial se ha realizado con éxito. En el trabajo realizado por PANTSAR [6], se estudia el endurecimiento superficial por calentamiento sobre acero de herramienta utilizando un sistema láser de diodos. Para estos materiales la dureza alcanzada está directamente relacionada con la disolución de carburos durante la austenización.

ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL POR DEFORMACIÓN (Laser shock hardening). Se trata de un proceso de carácter atómico. El láser incide sobre la superficie del material a modo de pulsos cortos y con la suficiente densidad de energía, como para inducir la aparición de tensiones de tipo compresivo que aumentan la dureza superficial del elemento y, por tanto, sus propiedades mecánicas superficiales. En la literatura se pueden encontrar numerosos ejemplos, entre ellos:

MASSE [7] estudia el proceso de endurecimiento superficial por deformación, utilizando un sistema láser pulsado sobre un acero estándar, y CHU [8] examina los efectos del proceso LSP (laser shock peening) en la microestructura, dureza y tensiones residuales de acero bajo al carbono. HAMMERSLEY [9] realiza la adaptación del proceso LSP a nivel industrial, debido a las grandes ventajas que presenta frente a las técnicas convencionales de endurecimiento por deformación. MONTROSS [10] presenta en este trabajo un amplio resumen del proceso LSP considerando, por un lado la modificación de la microestructura, de la morfología superficial, de la dureza y de la resistencia y, por otro, las numerosas aplicaciones en las que este proceso resulta adecuado, dada la di-

versidad de materiales que presentan una mejora de sus propiedades después del proceso, como son los aceros al carbono, los aceros inoxidables, las fundiciones férricas, aleaciones de aluminio, aleaciones de titanio y superaleaciones basadas en níquel.

FUSIÓN SUPERFICIAL SIN APORTE DE MATERIAL (Laser surface melting). En este caso, la temperatura alcanzada al incidir la radiación láser sobre la superficie del material es superior a la de fusión. Este proceso térmico se realiza bajo atmósfera controlada, generalmente utilizando un gas inerte, que envuelve la zona fundida. Entre otros, las fundiciones férricas y determinados tipos de aceros son materiales aptos para este proceso, obteniéndose capas superficiales de espesor variable donde las microestructuras obtenidas son más homogéneas y presentan valores de dureza mucho más elevados que los del material base. Los siguientes ejemplos muestran algunas aplicaciones de este proceso:

Las fundiciones férricas nodulares son muy utilizadas como elementos de maquinaria, ya que estos materiales pueden ser endurecidos superficialmente mejorando, de este modo, su resistencia frente al desgaste. GRUM [11] estudia el tratamiento superficial con técnicas de fusión por láser para incrementar la dureza y la resistencia frente al desgaste de una fundición nodular (400-12). COLAÇO [12] realiza el estudio del proceso de fusión superficial con láser sobre acero de herramientas (AISI420) con el objetivo de mejorar el comportamiento del material frente a la corrosión y el desgaste, para lo que es necesario reducir al máximo la proporción de austenita retenida en el proceso.

FUSIÓN SUPERFICIAL CON APORTE DE MATERIAL (Laser cladding, Laser alloying). Este tratamiento, que también es de carácter térmico, se diferencia del anterior por el aporte de un material diferente sobre la superficie. Si la dilución del material de aporte con el material base es reducida, entonces se trata de un proceso de plaqueado (laser cladding). Si la dilución es considerable, el proceso es de aleado (laser alloying). La adición de un nuevo material ofrece la posibilidad de modificar las propiedades superficiales en función de las necesidades y requisitos de la aplicación. A continuación se resumen algunos ejemplos desarrollados en la literatura consultada:

Las superaleaciones basadas en cobalto (Co) se utilizan en la industria, principalmente, para mejorar la resistencia frente al desgaste y como material estructural a temperaturas elevadas. DE MOL VAN OTTERLOO [13] estudia recubrimientos con Stellite sobre acero inoxidable (316) utilizando un sistema láser de CO₂. Se consigue una capa libre de poros, mejorar la dureza superficial y la resistencia frente al desgaste. BARNES [14] presenta en este estudio el proceso de plaqueado por láser utilizando un sistema láser de diodos, y DOBRZAJSKI [15] investiga el proceso de fusión y aleado por láser en aceros de herramienta para trabajo en caliente utilizando un sistema láser de diodos alta potencia. SEXTON [16] realiza el proceso de plaqueado por láser en álabes de turbina, con el objetivo de reparar estos elementos. Este proceso implica una mínima dilución del material de aporte con el sustrato y, en condiciones de proceso óptimas, capas libres de poros. ABBOUD [17] analiza en este trabajo el proceso de aleado por láser de aceros bajos al carbono para aplicaciones en el sector del automóvil. Se utiliza un sistema láser de Nd:YAG, se obtienen capas de espesor de 0.03 - 0.20 mm y valores máximos de dureza de 850HV.

En la última década la nanotecnología ha provocado un gran interés debido, entre otras razones, a la posibilidad de mejorar propiedades tan interesantes como la resistencia a la abrasión, al desgaste o a las ralladuras, la dureza, la lubricación seca,... a través de los nano-recubrimientos. Para el caso que nos ocupa, existe una gran expectativa tal y como se muestra en los ejemplos siguientes:

TRUDEAU [18] investiga el proceso de fusión por láser para obtener capas nanoestructuradas sobre diferentes sustratos metálicos. Los aceros inoxidables austeníticos son utilizados en la industria química y alimentaria por sus excelentes propiedades frente a la corrosión, aunque es necesario mejorar la dureza y la resistencia frente al desgaste para su uso en campos ingenieriles. Mediante SMAT (surface mechanical attrition treatment) LIN [19] ha obtenido capas que presentan una nanoestructura y después de un proceso de nitruración por plasma sobre dicha superficie, se consigue aumentar la dureza y la resistencia frente al desgaste. Hay aceros que son muy interesantes por determinadas propiedades, como es el caso del acero 1.2799(DIN) que presenta elevada resistencia y ducti-

lidad, GRUM [20] realiza tratamientos superficiales con láser para estudiar la influencia de la microestructura resultante (escala micrométrica o nanométrica) en la dureza obtenida tras el tratamiento. Otros ejemplos se han encontrado en boletines trimestrales de vigilancia tecnológica del sector metal-mecánico, publicados por la fundación OPTI: en el número 15 (tercer trimestre 2003), se describe el proceso desarrollado en el Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, por el que se obtienen compuestos de acero formados por partículas de escala nanométrica, y que por tratamiento térmico cristalizan sobre la superficie del metal, aumentando la resistencia en un 30%, en comparación con la que presentan las aleaciones de aceros convencionales. En el número 25 (primer trimestre 2006), se detalla la investigación realizada en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), donde se ha logrado obtener una nueva aleación de níquel y tungsteno con una dureza similar a la del cromo duro (material altamente contaminante), y ello ha sido posible reduciendo el tamaño de los cristales a nivel nanométrico, dado que en ese rango las propiedades mecánicas de los materiales pueden verse aumentadas drásticamente. En este caso particular se mejora la tenacidad y la resistencia al desgaste y a la corrosión.

1.2. REFERENTES TECNOLÓGICOS Y CIENTÍFICOS MÁS RELEVANTES ASOCIADOS A TÉCNICAS DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL POR LÁSER Y NANO-RECUBRIMIENTOS

Las técnicas de tratamiento superficial por Láser y Nano-Recubrimientos son objeto de investigación y desarrollo en numerosos grupos y centros de investigación, tanto a nivel nacional como internacional, dada la importancia que tiene modificar las superficies con el objeto de mejorar las distintas propiedades de un elemento y aumentar, de este modo, su vida útil.

A continuación se mencionan algunos de los centros y grupos de investigación donde existen departamentos con amplia experiencia en técnicas de tratamiento superficial por Láser y Nano-Recubrimientos. En Europa destacan: Fraunhofer Institute Laser-technik (Alemania), Lappeenranta University of Technology (Finlandia), The Welding Institute (Gran Bretaña). En España algunos de ellos son: CENIM-CSIC (Centro Nacional de Investi-

gaciones Metalúrgicas), ROBOTIKER, LORTEK, TEKNIKER, Red temática INGESNET.

También cabe destacar el desarrollo realizado en tecnología láser, tanto desde el punto de vista de nuevos generadores láser, como de nuevos sistemas completos, por empresas como ROFIN, TRUMPF,..., lo cual ha servido para una implantación cada vez mayor de los procesos láser en la industria.

Por último, nombrar algunos ejemplos de proyectos de investigación relativos a este tema, dentro del VI Programa Marco, como son: "Advanced environmentally friendly multifunctional corrosion protection by nanotechnology" (MULTIPROTECT ref.11783), "Fullerene-based opportunities for robust engineering: making optimised surfaces for tribology" (FOREMOST ref.515840), "Deposition of super-hard nanocomposite films by plasma processing" (DESHNAF REF.505549), "Development of advanced surface technology for extended resistance in extreme environment" (ASTERIXE ref.505953).

2. ESTADO ACTUAL DE LA APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL POR LÁSER Y NANO-RECUBRIMIENTOS EN EL SECTOR DE LA MOP A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

Como ya se ha comentado, las técnicas de tratamiento superficial por láser y Nano-Recubrimientos son objeto de investigación y desarrollo en numerosos grupos y centros de investigación, tanto a nivel nacional como internacional, dada la importancia que tiene modificar las superficies con el objeto de mejorar las propiedades de un elemento, y prolongar su vida útil.

Las técnicas de tratamiento superficial por láser se han desarrollado desde hace años y son utilizadas en procesos concretos y en sectores punteros en I+D como es el aeronáutico. El tratamiento de endurecimiento superficial y de plaquado de diferentes elementos como álabes de turbina, ejes, dientes de engranajes,... y las técnicas láser para la reparación de elementos como moldes, álabes de turbina,... son aplicaciones implantadas a nivel industrial, tal y como se muestra en el ejemplo de la Figura 1:

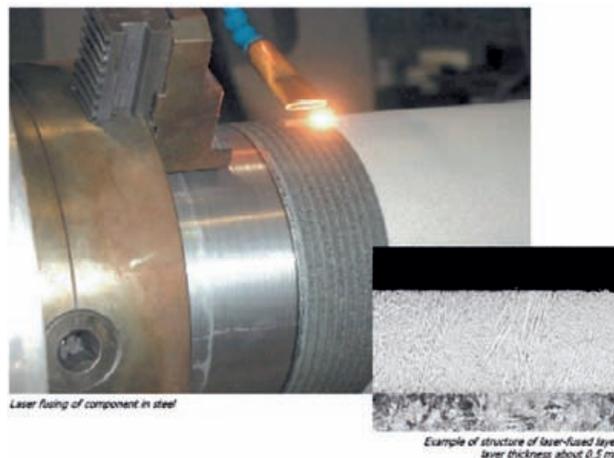


Figura 1. Ejemplo de aplicación de tratamiento superficial por técnicas láser.

A continuación se resumen algunas aplicaciones desarrolladas:

"Functional surface coatings for paper clamps", proyecto desarrollado en el Fraunhofer Institute Lasertechnik, en el que se han comparado los recubrimientos realizados mediante técnicas convencionales de proyección térmica y los realizados con técnicas de plaquado por láser.

"Laser surface treatment to increase the durability of engine components for diesel locomotives", proyecto desarrollado en el Fraunhofer Institute Lasertechnik, en el que se ha realizado tratamiento por láser para el endurecimiento de determinados elementos de un motor, de cara a mejorar su comportamiento frente al desgaste y, por tanto, prolongar su vida útil.

La revista Industrial Laser Solutions publica varios artículos en los que se describen algunas aplicaciones de tratamiento superficial por técnicas láser: "Producing automotive parts" (DICIEMBRE 2005), donde se comenta que la empresa SITEC Industrietechnologie realiza el proceso de endurecimiento por láser en piezas para la industria del automóvil. "Laser/robot repairs turbine rotor blades in situ" (FEBRERO 2006) donde se muestra la reparación in-situ de álabes de turbina. "Repairing aero-engine parts" (MAYO 2006), en este proyecto realizado conjuntamente por el Fraunhofer Institute Lasertechnik y Rolan Robotics, se ha des-

arrollado el sistema completo para la reparación por técnicas láser de elementos de motores. "Lasers in the Nordic Countries" (MAYO 2006) ofrece una visión global del estado de las aplicaciones láser en los países nórdicos, donde se nombran empresas como DUROC AB (Suecia), FORCE Technology (Dinamarca) y centros tecnológicos como VTT (Finlandia), que presentan la tecnología láser como una herramienta más de sus procesos.

WANG [21], estudia los fenómenos de corrosión y erosión en materiales tratados superficialmente con técnicas de plaquedo por láser, para su aplicación en determinados elementos de la maquinaria de minería.

Empresas líderes en el sector (Caterpillar, Komatsu, BYG, Liebherr...) realizan grandes inversiones en I+D, con el objeto de mejorar las superficies de sus elementos y, de este modo, aumentar su vida útil. Caterpillar, por ejemplo, hace uso de la tecnología de plaquedo por láser para la reparación de determinados elementos (Cat® Reman Coverage for Earthmoving Equipment), y en el tratamiento superficial por láser sobre el eje de las ruedas del CAT 789, realizado por la empresa DUROC AB.

Con respecto a las técnicas de tratamiento superficial por Nano-Recubrimientos, éstas se encuentran en vías de desarrollo, ya que se trata de una tecnología reciente y que actualmente es objeto de numerosos proyectos de investigación, aunque ya existen interesantes resultados como los descritos por KLIMEK [22], donde se aplican técnicas de Nano-Recubrimientos en la producción de moldes. Mencionar también una reciente publicación de EL PAIS (30 mayo 2007), donde se presenta el desarrollo por parte de investigadores españoles de un nuevo material de estructura nanométrica capaz de soportar una tensión de rotura de 4500 MPa (10 veces superior a la del acero de construcción).

3. TENDENCIA EN EL SECTOR DE LA MOP PARA LA IMPLANTACIÓN DE NUEVAS TÉCNICAS DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL POR LÁSER Y NANO-RECUBRIMIENTOS A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE USO DE LAS MISMAS PARA EL SECTOR

En este apartado se va a realizar un análisis de la tendencia del sector de la MOP en cuanto a la implantación de técnicas de tratamiento superficial por Láser y Nano-Recubrimientos. Como

referencia, mencionar que en el informe de tendencias tecnológicas a medio y largo plazo en "Tecnologías de Diseño y Producción" realizado conjuntamente por CDTI-MICYT-OPTI (2002), se establece que los tratamientos térmicos, superficiales y recubrimientos constituyen una tecnología clave para las tendencias de mercado.

3.1. POSIBILIDAD DE USO: MÁQUINA Y APLICACIÓN

Las posibilidades son elevadas, sobre todo en aquellos elementos de la MOP que sufren un elevado desgaste en su vida útil (dientes de excavadoras, picas de martillo, ejes, pistones,...). Procesos de reparación, endurecimiento y plaquedo, muy habituales en otros sectores (aeronáutica, moldes), podrían ser implantados en este sector. Principalmente los procesos de endurecimiento superficial y de plaquedo utilizando técnicas láser son los que tienen mayor aceptación en otros sectores. En la Figura 2, se observa un ejemplo donde podría realizarse esta aplicación.



Figura 2. Ejemplo de elemento de maquinaria de obra pública: rueda de cubetas de excavadora [23]

En cuanto a los Nano-Recubrimientos, hay que tener en cuenta que es una tecnología nueva y en pleno desarrollo, pero que cuenta con gran interés y expectación dados los beneficios a los que podría dar lugar, como se ha visto con anterioridad.

3.2. DEFINIR EL RETO Y LAS NECESIDADES DE I+D PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LAS APLICACIONES PREVISTAS EN EL SECTOR DE LA MOP

La implementación de esta tecnología en el sector de la MOP se estima posible a medio / largo plazo, sobre todo en cuanto a Nano-Recubrimientos. Sin embargo, existen ciertas aplicaciones concretas que podrían ser viables a corto plazo: endurecimiento localizado de determinados elementos, reparación y plaquado, puesto que estos procesos están completamente desarrollados en otros sectores industriales.

3.3. EVALUAR EL IMPACTO DE APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL POR LÁSER Y NANO-RECUBRIMIENTOS EN EL SECTOR DE LA MOP

El impacto de estas nuevas tecnologías será considerable, principalmente porque el objetivo es aumentar la vida útil de los elementos tratados, lo que supone un ahorro notable en todos los aspectos.

En general, las técnicas láser implican ahorro de material, son técnicas poco agresivas con el medioambiente, fácilmente automatizables y además permiten el tratamiento selectivo de las superficies, lo que las hace muy atractivas desde el punto de vista industrial.

Los Nano-Recubrimientos suponen un gran reto, dado que se van a preparar superficies con las propiedades necesarias en función de los requisitos de la aplicación.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ZHANG, X.M., MAN, H.C., LI, H.D. (1997) "Wear and friction properties of laser surface hardened En31 steel". *Journal of Materials Processing Technology*. No. 69: pp 162-166. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [2] KAUL, R., GANESH, P., TIWARI, P., NANDEDKAR, R.V., NATH, A.K. (2005) "Characterization of dry sliding wear resistance of laser surface hardened En8 steel". *Journal of Materials Processing Technology*. No. 167: pp 83-90. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [3] RUIZ, J., LÓPEZ, V., FERNÁNDEZ, B.J. (1996) "Effect of surface laser treatment on the microstructure and wear behaviour of grey iron". *Materials & Design*. Vol. 17. No. 5-6: pp 267-273. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [4] KOMANDURI, R., HOU, Z.B. (2004) "Thermal analysis of laser surface transformation hardening-optimization of process parameters". *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. No. 44: pp 991-1008. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [5] KENNEDY, E., BYRNE, G., COLLINS, D.N. (2004) "A review of the use of high power diode lasers in surface hardening". *Journal of Materials Processing Technology*. No. 155-156: pp 1855-1860. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [6] PANTSAR, H. (2007) "Relationship between processing parameters, alloy atom diffusion distance and surface hardness in laser hardening of tool steels". *Journal of Materials Processing Technology*. No. 189: pp 435-440. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [7] MASSE, J.-E., BARREAU, G. (1995) "Laser generation of stress waves in metal". *Surface and Coatings Technology*. No. 70: pp 231-234. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [8] CHU, J.P., RIGSBEE, J.M., BANAÁ, G., ELSAYED-ALI, H.E. (1999). "Laser-shock processing effects on surface microstructure and mechanical properties of low carbon steel". *Materials Science and Engineering A*. No. 260: pp 260-268. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [9] HAMMERSLEY, G., HACKEL, L.A., HARRIS, F. (2000). "Surface prestressing to improve fatigue strength of components by laser shot peening". *Optics and Lasers in Engineering*. No. 34: pp 327-337. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [10] MONTROSS, C.S., WEI, T., YE, L., CLARK, G., MAI, Y.-W. (2002) "Laser shock processing and its effects on microstructure and properties of metal alloys: a review". *International Journal of Fatigue*. No. 24: pp 1021-1036. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [11] GRUM, J., ?TURM, R. (2002) "Comparison of measured and calculated thickness of martensite and ledeburite shells around graphite nodules in the hardened layer of nodular iron after laser surface remelting". *Applied Surface Science*. Vol. 187: pp 116-123. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

- [12] COLAÇO, R., VILAR, R. (2004) "Stabilisation of retained austenite in laser surface melted tool steels". *Materials Science & Engineering A*. Vol. 385: pp 123-127. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [13] DE MOL VAN OTTERLOO, J. L., DE HOSSONT, J.T.H. M. (1997) "Microstructural features and mechanical properties of a cobalt-based laser coating". *Acta Materialia*. Vol. 45. No. 3: pp 1225-1236. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [14] BARNES, S., TIMMS, N., BRYDEN, B., PASHBY, I. (2005) "High power diode laser cladding". *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 138: pp 411-416. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [15] DOBRZAJSKI, L.A., BONEK, M., HAJDUCZEK, E., KLIMPEL, A., LISIECKI, A. (2005) "Comparison of the structures of the hot-work tool steels laser modified surface layers". *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 164: pp 1014-1024. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [16] SEXTON, L., LAVIN, S., BYRNE, G., KENNEDY, A. (2002) "Laser cladding of aerospace materials". *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 122: pp 63-68. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [17] ABBOUD, J.H., BENYOUNIS, K.Y., OLABI, A.G., HASHMI, M.S.J. (2007) "Laser surface treatments of iron-based substrates for automotive application". *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 182: pp 427-431. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [18] TRUDEAU, M.L., DUBÉ, D., Fiset, M. (1997) "Nanostructured material induced by a 400 W YAG laser". *NanoStructured Materials*. Vol. 9: pp 221-224. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [19] LIN, Y., LU, J., WANG, L., XU, T., XUE, Q. (2006) "Surface nanocrystallization by surface mechanical attrition treatment and its effect on structure and properties of plasma nitrided AISI 321 stainless steel". *Acta Materialia*. Vol. 54: pp 5599-5605. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [20] GRUM, J., SLABE, J.M. (2005) "Nanoscale evaluation of laser-based surface treated 12Ni maraging steel" *Applied Surface Science*. Vol. 247: pp 458-465. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [21] WANG, P.-Z., YANG, Y.S., DING, G., QU, J.X., SHAO, H.S. (1997) "Laser cladding coating against erosion-corrosion wear and its application to mining machine parts". *Wear*. Vol. 209: pp96-100. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [22] KLIMEK, K.S., GEBAUER-TEICHMANN, A., KAESTNER, P., RIE, K.-T. (2007) "Duplex-PACVD coating of surfaces of die casting tools" *Surface & Coatings Technology*. Vol. 201: pp 5628-5632. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [23] FERNÁNDEZ, J.E., VIJANDE, R., TUCHO, R., RODRÍGUEZ, J. MARTÍN, A. (2001) "Materials selection to excavator teeth in mining industry" *Wear*. Vol. 250: pp 11-18. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

5.10. Sistemas de unión para maquinaria de construcción y obra pública

Rubén Ribera

Departamento de Análisis Experimental, Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE UNIÓN

El presente capítulo hace referencia al estado del arte de las tecnologías empleadas para la unión de piezas, componentes y estructuras en general.

La unión de dos o más piezas independientes para formar una pieza más compleja, componente o estructura, constituye uno de los procesos de fabricación esenciales en cualquier sistema o actividad productiva, siendo de aplicación en la práctica totalidad de los sectores industriales: industria de la automoción, aeronáutica, petroquímica, naval, industria ligada a los bienes de equipo o construcción en general. Dichas uniones se pueden realizar por unión mecánica, por soldadura, mediante adhesivos o como una combinación de las anteriores.

A la hora de seleccionar un determinado proceso de unión se tienen en cuenta multitud de factores tales como el material a unir, el tamaño y longitud de la unión, la aplicación a la que va a estar destinada la pieza, el coste, la capacitación del que ejecuta la unión, la facilidad de fabricación, el coste o la resistencia de la unión.

Hasta principios del siglo XX, la unión mecánica (roblonado, remachado, etc) constituía por excelencia la manera de unir piezas, independientemente del tipo de material utilizado. Durante el siglo XX, la soldadura desplazó a las uniones mecánicas como el sistema de unión por excelencia de los materiales metálicos, siendo en la actualidad el método de unión más empleado de este tipo de materiales. Mediante esta tecnología se consiguió reducir los tiempos de fabricación y abaratar los costes finales del producto. Así, durante la segunda guerra mundial se sustituyó el proceso de unión mediante remaches empleado tradicionalmente en la industria naval por la unión mediante soldadura en la fabricación en EEUU de los Barcos Liberty.

Simultáneamente al desarrollo de los polímeros sintéticos, durante la segunda mitad del siglo XX, surge la necesidad de unir este tipo de materiales. Este hecho tiene como consecuencia un fuerte desarrollo en el campo de los adhesivos (formulaciones, aplicaciones, materiales a unir, etc.) y un cambio de mentalidad en el diseño y rediseño de componentes y estructuras para que su unión adhesiva sea eficiente.

1.1. DEFINICIÓN GENERAL DE LA TECNOLOGÍA Y APLICACIONES USUALES

El acero, con una producción mundial que ascendió según estimaciones del IISI (International Iron & Steel Institute) a 1054,7 millones de toneladas en el año 2004, es el material más empleado en la fabricación industrial en general, siendo la tecnología más utilizada para su unión la soldadura por arco.

Tal y como se describe en el artículo "Trends in welding processes in engineering construction for infrastructure projects" presentado por el TWI Ltd en la 56ª asamblea anual del IIW de 2003, los esfuerzos de los últimos 50 años en el campo de la soldadura por arco se han centrado en la optimización de los procesos ya existentes (soldadura por electrodo, semiautomática MIG/MAG, arco sumergido, TIG), el aumento de la productividad, la mejora del control, la reducción de los costes... [1]

En el campo de los consumibles de soldadura son numerosos los avances que se han producido. A modo de ejemplo, se han desarrollado gases que mejoran la eficiencia del proceso o que disminuyen la emisión de humos, como el caso de la patente de la empresa AIR LIQUID "Shielding Gas For Arc-Welding" (EP0584000).

También se han optimizado procesos de fabricación mediante el empleo de procedimientos para soldar acero recubierto (pintura, galvanizado o aluminizado) mediante soldadura por arco sin necesidad de eliminación previa del recubrimiento, objeto de la patente de la empresa PRAXAIR "Gas Metal Arc Welding Of Coated Steels" (WO2005018863)

Con la automatización y mecanización de los procesos de soldadura por arco se ha obtenido un aumento de la calidad del producto, una menor cantidad de defectos, un mayor control del proceso, una disminución en el índice de rechazos, es posible soldar espesores más finos de material, ayuda a disminuir las tensiones postsoldadura en la estructura y disminuye distorsiones en la estructura. Sirvan de ejemplo los artículos publicados por PI-CHENG [2], relativo a la automatización del proceso por arco con gas, ANATOLY P. [3], referente a los aspectos cinemáticos del sistema robot posicionador en una aplicación de soldadura por arco, y NELSO GAUZE BONASCORSO [4], concerniente a la automatización de aplicación de recubrimientos superficiales por soldadura sobre rotores de turbinas hidráulicas.



Figura 1. Estación robotizada de soldadura. (Fuente: Sunarc)

Se han producido avances en el control de los procesos de soldadura mediante la sensorización del proceso de soldadura en tiempo real y la aplicación de redes neuronales. Tal es el caso de la patente "Luminescence Sensing System For Welding" (WO03082508).

También relacionado con la sensorización, e íntimamente ligado a la automatización de los procesos de soldadura, la detección de defectos on line está suponiendo un gran avance en el control de los procesos de soldadura de grandes series y una reducción del índice de rechazos. Los artículos escritos por YAO-WEN WANG [5] y PATRIZIA SFORZA [6] relativos a la monitorización de la calidad de la soldadura en un proceso de soldadura por plasma son claros ejemplos del desarrollo de estos procesos.

En la actualidad se están desarrollando e implantando procesos de soldadura, diferentes a la tecnología de soldadura por arco, que permiten adaptar los sistemas de unión a la fabricación de elevadas producciones y limitaciones especiales de ciertos procesos o materiales. Este es el caso de los procesos láser, ver artículos de Z.LI [7] y E.KOLEVA [8], haz de electrones, E. SCHUBERT [9], y soldadura por fricción, R.S. MISHRA [10].



Figura 2. Detalle de equipo de soldadura por fricción (Fuente: NIAR National Institute for Aviation Research).

Estos procesos son fácilmente automatizables, presentan mayores factores de productividad respecto a la soldadura por arco, producen zonas afectadas térmicamente reducidas, menor distorsión de las juntas, mejoran la soldabilidad de materiales ligeros como el aluminio o el magnesio y de materiales considerados como difícilmente soldables y permiten soldar espesores reducidos.

La aplicación de sistemas multiprocesos o procesos híbridos contribuyen al aumento de la productividad en la fabricación, supone una mayor eficiencia del proceso global, una reducción de los tiempos de fabricación, permite obtener mayores rendimientos. Algunos ejemplos de lo comentado se describen en los artículos escritos por GAO MING [11], que analiza los efectos del gas en el proceso híbrido láser-TIG, o G. CAMPANA [12] que estudia la influencia del modo de transferencia del arco en un proceso híbrido láser-MIG.

Los desarrollos realizados en la tecnología de unión por soldadura en los puntos mencionados anteriormente, han dado lugar a multitud de patentes, además de las ya citadas, relacionadas con la automatización de los procesos de soldadura (Movement control system for welding WO2007048864), monitorización (Method for monitoring a resistance welding process and device therefor EP1776203), control del proceso (Short arc welding system US2007095807, Method for controlling and/or adjusting a welding process US2007102411), y nuevos procesos de soldadura (PCT/GB92 PA N° 9125978.8 "Friction stir butt welding").

En el comunicado de prensa del instituto Fraunhofer IFAM del 27/11/2006, el catedrático y Dr. Andreas Gross, Director del Centro de Tecnología de los Adhesivos declaró que el futuro de la fabricación automovilística está en la combinación óptima de los materiales. Y es aquí donde la tecnología de los adhesivos supera a todas las demás técnicas de ensamblaje, pues sólo ésta permite unir sin problemas materiales tan diferentes como aluminio, acero, magnesio, plástico, vidrio o los modernos compuestos de fibras.

El uso de los adhesivos presenta ventajas respecto a los otros métodos de unión tales como la reducción de peso, unión de sustratos similares o diferentes, compensación de diferencias de expansión térmica, distribución uniforme de esfuerzos a lo largo de la longitud de la junta, ausencia de efectos concentradores de tensiones, compensación de tolerancias de fabricación, ausencia de daño en el sustrato como consecuencia de taladrar o soldar, juntas libres de distorsiones o buenas propiedades de amortiguamiento.

En el artículo "Uniones con futuro" de la revista CEVIMAP de septiembre de 2004 se resalta el uso generalizado de uniones

híbridas adhesivas en los procesos de reparación de estructuras metálicas como las carrocerías de los coches en las que se emplean uniones adhesivas en combinación con otros sistemas de unión, como los remaches, la soldadura MIG/MAG o la soldadura por puntos de resistencia. Los remaches o puntos de soldadura mejoran la resistencia a desgarro y pelado (del que las uniones adhesivas adolecen) y el adhesivo mejora la rigidez, estanqueidad, la resistencia a la fatiga y conducen a una transmisión más uniforme de las tensiones. La combinación de los dos sistemas produce un efecto sinérgico de notable eficacia.

A continuación se citan algunos artículos publicados en revistas de alto grado de impacto centrados en el estudio del comportamiento de este tipo de uniones: L.M. LIU [13], S.M. DARWISH [14] o BAOHUA CHANG [15].

El desarrollo de estas uniones híbridas también han dado lugar a la solicitud de patentes, siendo especialmente productivo el sector de la automoción y aeronáutico. Sirvan de ejemplo las patentes solicitadas por Audi en el 2007, "Joining by means of adhesive and spot welding in combination" (EP1782908) o por Boeing CO "Method for joining at least two adjoining work-pieces by friction stir and/or friction stir spot welding" (US2007017960).

1.2. INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN

Centros tecnológicos, fundaciones y universidades españoles adheridos a la red IRIS de investigación y a la FEDIT tales como AIMEN, AIMME, CENIM, CIDEMCO, CMT, CTMETAL, FATRONIK, INASMET-TECNALIA, INTA, ITCL, ITMA, LABEIN-TECNALIA, LORTEK, ROBOTIKER-TECNALIA, UNIVERSIDAD DE ALICANTE, UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, UNIVERSIDAD COMPUTENSE DE MADRID, UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA, UNIVERSIDAD DE SEVILLA, UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA, centros europeos como el instituto Fraunhofer alemán, el VTT finlandés, TWI inglés o el TNO holandés, se dedican, entre otros, al estudio, desarrollo e innovación de las diferentes metodologías de unión (adhesivos, soldadura, procesos mixtos, etc).

Diferentes asociaciones y organismos de normalización velan por el buen uso, difusión y formación en las tecnologías de

unión, a nivel español ASEFCA, CESOL y AENOR; a nivel europeo FEICA, EWF y CEN; las asociaciones americanas ASC, AWS y ASTM o las internacionales IIW o ISO.

Las unidades de investigación y desarrollo de las grandes empresas fabricantes, contribuyen al desarrollo de las tecnologías de unión mediante su colaboración con centros tecnológicos, universidades e institutos de investigación en proyectos tecnológicos como los promovidos por la comisión europea.

A continuación se citan algunos proyectos de interés encuadrados en los V y VI programas marcos de investigación europeos relacionados con las líneas expuestas en el apartado anterior respecto a las uniones por soldadura.

- En el proyecto "Laser Joining Technologies for Dissimilar Material Combinations" (JODIS) del VI programa marco se aborda el empleo de soldadura láser para la realización de soldadura disimilares aluminio acero en la construcción de pequeñas embarcaciones y yates.
- En el caso del proyecto "Sensor controlled laser-welding robot for 3-d seam welding" (SENSELASBOT) del V programa marco se abordó la automatización del proceso láser mediante el desarrollo del sistema de sensorización para la ejecución de la soldadura mediante robots.
- En el proyecto "Computer modelling of industrial joining processes" (JOINSIM) del V programa marco se llevó a cabo el desarrollo, optimización y verificación experimental de las herramientas de la simulación que describen los procesos soldadura por resistencia, soldadura por deformación, soldadura blanda y soldadura por láser, aplicables en este caso a los requisitos particulares de las herramientas para los usos de la empresa Robert-Bosch.
- En el proyecto del VI programa marco, "Development of a Low Cost Processing Unit for Friction Stir Welding" (LOSTIR) el instituto TWI lidera a un grupo de empresas y centros de investigación en el desarrollo de equipos de bajo coste para la ejecución de procesos de soldadura por fricción, uno de los principales hitos para la implantación de esta técnica de soldadura en la industria.

- El proyecto "Solving steel welding problems by the use of friction stir" (SOLVSTIR) que están llevando a cabo varias empresas bajo el liderazgo de GKSS-FORSCHUNGSZENTRUM GESTHACHT GMBH, trata de solucionar los problemas de soldadura existentes con los aceros de difícil soldabilidad (alto contenido en carbono) mediante el uso del proceso de fricción, soportando el proyecto con estudios de modelización, estudios económicos y la fabricación de demostradores de los sectores automoción, naval y energético.

En cuanto al uso de las uniones adhesivas, los proyectos más relevantes están relacionados con el sector aeroespacial y los materiales compuestos, siendo de interés el proyecto encuadrado dentro del VI programa marco europeo de investigación titulado "Modular Joints for aircraft Composite structures" en el que la organización EADS Deuutschland GMBH junto con otras empresas y centros de investigación conjugan el uso de las uniones adhesivas para la unión de materiales compuestos y el concepto de modularidad en la fabricación.

2. ESTADO ACTUAL DE LA APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE UNIÓN EN EL SECTOR DE LA MAQUINARIA DE OBRA PÚBLICA A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

A continuación se realiza una descripción de la aplicación de las tecnologías de unión en el sector de la maquinaria de obra pública tanto a nivel nacional e internacional.

2.1. ESTADO ACTUAL DE LA APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE UNIÓN EN EL SECTOR DE LA MAQUINARIA DE OBRA PÚBLICA A NIVEL NACIONAL

Las tecnologías de unión empleadas en el sector de la maquinaria de obra pública corresponden mayoritariamente a procesos convencionales de unión, donde la soldadura por arco y la unión mecánica mediante tornillos y pernos, constituyen la práctica totalidad de las uniones efectuadas.

La transferencia tecnológica al sector de la maquinaria de obra pública de los avances relativos a consumibles, electrodos, gases, fuentes y procedimientos de soldeo, se produce habitualmente desde los suministradores/proveedores de consumibles de soldadura.

La aplicación de procesos automatizados en la fabricación soldada se identifica en:

- La fabricación de grandes estructuras soldadas, como es el caso de la fabricación de sistemas de elevación (grúas), es uno de los casos donde la automatización de los procesos de soldadura es una realidad.
- El transporte de materiales.

La utilización en el sector de maquinaria de obra pública de las uniones adhesivas no es estructural y corresponde principalmente a la fijación de roscas de uniones mecánicas, eliminando los posibles problemas de pérdida de par de apriete; juntas selladoras entre bridas acopladas; sellado de roscas de tuberías; sellado de fundiciones y materiales sinterizados, como pretratamiento superficial que sella poros e imperfecciones facilitando su uso como contenedores de fluidos a presión en aplicaciones tales como martillos hidráulicos; retención de montajes metálicos cilíndricos tales como rodamiento en alojamientos o ejes, montaje de rotores, engranajes, ruedas dentadas y poleas en ejes, retención de camisas cilíndricas, eliminación de cuñas y tornillos de ajustes, montaje de casquillos guía para taladros.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE LA TECNOLOGÍA A NIVEL INTERNACIONAL EN EL SECTOR DE LA MAQUINARIA DE OBRA PÚBLICA: APLICACIONES EN MÁQUINAS Y EMPRESAS DE REFERENCIA

El grado de automatización de los procesos de soldadura dentro del sector de maquinaria de obra pública a nivel internacional es más elevado que a nivel nacional.

Mediante la implantación en la producción de las tecnologías de soldeo del sector automoción, la empresa Caterpillar ha conseguido optimizar el proceso de soldadura ajustando tolerancias, alineamientos, controlando la distorsión de las estructuras y la morfología del cordón de soldadura, lo que ha desembocado en multiplicar entre 3 y 10 veces la estimación del ciclo de vida en servicio, determinada mediante ensayos de laboratorio efectuados sobre estructuras fabricadas con estas tecnologías, y reducir los espesores de las chapas soldadas hasta un 25%.

La multinacional Liebherr es otro ejemplo de alto nivel tecnológico aplicado al sector de maquinaria de obra pública tanto a nivel del sector de elevación, movimiento de tierras, hormigón, transporte, minería, etc.

Otra diferencia observada entre los fabricantes nacionales e internacionales en cuanto al uso de las tecnologías de unión, radica en el mayor empleo de los adhesivos como sistema de unión estructural en elementos de maquinaria de obra pública internacional como consecuencia del mayor grado de implantación de los materiales compuestos.

El empleo de este tipo de materiales es significativo desde el punto de vista del ahorro en peso de los conjuntos o estructuras, como es el caso de los subsectores de transporte, movimientos de tierras, hormigoneras, donde la disminución de la tara de los vehículos supone un aumento en su capacidad de carga y transporte y por lo tanto en su eficiencia.

En esta línea, la empresa Samsung Heavy Industries Co. Ltd ha presentado una patente (US5245770), en la que se describe el aligeramiento llevado a cabo en el brazo de una excavadora mediante el empleo de materiales compuestos, manteniendo similares características de rigidez respecto al diseño en acero, pero rebajando el peso del conjunto del orden del 50-60% y mejorando la eficiencia entre el 7 y 14%.

En el subsector de las hormigoneras, la empresa MC NEILUS ha puesto en el mercado de EEUU cubas de hormigonera fabricadas en material compuesto, lo que supone un ahorro en el peso de cada unidad del orden de 900 kg. Este desarrollo es objeto de varias patentes ("Mixing drum" número WO2005095073 y otras).

3. IDENTIFICACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE IMPLANTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE UNIÓN EN EL SECTOR DE MAQUINARIA DE OBRA PÚBLICA A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL. EVALUAR EL IMPACTO DE USO DE LAS MISMAS PARA EL SECTOR.

En el presente apartado, se hace una prospectiva de las futuras aplicaciones de las tecnologías de unión dentro del sector de la maquinaria de obra pública.

3.1. POSIBILIDAD DE USO DE LAS TECNOLOGÍAS DE UNIÓN: EN QUÉ TIPO DE MÁQUINAS Y EN QUÉ APLICACIÓN.

La posibilidad de uso de nuevos materiales para la fabricación a escala industrial de maquinaria de obra pública está supeditada en muchos casos a que los procesos de fabricación estén desarrollados.

En el informe de prospectiva publicado por la Fundación OPTI e INASMET "Materiales para el Transporte y la Energía" (Diciembre 2003) se identifica claramente esta necesidad. Se destacan dos tendencias a medio/largo plazo:

- Soldadura: Uso de tecnologías de soldadura de materiales estructurales de altas prestaciones que no disminuyan las propiedades de resistencia, tenacidad y fatiga [15].
- Adhesivos: Uso de técnicas de ensayo no destructivo para evaluar la calidad inicial y la durabilidad de uniones mediante adhesivos [18].

Los subsectores de transporte de material y movimiento de tierras del sector de maquinaria de obra pública, tienen una clara proximidad con el sector del transporte en general, siendo de aplicación las citadas tendencias.

3.2. DEFINIR EL RETO (DIFICULTAD EN SU IMPLEMENTACIÓN) Y LAS NECESIDADES DE I+D PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LAS APLICACIONES PREVISTAS EN EL SECTOR DE LA MAQUINARIA DE OBRA PÚBLICA

A continuación se citan de manera esquemática los retos y necesidades de I+D necesarios para la implementación de las tendencias descritas:

Soldadura:

- Desarrollo de tecnologías de unión actualmente emergentes: soldadura por fricción, soldadura por láser.
- Automatización de los procesos.
- Alta inversión económica en equipamiento.

Adhesivos:

- Desarrollo de tecnologías no destructivas de uniones adhesivas.
- Cambio de mentalidad en los procesos de fabricación.
- Esfuerzo en el rediseño que implica uso de uniones adhesivas.
- Uso avanzado de tecnologías de diseño y optimización.

3.3. EVALUAR EL IMPACTO DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN EL SECTOR DE LA MAQUINARIA DE OBRA PÚBLICA (MEJORAS Y AVANCES QUE SE PODRÍAN CONSEGUIR)

De manera general, el impacto en el sector quedaría resumido en los siguientes puntos:

- Al tener solucionado el problema de la fabricación se podrán emplear nuevos materiales con mejores prestaciones, ya sean aceros o materiales compuestos, lo que desembocará en:
 - Mejora en el comportamiento en servicio de los componentes.
 - Ahorro energético gracias al uso de estructuras más ligeras.
 - Aumento de eficiencia de la maquinaria.
- Al tener procesos automatizados en la fabricación se obtendrán uniones soldadas de mayor calidad y más optimizadas.
- Con la implementación de los procesos automatizados se producirá un aumento en la productividad en la fabricación.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

4.1. BIBLIOGRAFÍA GENERAL EMPLEADA

- ASM International Handbook Committee. Volume 3, ENGINEERED MATERIALS HANDBOOK. "Adhesives and Sealants". ASM International. (1990).
- ASM International Handbook Committee. Volume 6, ENGINEERED MATERIALS HANDBOOK. "Welding, Brazing and Soldering". ASM International (1993).
- "La tecnología Láser. Fundamentos, aplicaciones y tendencias". Miguel Dorransoro Mendiguren. Mc Graw Hill. (1996)
- "Structural adhesives" Compiled by Bob Hussey and Jo Wilson RJ Technical consultants Charente Maritime France. Chapman & Hall (1996)
- Bonding/Adhesives Testbook. Dr. Norbert Banduhn, Henkel KGaA, Düsseldorf; Beate Brede, Fraunhofer IFAM - Center for Bonding Technology, Bremen; Dr. Gerhard Gierenz, Solingen; Prof. Dr. Andreas Groß, Fraunhofer IFAM - Center for Bonding Technology, Bremen; Dr. Axel Heßland, Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf; Dr. Irene Janssen, TU Dresden, Dresden; Prof. Dr. Heinz Wambach, Bezirksregierung Köln, Cologne; Dr. Wolfgang Weber, FCI, Frankfurt. FEICA (2004)
- Web espacenet. <http://es.espacenet.com/>.
- Web science direct. <http://www.sciencedirect.com/>.
- Informe de prospectiva publicado por la Fundación OPTI e INASMET "Materiales para el Transporte y la Energía" (Diciembre 2003).

4.2. REFERENCIAS

- [1] R.E. Dolby. "Trends in welding processes in engineering construction for infrastructure projects" artículo presentado por el TWI Ltd en la 56ª asamblea anual del IIW de 2003.
- [2] PI-CHENG TUNG, MING-CHANG WU and YEAN-REN HWANG "A study on the quality improvement of robotic GMA welding process" Robotics and computer-integrated manufacturing, Volume 19, 6, Diciembre de 2003 pp 567-572.
- [3] ANATOLY P. PASHKEVICH, ALEXANDRE B. DOLGUI AND KONSTANTIN I. SEMKIM "Kinematic aspects of a robot-positioner system in an arc welding application" Control Engineering Practise, Volúmen 11, 6, Junio de 2003 pp 633-647.
- [4] NELSO GAUZEONASCORSO, JR, ARMANDO ALBERTAZZI GONÇALVES y JAI CARLOS DUTRA "Automatization of the processes of surface measurement and deposition by welding for the recovery of rotors of large-scale hydraulic turbines" Journal of materials processing technology, Volúmen 179, 1-3 Octubre 2006, pp231-238.
- [5] YAOWEN WANG y QIANG CHEN "On-line quality monitoring in plasma-arc welding" Journal of Materials Processing Technology, Volúmen 120 1-3, Junio 2002 pp 270-274.
- [6] PATRIZIA SFORZA y DARIO DE BLASIS "On-line quality monitoring in plasma-arc welding" NTD & E International, Volúmen 35, 1, Enero 2002 pp 37-43.
- [7] Z. LI and S. L. GOBBI "Laser welding for lightweight structures" Journal of Materials Processing Technology, Volúmen 70, 1-3, Octubre 1997, pp 137-144
- [8] E. KOLEVA "Electron beam weld parameters and thermal efficiency improvement" Vacuum, Volúmen 77, 4, Marzo 2005, pp 413-421.
- [9] E. SCHUBERT, M. KLASSEN, I. ZERNER, C. WALZ y G. SEPOLD "Light-weight structures produced by laser beam joining for future applications in automobile and aerospace industry" Journal of materials processing technology, Volúmen 115, 1, Agosto 2001, pp 2-8
- [10] R.S. MISHRA y Z.Y. Ma "Friction stir welding and processing" Materials Science and Engineering: R: Reports, Volúmen 50, 1-2, Agosto 2005, pp 1-78
- [11] GAO MING, ZENG XIAOYAN y HU QIANWU "Effects of gas shielding parameters on weld penetration of CO2 laser-TIG hybrid welding" Journal of Materials Processing Technology, Volúmen 184, 1-3, Abril 2007 pp 177-183
- [12] G. CAMPANA, A. FORTUNATO, A. ASCARI, G. TANI and L. TOMESANI "The influence of arc transfer mode in hybrid laser-mig welding" Journal of Materials Processing Technology, Marzo 2007.
- [13] L.-M. LIU, H.-Y. WANG AND Z.-D. ZHANG "The analysis of laser weld bonding of Al alloy to Mg alloy" Scripta Materialia, Volúmen 56, 6, Marzo 2007, pp 473-476.
- [14] S. M. DARWISH y A. M. AL-SAMHAN "Peel and shear strength of spot-welded and weld-bonded dissimilar thickness joints" Journal of Materials Processing Technology, Volúmen 147, 1, Marzo 2004, pp 51-59
- [15] BAOHUA CHANG, YAOWU SHI y LIANGQING LU "Studies on the stress distribution and fatigue behavior of weld-bonded lap shear joints" Journal of Materials Processing Technology, Volúmen 108, 3, Enero 2001, pp 307-313.

5.11. Nuevos procesos de fabricación en maquinaria de construcción y obra pública

Fernando Fernández

Departamento de Innovación y Transferencia de Tecnología, Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN DE PIEZAS METÁLICAS.

Los procesos de fabricación en maquinaria de obra pública se centran principal y mayoritariamente en piezas metálicas debido a su gran resistencia y durabilidad, lo que las hace idóneas para las solicitaciones exigidas en el sector. Este documento pretende exponer las nuevas tendencias y tecnologías en procesos de fabricación en maquinaria de obra pública (MOP), centrándose principalmente en las mejoras asociadas al desarrollo de nuevas tecnologías y de aquellas implantadas ampliamente en el sector.

Estas mejoras en los procesos de fabricación se pueden englobar en dos puntos;

- Calidad final de la pieza. Disminuyendo los tratamientos posteriores de mecanizado, así como un ajuste en las tolerancias deseadas. (Near-Net shape)
- Rapidez y eficiencia del proceso. Obteniendo tiempo de procesado más bajos que los actuales y utilizando tecnologías más eficientes. Tanto energética como económicamente.

Analizando el documento "Tecnologías de diseño y producción. Tendencias tecnológicas a medio y largo plazo"[1] se observa una tendencia clara al uso de la computación para la mejora de procesos y su simulación. Mejorando los sistemas de prototipado virtual, abaratando así costes y mejorando en eficiencia y capacidad de respuesta. En los siguientes puntos del documento se aprecia la implantación de sistemas CAE en todos los procesos, aunque se observan otras tendencias tecnológicas fuera del ámbito de la computación.

Dentro de todos los procesos de fabricación el presente documento trata los procesos de fundición, forja y estampación así como procesos similares en cuanto a procedimiento y resultado.

Los procesos de fabricación de piezas metálicas se pueden dividir actualmente en dos grupos; las tecnologías tradicionales y las nuevas tecnologías. Ambas se tratarán más extensamente en los siguientes apartados.

1.1. TECNOLOGÍAS TRADICIONALES.

Los procesos de fabricación tradicionales para piezas metálicas que se utilizan en el sector de maquinaria de obra pública son tres principalmente; el forjado, la estampación y la fundición. Todos ellos son procesos antiguamente conocidos y utilizados por lo que la tecnología esta muy desarrollada, y la innovación en dichos procesos viene influenciada por el avance en otros campos tecnológicos como puedan ser la computación, el desarrollo de nuevos materiales o la automatización. [2]

El proceso de forjado debido a su simplicidad no ha experimentado grandes cambios, sin embargo, la introducción de programas CAE con simulación por MEF están aportando sustanciales mejoras tanto en el proceso como en el resultado final de la pieza. Siendo tratados en numerosos estudios. [3] [4]

Esta tendencia indica que la introducción de estos sistemas de computación a las máquinas de producción proporcionarán

cada vez mejores precisiones tal y como indica su, aún tímida, implementación en el sector automovilístico [5].

Aunque la mayoría de esfuerzo tecnológico se centra en la aplicación de otras tecnologías a este proceso, existen también novedades puntuales a productos particulares [6], [7] o aquellos que se centran en la mejora del proceso para reducir el tiempo de forjado mediante máquinas más complejas capaces de reutilizar el proceso en varios ejes al mismo tiempo [8].

Respecto a la estampación existe la tendencia de perfeccionamiento del proceso por métodos computacionales [9], así como de las máquinas usadas y la fuerza apropiada que deben hacer las mismas. Algunas técnicas están siendo desarrolladas en los sectores aeronáutico y automovilístico para obtener mejores calidades superficiales [10], así como tendencias para el prototipado rápido de máquinas para la estampación [11].

De los procesos de fabricación tradicionales la fundición es sin lugar a dudas la que presenta más tendencias tecnológicas. Aparte de la utilización de los ya citados métodos computacionales para la simulación del proceso [12], en las distintas variantes de la fundición se están produciendo mejoras e incluso nuevos procedimientos.

Todas las mejoras se centran en mejorar la calidad superficial de las piezas, las tolerancias y las tensiones residuales ligadas al proceso. De esta manera, existe una importante tendencia al empleo de magnesio en la producción de piezas. Lo que lleva asociado mejoras y adaptaciones de las máquinas de inyección de metal (die casting) y de aparatos y procedimientos, para la colada por gravedad. De las cuales han ido apareciendo, de manera incremental, múltiples patentes asociadas a esta tendencia.[13] [14] [15].



Figura 1. Piezas de aluminio fabricadas por die casting.

En este sentido hay que destacar la tendencia en el sector automovilístico y aeronáutico del uso cada vez más extendido de la inyección de aleaciones de aluminio debido a su alta producción y buena calidad. Aunque este proceso tiene sus limitaciones, su fácil integración al proceso productivo unido a su alta capacidad de producción y versatilidad lo hace idóneo para sectores como el del automóvil. En el que la productividad y la adaptabilidad (por el hecho de fabricar muchas piezas distintas) son requisitos fundamentales.

Otra tendencia muy importante es la utilización de moldes cerámicos o compuestos con el objetivo de mejorar la calidad superficial y así evitar el mecanizado de la pieza siempre que sea posible. Existen numerosos procesos de fabricación de los moldes cerámicos [16] [17] [18], lo que indica la importancia de esta tecnología por su bajo coste. Algunos estudios empiezan a comparar la calidad superficial de estas piezas con las obtenidas mediante fundición a la cera perdida [19]. Esta última tecnología a su vez sigue evolucionando con la introducción de espumas plásticas en sustitución de la cera obteniendo mejores acabados [20].

En sectores como el bucodental o el de joyería se están desarrollando nuevos procedimientos de fundición de alta precisión obteniendo gran calidad superficial y precisión, aunque la aplicación de estas técnicas en el sector de MOP solo se podría dar a muy largo plazo.

1.2. NUEVAS TECNOLOGÍAS

La pulvimetalurgia o sinterización es sin lugar a dudas una de las tecnologías que más está evolucionando. El número de patentes crece año a año. Lo que indica su importancia en el futuro para las empresas. Existen movimientos constantes para posicionarse bien en el suministro y desarrollo de esta tecnología [21]. Su uso cada vez más extendido en el sector de la automoción sugiere que este crecimiento va a ser continuado.

La cantidad de métodos y procedimientos para la fabricación de polvos, su mezcla y posterior compactación es apabullante como se deduce del número de patentes, entre las cuales destacan empresas poderosas en el sector de la automoción; General Motors, Toyota y Mitsubishi. Siendo EEUU y Japón los países más activos en esta tecnología.

La vertiente más novedosa dentro de la pulvimetalurgia es el uso de un haz láser en la sinterización. Haciendo posible el prototipado rápido de piezas [22] o de moldes para su uso en fundición [17].

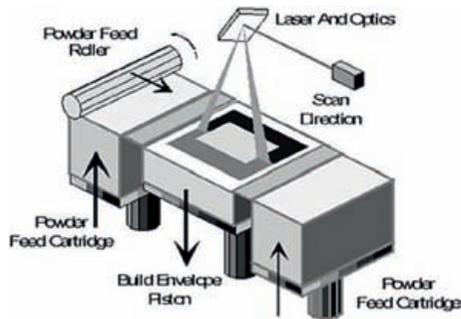


Figura 2. Sinterización por láser.

Dentro del sector aeronáutico se están utilizando tecnologías novedosas como el shot peen forming, con la que normalmente se realiza un ligero doblado de planchas metálicas por medio de un bombardeo de partículas de hierro que es calculado y estudiado por medio de simulaciones computacionales [23]. Esta tecnología ofrece gran resistencia a la fatiga y ausencia de tensiones superficiales como sucede con otros métodos ya conocidos. Estas características adecuan perfectamente esta tecnología al sector aeronáutico donde los requerimientos mecánicos adquieren gran importancia. Su transferencia a otros sectores no se ha producido debido a las limitaciones en cuanto a capacidad productiva.

Algunos de los procesos tradicionales están siendo perfeccionados utilizando distintas técnicas a la original. Este es el caso del hydroforming, que siendo una tecnología conocida en los últimos años se ha incrementado su implementación en el proceso de fabricación debido a los buenos resultados que ofrece. El uso del hydroforming en detrimento de la estampación en la industria automovilística avala su versatilidad y la calidad final de las piezas obtenidas [24].

Debido al uso cada vez más generalizado de aleaciones de aluminio y magnesio, se han desarrollado tecnologías paralela-

mente para utilizar las características específicas de estos materiales. El thixoforming es una técnica parecida a la inyección pero con mejoras en la eficiencia y en la capacidad de producción. Se basa en la inyección de la aleación cuando se encuentra en una fase sólido-líquido. Para conseguir ese estado se utiliza la inducción para reducir así el gasto energético y el tiempo empleado. La existencia de patentes de fabricantes como Hyundai [25], y la existencia de numerosos artículos de investigación [26] [27], sugieren que esta tecnología está en una fase de expansión y que adquirirá más importancia en un futuro próximo.



Figura 3. Pieza fabricada por thixoforming.

1.3. REFERENTES TECNOLÓGICOS

En el ámbito nacional existen varios referentes tecnológicos de los procesos que se describieron en los anteriores puntos. Entre ellos podemos destacar los siguientes: el Instituto Tecnológico Metalmeccánico AIMME y el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas CENIM cuyas líneas de investigación incluyen todos los procesos metalúrgicos, su simulación y modelización cubriendo gran parte de los procesos metalmeccánicos existentes.

La investigación universitaria está liderada por el grupo de investigación de fabricación de la Universidad Politécnica de Cartagena y el departamento de Ciencias de los materiales e ingeniería metalúrgica de la Universidad Politécnica de Cataluña, cubriendo las líneas de investigación de procesos de conformado, pulvimetalurgia, Simulación FEM de procesos, inyección en fundición a presión y estudio de nuevos procesos para automoción.

En el ámbito internacional, destacar la concentración en la investigación en los países de Japón y EEUU. Ambos con gran tradición en el sector del metal y asociados a los principales fabricantes de automóviles mundiales. American Foundry Society (EEUU), American Iron and Steel Institute (EEUU), National Industrial Research Institute of Nagoya (Japón), Tokyo University (Japón) son una muestra de la gran cantidad de referentes tecnológicos que se encuentran en estos países. No obstante existen multitud de países europeos donde también se está investigando; Technical University of Vienna (Austria), Centre Technique des Industries de la Fonderie (CTIF) (Francia), British Columbia Institute of Technology (Canada), Lappeenranta University of Technology (Finlandia), RWTH-Aachen (Alemania), Royal Institute of Technology (KTH) (Sweden).

En cuanto a empresas punteras en el sector destacar Caterpillar, Liebherr, Wacker, Amman, JCB, Hyundai Komatsu, Sandvik y Dynapack. Todas ellas con gran capacidad productiva e innovadora.

2. ESTADO ACTUAL DE APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS EN EL SECTOR DE LA MOP A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

2.1. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL A NIVEL NACIONAL

En el sector de la MOP se utilizan generalmente procesos de fabricación tradicionales y la introducción de avances se produce a remolque de sectores más dinámicos tecnológicamente como el automovilístico o aeronáutico.

La mayoría de piezas fabricadas en el sector se realizan mediante el conocido binomio fundición-mecanizado. En este proceso la fundición suele realizarse en molde de arena y por la variante de colada. Esto conlleva su posterior mecanizado para corregir dimensional y superficialmente la pieza hasta alcanzar las especificaciones deseadas. Este proceso se basa básicamente en el factor precio, aunque se percibe que la apuesta por la calidad esta mejorando el proceso de fundición con la introducción de avances tecnológicos anteriormente expuestos.

En referencia a los otros dos procesos tradicionales; la estampación y el forjado, los avances tecnológicos indicados en el punto uno no están implementados en el sector. Utilizando procesos simples y de sobra conocidos hace tiempo. Solo la introducción de sistemas informáticos está establecido aunque no en todos los procesos.

Las nuevas tecnologías tienen su cara y su cruz. La pulvimetalurgia y la inyección de metal se presentan como tecnologías implantadas considerablemente tal y como indican los niveles de producción, esta ultima en menor medida. Otras tecnologías como el thixoforming, hydroforming, shot peen forming... no se utilizan apenas en el sector.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL A NIVEL INTERNACIONAL

En el ámbito internacional existe una mayor introducción de los avances tecnológicos en procesos de fabricación. La utilización de sistemas CAE y otros programas informáticos esta ampliamente extendido. Incluso hay fabricantes que han desarrollado sus propios programas, como Caterpillar con su CaPS (Casting Process Simulator).

Algunas de las grandes empresas se encargan o tienen filiales que producen las piezas desde el principio del proceso de fabricación, como Caterpillar, Komatsu, Hyundai... esto a diferencia de lo que sucede en el ámbito nacional se traduce en una rápida implementación de las nuevas tendencias.

La implantación de la fundición de precisión en moldes cerámicos y el uso de la inyección de metales y la pulvimetalurgia son un hecho en las grandes empresas internacionales del sector. El uso cada vez más extendido del aluminio y el magnesio en el sector automoción ha sido exportado al sector de MOP, siendo la inyección de aluminio la técnica preferida para su fabricación. Para las piezas con mayores exigencias mecánicas se utiliza la pulvimetalurgia o en caso de piezas grandes el uso de moldes cerámicos con aglutinantes y resinas para conseguir una mayor calidad.

El resto de procesos tradicionales apenas ha desarrollado mejoras, excepto la introducción de sistemas informáticos CAE y

mejoras en el proceso de estampación para grandes volúmenes de producción.

Las tecnologías como el hydroforming, thixoforming, shot peen forming... no están extendidas en su uso dentro del sector. De hecho, algunas son exclusivas del sector aeronáutico debido a la gran calidad obtenida pero excesivo coste para ser implantadas en otros sectores.

3. DEFINICIÓN DE LAS TENDENCIAS TECNOLÓGICAS Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE USO DE LAS MISMAS EN EL SECTOR DE MOP

3.1. RETO Y NECESIDADES DE I+D+I PARA SU IMPLEMENTACIÓN

La necesidad de mecanizado en las piezas previamente producidas mediante los procedimientos expuestos en este documento se presenta como el principal reto a superar en los fabricantes de piezas y componentes metálicos. El binomio fundición-mecanizado, tan instaurado en el sector, conlleva procesos productivos más largos y costosos. El objetivo por tanto es eliminar o al menos minimizar el mecanizado de las piezas. Para series largas, el mecanizado de alta velocidad a partir de un tocho de material se consolida como el mejor método para evitar dicho binomio. Sin embargo, el alto coste de dichas máquinas no se adecuan a series cortas, las que se emplean mayoritariamente en el sector de MOP. Para este tipo de series, se pretende que los procesos que habitualmente se utilizan sean más precisos y con mejor acabado. De manera que se obtenga una pieza muy cercana o igual a la deseada.

La extensión del uso de sistemas CAE debería implementarse debido a bajo coste y gran versatilidad, ya que estos sistemas son cada vez más polivalentes y su utilidad suele abarcar varios procesos.

En cuanto a la fabricación de piezas de grandes dimensiones, la investigación de nuevas composiciones y aglutinantes para los moldes de arena debería ser un paso a dar en un futuro a medio plazo. Esto no significa que no se deban aplicar los avances tecnológicos ya conocidos en esta materia evitando así un estancamiento y una pérdida de competitividad.

La introducción de las aleaciones de aluminio y magnesio como materiales de fabricación se irá incrementando a corto plazo como ha sucedido ya en el sector de la automoción. Dicha tendencia tiene que ir asociada a un cambio en los procesos de fabricación para poderlos adaptar a las nuevas necesidades. En este sentido se debería extender la implantación de maquinaria de inyección de metal. Ofreciendo así piezas de mayor calidad y menor peso, que se traducirán en un producto final de mayores prestaciones.

Siguiendo la estela del sector de automoción, la introducción de la pulvimetalurgia como proceso para fabricar piezas relativamente pequeñas y sometidas a bajas sollicitaciones mecánicas sustituiría el binomio fundición-mecanizado obteniendo piezas con precisión dimensional y buen acabado.

Se podría concluir que los retos del sector a corto plazo es extender las tecnologías del sector de automoción aplicables al sector de MOP. Principalmente la mejora de moldes de arena, pulvimetalurgia e inyección de metal. Para ello y como se indica en este documento, existen gran cantidad de referentes tecnológicos tanto a nivel nacional e internacional que cubren estos campos de mejora. Por lo tanto, no existen barreras tecnológicas que impidan la implantación de estos avances dentro de los procesos de fabricación. Como ejemplo se podría citar el hecho de que España ocupe el segundo lugar en piezas fabricadas por pulvimetalurgia dentro de la Unión Europea. Esto denota un alto nivel en I+D+i en la materia por lo que las necesidades de investigación están satisfechas.

3.2. IMPACTO DE APLICACIÓN

La implantación de las mejoras indicadas en el apartado anterior reduciría los costes asociados con la mecanización posterior de la pieza. Además esto traería asociado un menor tiempo de fabricación con el consiguiente aumento del límite productivo.

El principal problema que encontrarían las empresas en la implantación de estos avances en el proceso de fabricación podría ser el económico. Mientras el uso de nuevas composiciones y aglutinantes en los moldes de arena es un coste más que asumible, incluso necesario, la introducción de la inyección de metal requiere una maquinaria y equipamientos que depen-

diendo del nivel de producción y la capacidad económica de la empresa puede representar un problema.

De cualquier forma la inversión en estas tendencias tecnológicas debería ser una prioridad para no seguir perdiendo competitividad frente a las empresas de países con un menor nivel tecnológico. Existen varias tendencias con distintos niveles de exigencia económica, por lo que la aplicación de estos avances debería ser inmediata.

La investigación e implantación de las tendencias más novedosas corresponde a empresas con mayor capacidad de recursos tanto financieros como técnicos. Aunque se sugiere seguir los pasos del sector de la automoción debido a su dinamismo y rápida implantación de tecnologías, las diferencias existentes con el sector de MOP aconsejan realizar adaptaciones de dichos procesos para conseguir una implantación eficaz en esa transferencia tecnológica.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tecnologías de diseño y producción. Tendencias tecnológicas a medio y a largo plazo. Informe de prospectiva tecnológica industrial publicado por la fundación OPTI. Año 2002
- [2] Boletín OPTI número 10. Resumen sectorial. Octubre de 2001
- [3] HAMILTON R.W , LEE P.D , DASHWOOD R.J , LINDLEY T.C. (2005), "Optimisation of a cast one-step forging operation by virtual processing". *Materials and design*. No 26:29-36, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [4] GHAEIA A , KARIMI TAHERIB A , MOVAHHEDYA M.R. (2006), "Optimisation of a cast one-step forging operation by virtual processing". *Mechanical sciences*. No 48:1264-1272, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [5] BEHRENS B.A. , DOEGE E. , REINSCH S. , TELKAMP K. , DAEHNDEL H. , SPECKER A. (2007), "Precision forging processes for high-duty automotive components". *Materials processing technology*. No 185:139-146, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [6] BOCHNIAK W. , KORBEL A. , SZYNDLER R. , HANARZ R. , STALONY-DOBZANSKI F. , BLAZ L. , SNARSKI P. (2006), "New forging method of bevel gears from structural steel". *Materials processing technology*. No 173:75-83, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [7] GONTARZ A. , PATER Z. , WEROŃSKI W. (2004), "Head forging aspects of new forming process of screw spike". *Materials processing technology*. No 153-154:736-740, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [8] DESRAYAUD C. , RINGEVAL S. , GIRARD S. , DRIVER J.H. (2006), "A novel high straining process for bulk materials—The development of a multipass forging system by compression along three axes". *Materials processing technology*. No 172:152-158, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [9] JUNG-HAN SONGA, HOON HUHA, SE-HO KIMB, (2007), "A simulation-based design parameter study in the stamping process of an automotive member". *Materials processing technology*. No 189:450-458, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [10] SE-HO KIM (2007), "Improvement of the surface quality of an automotive member by a modification of the stamping tool". *Materials processing technology*. No 187-188:387-391, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [11] OUDJENEVA M. , PENAZZIB L. , BATOZC J.L. (2007), "Towards the three-dimensional FE analysis of rapid prototyping tools for sheet metal stamping process". *Finite elements in analysis and design*. No 43: 611-619, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [12] VENKATESANA A. , GOPINATHB V.M. , RAJADURAIB A. (2005), "Simulation of casting solidification and its grain structure prediction using FEM". *Materials processing technology*. No 168:10-15, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [13] Patente publicada por Buehler Druckguss AG. (num. DE102004032443): Casting machine used as part of a die casting installation for casting magnesium materials comprises a casting plunger which is guided into casting chamber.
- [14] Patente publicada por Commonwealth Sci & Ind Res Org. (num. WO2006024090): Alloy Casting Apparatus.
- [15] Patente publicada por Escom KK et al. (num. JP2006063396): Method For Producing Thin Spheroidal Graphite Cast Iron Product.
- [16] Patente publicada por McNulty et al. (num. US20070089849 A1): Molds for manufacturing metal casting and methods of manufacturing thereof.
- [17] CASALINO G. , DE FILIPPIS L.A.C. , LUDOVICO A. (2005), "A technical note on the mechanical and physical characterization of selective laser sintered sand for rapid casting". *Materials processing technology*. No 166:1-8, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [18] Patente publicada por KOMATSU LTD. (num. WO2007010848 A1): Resin-coated sand for use in cast steel, casting mold made of the sand, steel casting casted used the casting mold.

- [19] JIAREN JIANG, XING YANG LIU (2007), "Dimensional variations of castings and moulds in the ceramic mould casting process". *Materials processing technology*. No 189:247-255, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [20] LIU X.J. , BHAVNANI S.H. , OVERFELT R.A. (2007), "Simulation of EPS foam decomposition in the lost foam casting process". *Materials processing technology*. No 182:333-342, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [21] Boletines de observatorio tecnológico del sector metal-metálico publicado por la fundación OPTI. Años 2005 y 2006.
- [22] TANGA Y. , FUH J.Y.H. , LOHA H.T. , WONGB Y.S. , LUB L. (2003), "Direct laser sintering of a silica sand". *Materials and design*. No 24:623-629, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [23] WANG T. , PLATTS M.J. , LEVERSB A. (2006), "A process model for shot peen forming". *Materials processing technology*. No 172:159-162, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [24] BEOM-SOO KANG, BO-MI SON, JEONG KIM (2007), "A comparative study of stamping and hydroforming processes for an automobile fuel tank using FEM". *Machine tools & Manufacture*. No 44:87-94, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [25] Patente publicada por Hyundai Motor Company. (num. US7083689 B2): Method for fabricating magnesium alloy billets for a thixoforming process.
- [26] YUCEL BIROL (2007), "A357 thixoforming feedstock produced by cooling slope casting". *Materials processing technology*. No 186:94-101, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [27] YUCEL BIROL (2007), "Thixoforging experiments with 6082 extrusion feedstock". *Alloys and compounds*. Article in press, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

5.12. Maquinaria de construcción y obra pública inteligente | Automatización

Jesús Paniagua

Departamento de Diseño electrónico y Control, Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)

1. TECNOLOGÍA Y APLICACIONES

El objetivo de las tecnologías de automatización son la supervisión y el control. A nivel industrial las tecnologías utilizadas se encuentran ya maduras, mientras que su extensión a la maquinaria de obras públicas y construcción están en desarrollo. Esto se debe principalmente a la dureza del entorno de trabajo y a la movilidad que se exige a este tipo de máquinas.

Los elementos utilizados en la automatización son:

- Sensores que proporcionan información sobre la situación de la máquina (tanto posición, como orientación) sobre la superficie terrestre. Encontramos sistemas con dos tipos de referencias:
 - Globales, basados en satélites que emiten señales de referencia. Complementados con software de información geográfica (GIS [36]) , que son bases de datos de puntos geográficos referenciados y con parámetros descriptores del punto [1]
 - Locales, mediante estaciones de posicionamiento local basadas en láser y sistemas ópticos de precisión.
- Sensores que proporcionan información referente al entorno de la máquina, esto es de la zona de trabajo sobre la que evoluciona. Encontramos sistemas basados en visión artificial y en láser siendo los más destacados y novedosos los escáneres láser 3D (LADER).
- Sensores que aportan información sobre la propia máquina, podemos encontrar:
 - **Sistemas inerciales:** Basados en giróscopos, acelerómetros e inclinómetros. Se utilizan como complemento a los sistemas basados en GPS. Tiene su utilidad en vehículos para la construcción de carreteras.
 - **Sistemas para la medida de cargas y esfuerzos:** Utilizan principalmente células de carga o sistemas extensiométricos. Su utilidad en maquinaria de construcción es principalmente de seguridad, aunque podrían ser utilizados como elementos de captura de datos para estudios de productividad.
 - **Sistemas de medida de posición y ángulos:** utilizados para medir la posición relativa de las articulaciones y ejes de la máquina. Son encoders tanto rotativos como lineales, en la actualidad se están utilizando encoders magnéticos sin partes móviles y sin contacto entre la parte fija y la parte móvil. (SIKO, ELPE)
 - **Sensores de medición de consumos, tiempo de trabajo, esfuerzos realizados, etc.:** nos aportan información sobre el rendimiento energético de la máquina y ayudan en la seguridad y mantenimiento [2]
- Un sistema que recoja la información de los sensores, esto incluye tanto el cableado (ya sea en forma de bus o punto a punto o mediante red inalámbrica) y la electrónica que transforma la información de los sensores en datos digitales.
- Un sistema de interface con el operario (HMI), que incluye tanto las pantallas de presentación de datos (tanto táctiles como convencionales) y los mandos (joy-sticks, teclados, etc.) utilizados para comunicar a la máquina la consigna.
- Un sistema de procesado de los datos (ECU). Para que la máquina realice tareas de forma automática es necesario que este sistema realice la función de control, calculando las acciones que deben ser ejecutadas de acuerdo a la consigna que el operario ha establecido y a la información aportada por los sensores. Si solo se están realizando funciones de supervisión

e información al operario, el sistema sólo tiene que procesarlos para mostrar la información de forma útil a dicho operario.

- Si se desea una monitorización o control remoto se deberán incorporar algún sistema de comunicaciones inalámbricas: radio, WIFI, infrarrojos, Bluetooth, Zigbee, etc.
- Los actuadores, normalmente hidráulicos, deben ser adaptados para poder ser manejados por el sistema de control. De esta forma se cierra el bucle de control.

Para que funcione el sistema de control es necesario un software que realice una función inteligente de actuar sobre los elementos de trabajo de la máquina de acuerdo a una consigna, para la realización de la función deseada,, con la información capturada de los sensores. Estos algoritmos los podemos dividir en las siguientes categorías:

- Sistemas de control tradicional, basados en bucles de realimentación que siguen las leyes de los servomecanismos tradicionales. Basado principalmente en bucles de tipo proporcional, integral y derivativo (PID).
- Sistemas de control adaptativos, que modifican los parámetros de control de acuerdo a la evolución de las propiedades del entorno o de la propia máquina. Aquí encontramos tecnologías basadas en lógicas de tipo borroso (Fuzzy) [3] o estadísticas.
- Sistemas de toma de decisiones basados en sistemas expertos, redes neuronales y metodologías de reconocimiento de patrones. [4]

Todos estos sistemas manejan información que obtienen a través de sensores y detectores, permitiendo que esta se expanda en varios niveles:

- Información a nivel interno de la máquina: sistema de control automático.
- Información al operario de la misma. Sistemas de supervisión y monitorización del trabajo.
- Información hacia el gestor del proceso: Sistemas de gestión del trabajo (avance y supervisión del proyecto [5]).

- Información a nivel de gerencia: Sistemas de gestión de proyectos.

Las tecnologías para conseguir los sistemas de automatización en máquinas están disponibles y en el mercado se encuentran los productos adecuados para ser incorporados en estas. El reto actual está en la integración de estos sistemas para conseguir realizar tareas más inteligentes y seguras. Por lo que muchas de las investigaciones se centran en el software de procesamiento de datos y de toma de decisiones.

Muchas de las tecnologías que son susceptibles de ser aprovechadas en la automatización de máquinas en el sector de las obras públicas van a ser tomadas de otros sectores tecnológicamente más avanzados, como el sector del automóvil (centralitas electrónicas, redes de sensores...), la robótica industrial (sistemas de control por buses de campo, visión artificial, manipuladores,...) o incluso de las nuevas tecnologías de Guiado Automático de Vehículos (AVG), como las promovidas en el concurso del Ministerio de Defensa Americano para vehículos todo terreno DARPA [43].

Por otro lado los elementos que más innovación están aportando a la automatización de la maquinaria de obras públicas son los referentes a la relación de la máquina con el entorno de trabajo. Así encontramos [28]:

- ULTRASONIDOS: Son de corto alcance y son utilizados en sensores de medida de distancia de los elementos de la máquina a la zona de trabajo, como puede ser la posición de las palas en la nivelación de un terreno. (TRIMBLE [33] , TOPCON [38])
- SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL: Son sistemas basados en la información de posición aportado por una constelación de satélites. GPS es el sistema americano, GLO-NASS el ruso y GALILEO el futuro sistema europeo. La precisión es buena para localizar una máquina, pero no para hacer un guiado automático. Por lo que para aumentar la resolución a niveles sub-centimétricos es necesario utilizar como complemento estaciones terrestres, junto con un sistema de comunicaciones y un software especial. TRIMBLE ha venido incorporando sistemas GPS desde 1998, siendo pionero en la

aplicación de estos sistemas a la maquinaria de obras pública y construcción. Últimamente se ha desarrollado un tipo de GPS de mucha mayor precisión llamados GPS RTK, o GPS cinemático en tiempo real, con precisiones de +/- 2 cm. [40]. Su utilidad resulta fundamental en los actuales proyectos de construcción de carreteras [6], [7] y en el control del movimiento de tierras [8]. (TOPCON, LEICA, TRIMBLE, JAVAD, ASTEC, SPECTRA PRECISION, SOKKIA)

- LASER: Se utilizan para determinación del nivel, perfiles, alineamientos y distancias. Se utilizan láseres giratorios que pueden usarse como referencias verticales, horizontales o marcar pendientes. También son utilizados para medir distancias de manera precisa por tiempo de vuelo o desfase. Lo último es la utilización del láser como escáner 3D (LADER), que supone una revolución en la construcción, tanto a nivel de obra, como de proyecto. (TRIMBLE, TOPCON). Un ejemplo del modelo obtenido se ve en las fotografías siguientes:



Figura 1. Escáner -D (LADER) en campo e imagen obtenida desde posición inferior.

- SISTEMAS ÓPTICOS: Sistemas de supervisión de obra llamados ESTACIÓN TOTAL, el sistema compara posiciones, permitiendo una supervisión de precisión de la localización de cada elemento, con el láser se pueden completar las medidas de distancia. La tecnología hace uso de software y micro motores de precisión para el posicionamiento preciso de las lentes internas. (TRIMBLE, TOPCON, LEICA, SPECTRA PRECISION)
- SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL: Sistemas de reconocimiento del entorno mediante procesado de la señal. La imagen únicamente aporta información en dos coordenadas, por

lo que son utilizados para la identificación de ciertos parámetros de los materiales sobre los que la máquina debe trabajar: grietas en cemento, pavimento, etc. [9]. Para navegar se necesita información de la tercera coordenada, la profundidad o distancia. Para esto es necesario utilizar dos cámaras preparadas para visión estereoscópica o complementar la información con un sistema de medición de distancia (láser o ultrasonidos). La visión artificial se utiliza como apoyo al operario y supervisión del trabajo.

- SENSORES ESPECIALES PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL. Son sensores que informan a la máquina sobre datos del material utilizado, tales como grado de compactación de pavimentos, densidad de asfalto, etc.

Los sistemas de posicionamiento han evolucionado a otros más completos que recogen un conjunto de datos, ligados a la posición GPS, como pueden ser células de carga, posiciones de brazos articulados, etc.

Cuando se multiplican los sensores se recurre a buses de campo (redes de comunicación para sistemas electrónicos en entornos industriales o vehículos), siendo el más extendido el BUSCAN, aunque diversos fabricantes tienen su propio protocolo propietario. Hay que señalar que en el sector de la maquinaria agrícola los fabricantes se encontraron con los problemas de un excesivo cableado y de la necesidad de comunicar todos los sistemas electrónicos incorporados, para solucionar todo esto crearon un bus de campo que sirviera de estándar para el sector, el LBS, ahora denominado ISOBUS 11783 [44], lo que ha permitido un rápido avance en la automatización de estas máquinas.

La recogida de datos con el fin de automatizar la máquina permite realizar de forma indirecta otras funciones:

- Mantenimiento predictivo y mayor seguridad debido a una monitorización de la máquina en tiempo real.
- Monitorización y gestión de proyectos, los primeros sistemas que aparecieron en 1999. Para esta finalidad se puede utilizar la información recogida por todos los sistemas antes comentados y procesarla de forma global para conocer datos como la productividad, el avance del proyecto, etc. Se está

trabajando en sistemas de captura de datos automáticos (ADC: Automated Data Collection) basado en sistemas de procesado de la información a partir de los sensores instalados en la máquina con propósitos de control [10]. El problema radica en la gran cantidad de datos que se pueden generar, no es posible registrar todo, ni se procesan todos los datos. Por eso aparecen programas informáticos específicos para la construcción y las obras públicas que utilizan los datos procedentes de estos sensores y que ayudan a la gestión de los proyectos.

Una tecnología que complementa la información de estos sistemas es la de Identificación por Radio Frecuencia o sin contacto (RFID), utilizada para asegurar la trazabilidad de los materiales utilizados en la construcción. La unión de la RFID y el GPS se han utilizado para determinar la trazabilidad del asfalto o cemento desde fábrica hasta la dosificación, junto con parámetros característicos del material. Minchin y Thomas patentan un sistema de medición de densidad de asfalto mediante vibración (ODSM) en el 2003 [11], aunque y se trabaja en máquinas similares desde 1998 [12]. Los problemas principales de estos sistemas son asociar los datos con el entorno y representarlos de forma útil para quién debe tomar decisiones.

1.1. REFERENTES TECNOLÓGICOS

En España:

CARTIF, centro de la automática, robotización, y tecnologías de la información y la fabricación. investigación aplicada, de Castilla y León, con proyectos como:

- Automatización de una Carretilla Elevadora.
- Desarrollo de un Robot para la Inspección de Tuberías.
- Proyecto de Reconstrucción Tridimensional de Exteriores.

IKERLAN IK4 Research Alliance VAR-Trainer, Arrasate-Mondragón (Gipuzkoa), trabaja en I+D en automatización de maquinaria de obras públicas.

CEDEX, centro de estudios y experimentación de obras públicas, del Ministerio de Fomento. Es una institución que provee apoyo

multidisciplinar en las tecnologías de la ingeniería civil, la edificación y el medio ambiente asociado, y presta sus servicios a las diversas administraciones, instituciones públicas y empresas privadas.

Además encontramos que los departamentos de robótica y automatización de diversas universidades españolas también han realizado proyectos de I+D sobre la automatización aplicada a obras públicas y construcción. Debido a que son proyectos aislados no se van a enumerar en este documento.

Fuera de España, existen numerosos centros de investigación que, aunque no estén completamente dedicados a la automatización de las máquinas de obras públicas han realizados proyectos en este sentido. Así tenemos:

NIST Construction Automation Laboratory National Institute of Standards and Technology (NIST), en particular el Building and Fire Research Laboratory (USA).

ICT CENTRE: Con proyectos de I+D como:

- Sensorización y guiado de excavadora
- Automatización de una pala cargadora de dumpers.

NREC, National Robotics Engineering Center, en Pittsburg, que ha desarrollado una excavadora autónoma.

Fraunhofer Institute for Production Systems and Design Technology (IPK), en Alemania

VTT - Technical Research Centre of Finland, Building and Transport, Construction Management de Finlandia.

Institute for Mechanised Construction and Rock Mining (IMBIGS) en Polonia.

Belgian Building Research Institute (BBRI) en Bélgica.

Australian Center for Field Robotics, de la Universidad de Sydney en Australia.

Mining Institute de Novosibirsk en Rusia.

IMAMOTER - C.N.R. Institute for Agricultural and Earthmoving Machinery of the Italian National Research Council - En Cassana (Ferrara), Italia.

Advanced Highway Maintenance and Construction Technology en Estados Unidos

2. ESTADO ACTUAL DE LA AUTOMATIZACIÓN EN MOP A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

La automatización de una máquina de obra públicas supone la capacidad de la misma para realizar ciertas tareas de forma autónoma, sin la intervención directa del operario. Hay dos caminos para lograr este objetivo:

- Construir máquinas diseñadas con este propósito a modo de robots específicos para ciertas tareas.
- Adaptar las máquinas ya existentes para su automatización.

El alcance la de la automatización puede ser el siguiente:

- Supervisión y control manual: información al operario de cómo se va realizando el trabajo, mientras este controla los mandos de la máquina. Estos mandos pueden responder a tecnologías tradicionales, ya que no es necesario que estén conectados al sistema de control. El bucle se cierra a través del operario.
- Supervisión y sistemas teleoperador: la información es recibida en un punto diferente a la propia máquina, donde un operario la controla remotamente. En este caso es necesario adaptar los mandos de la máquina para que sean actuados por el sistema de control.
- Sistemas autónomos. De acuerdo a una consigna de trabajo la máquina realiza las operaciones necesarias para ellos sin intervención directa de una persona. [13].

2.1. ROBOTS

Las máquinas diseñadas para realizar una función especial de forma inteligente, que se suelen denominar robots para la construcción u obras públicas, no suponen actualmente una actividad industrial, como tal, sino que se circunscriben al ámbito experimental y a soluciones puntuales para problemas muy específicos. Los sistemas totalmente autónomos están en fase de investiga-

ción, debido a los grandes problemas de navegación que presentan los entornos no estructurados, como son los de una máquina de obras públicas. Las implicaciones de seguridad y los bajos rendimientos iniciales de estas máquinas (ya que al necesitar mucho procesado de información no son capaces de realizar el trabajo a la misma velocidad que un operario experto las aconsejan únicamente donde el trabajo con operarios es peligroso o difícil por tamaño o alcance.

Ejemplos de estas máquinas son:

- Robot para demolición en centrales nucleares. [14]
- Robots para inspección y trabajos en tuberías [15]
- Robots para inspección de túneles [TUNEL], [16]
- Robots para mantenimiento de estructuras y pavimentos. [17]

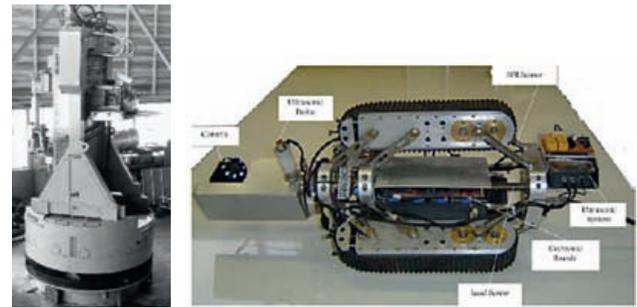


Figura 2 (izquierda). Robot para demolición de centrales nucleares.

Figura 3 (derecha). Robot para inspección de tuberías.

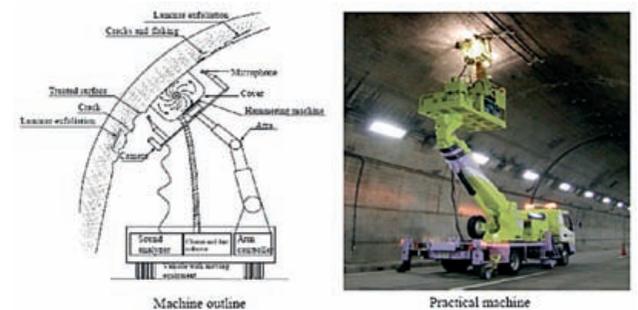


Figura 4. Robot para la reparación de paredes en túneles.

Montado sobre plataforma de camión.

Para la supervisión del estado de las paredes de túneles se han desarrollado sistemas basados en robots móviles con sensores de proximidad a la pared y de cámaras para visión artificial.

Ejemplos de esto son:

- Komatsu Engineering Corp utiliza escáner láser.
- Railway Technical Research Institute in Japan, utiliza cámaras.
- Road Ware Group en Canadá comercializa un sistema que a 80 Km/h captura imágenes con cámara CCD, sensores de ultrasonidos y giróscopos para la navegación [35].

El Departamento de ingeniería Mecánica de Seúl (Corea) ha desarrollado un programa que complementa a estos robots con algoritmos de detección automática de grietas basados en el procesamiento de imágenes digitales [18]. Un sistema similar al anterior basado en algoritmos de visión ha sido desarrollado para la detección de grietas en pavimento y control del sistema de reparación.

Un problema añadido surge cuando varias máquinas autónomas deben trabajar en un mismo espacio físico, como debería ser en una obra o construcción para mantener la productividad. Se está trabajando en soluciones basadas en tecnologías WEB inalámbricas. [19] y en arquitecturas para sistemas inteligentes autónomos [20].

2.2. SISTEMAS DE CONTROL SOBRE MÁQUINAS CONVENCIONALES

La adaptación de máquinas a la automatización supone un mayor interés para la industria de la maquinaria de obras públicas, por dos motivos principales:

- Se trabaja sobre máquinas ya conocidas, tanto para el fabricante, como para el usuario.
- Es más fácil delimitar el alcance de la automatización, incorporando de forma escalonada elementos que cada vez realizan las operaciones de forma más autónoma.

Se desarrollan modelos de la máquina en 3D [21], se incorporan sensores en las articulaciones y se incorporan los sistemas de tratamiento de la información y comunicaciones [30].

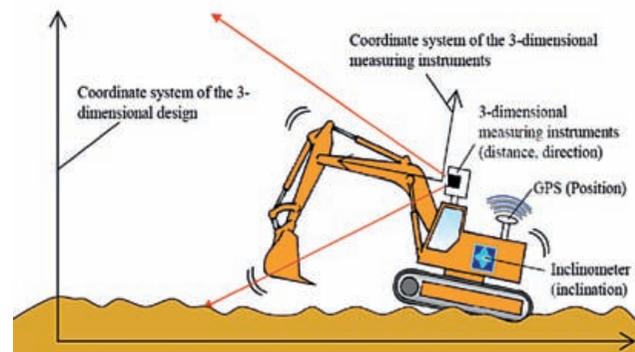
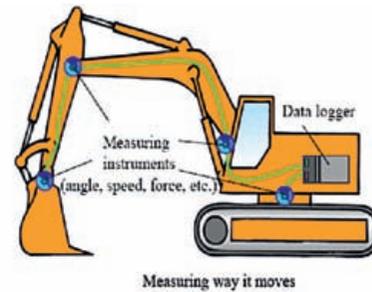


Figura 5. Robotización de una excavadora incorporando sensores en las articulaciones, medidas -D, inclinómetros y sistemas GPS.

2.3. CONTROL REMOTO

Otra adaptación es la incorporación de sistemas de control remoto son las máquinas teleoperadas. Estas permiten al operario situarse en una posición segura, además le permite obtener el mejor punto de vista para la realización de la operación y por último le evita estar sometido a las vibraciones que le transmitiría la máquina.

Estos sistemas están desarrollados para máquinas del tipo grúa, compactadores de hormigón y máquinas especiales para demoliciones, como las de Brokk [31] y otras marcas.



Figura 6. Equipos teleoperados para demolición de Brokk.



Figura 7. Excavadora teleoperada (izquierda) y visión remota del operario (derecha) en Japón [32].

2.4. SISTEMAS DE INFORMACIÓN AL OPERARIO

Estos sistemas indican al operario como está realizando el trabajo, tanto desde un punto de vista geográfico y geométrico, como sobre el avance del proceso, aportando información sobre la modificación de las propiedades de los materiales utilizados (grado de compactación) [22]

Así en el campo de la compactación, se monitorizan las trayectorias para registrar el número de pasadas del compactador, tanto como ayuda al operario, como para gestionar la obra, se utilizan sistemas GPS, LASER y comunicaciones inalámbricas. [19].

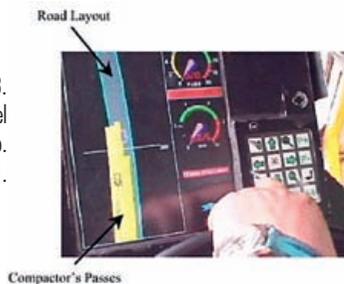


Figura 8. Interface para compactación, en el que se indica el trabajo realizado. Proyecto CIRCOM, Brite Euram [39].



Figura 9. Avanzado sistema de control de máquina excavadora, llamado GEOROG [42].

Para un control más eficaz se trabaja en sistemas que integran tanto el terreno, como la máquina, llamándose a esta tecnología: "geomecatrónica" [23], permitiendo así sistema de control integral adaptados al entorno. En algunos se monitoriza de forma continua el estado del proceso de compactación de suelos en base a frecuencia de vibraciones, amplitud de los esfuerzos y la velocidad de avance. [22]

2.5. ESTADO DEL USO A NIVEL NACIONAL, APLICACIONES EN MAQUINAS Y EMPRESAS DE REFERENCIA

A nivel nacional la automatización avanzada de máquinas no tiene el mismo nivel que se observa en maquinaria de Alemania, Estados Unidos [26] ó Japón.

El uso de las nuevas tecnologías comienza por la incorporación de electrónica (sistemas controlados por microprocesadores) y la incorporación de sistemas de sensores para monitorización o control de la máquina.

Empresas de nuevas tecnologías, dedicadas originalmente a las telecomunicaciones y sistemas de información, han diversificado su oferta con productos orientados al telecontrol de maquinaria de obra públicas.

2.6. ESTADO DEL USO A NIVEL INTERNACIONAL, APLICACIONES EN MÁQUINAS Y EMPRESAS DE REFERENCIA.

Los sistemas de posicionamiento y control de máquinas se han extendido a nivel internacional [28]:

- Excavadoras: Sistema sistemas de referencia láser y sistemas gravitacionales (posición y aceleración de partes móviles)
- Tractores-motoniveladoras: láser, ultrasonidos y escáner 3D, y tecnologías GPS.
- Pavimentadoras y extensoras: estaciones totales.
- Compactadoras: Se utilizan GPS diferenciales o GPS cinemáticos.

A nivel internacional encontramos una gran cantidad de productos destinados a la automatización de maquinaria, y muchas máquinas que incorporan estos elementos. Así tenemos:

- Sistemas de control de nivel por geolocalización en tiempo real, desarrollados por Caterpillar y Trimble, (CAE-SULTRA Y SITEVISION) unidas para el desarrollo de estos productos. Usan ordenadores embarcados, GPS y comunicaciones radio. Muestran al operario en donde está con respecto a la obra, por donde debe trabajar, que está hecho y que falta, y las zonas de peligro. La información se transmite a la oficina de ingeniería que procesa los datos y hace informes. Desde el 2000 grandes constructoras como McAninch lo han utilizado McAninch registrándose un incremento de 15 a 30% en la productividad.
- Sistemas que regulan la posición de las palas de una niveladora de acuerdo a una consigna determinada, con un sistema láser que mantiene a una distancia fija la cuchilla de nivelación del terreno. Se controla desde la cabina, actuando el sistema sobre la hidráulica del sistema (APACHE)
- En la nivelación de superficies hay equipos que miden la inclinación de la máquina para realización de pendientes ajustadas al proyecto. (FUTTURA)
- También sistema controlado por láser, regula posición y ángulo de pala para una consigna deseada (CATERPILLAR-TRIMBLE).
- Algunos productos recogen información sobre la máquina que es transmitida hasta una PDA, que puede llevar el encargo

de obra y a una central situada a centenares de metros. Se recogen datos de horas de funcionamiento, consumo de fuel, etc. Los datos pueden ser volcados a Internet (OEM CONTROL, QUALCOMM).

Sistemas para que la máquina genere un perfil determinado:

- Sistema que emite un haz láser en 360 grados y que es recibido por un sensor en la máquina ayuda a la igualación del terreno.
- Sistemas GPS o TPS (Total Position System) para ajustar trabajo de máquina a perfil digitalizado.
- Para excavadoras se está utilizando sistemas dobles que monitorizan la posición de los ejes de la pala y GPS para determinar la posición y orientación de la máquina. El sistema es abierto para integración de software de terceros (NOVARIANT).

Existen productos que realizan un control del proceso teniendo en cuenta el modelo de comportamiento del terreno, muy útil en la realización de cimentaciones profundas y en compactación: Así se han desarrollado sistemas para asfaltado con un sensor de densidad de asfalto, basado en tecnología de las micro-ondas en 2001 [25]. Existen sistemas que valoran la compactación a la vez que registra posición (HAMM). Otros han utilizado los armónicos de la frecuencia a la que vibra el cilindro del compactador. [24]

Como ejemplo de productos podemos ver los que ofrecen empresas punteras a nivel internacional en sistema de control de máquinas de obras pública, como CATERPILLAR [34] y TOPCON, que ofrecen una gran gama de productos basados en sistemas electrónicos, láser, comunicaciones inalámbricas y programas especiales para monitorización de máquinas, diagnóstico del trabajo, software para la gestión del proyecto y control de las máquinas. Ejemplos de productos:

- AccuGrade®: Sistema de control para máquina de nivelación de terrenos.
- Aquila Drill: Sistema de control para máquinas de perforación.
- CAESultra: Sistema computerizado de ayuda en aplicaciones de movimiento de tierras y minería.
- CAESbasic: Sistema de información de posición para control de pendientes y niveles.
- MineStar®: Sistema completo de gestión de proyectos de minería.

Los sensores internos y sistemas inteligentes embarcados ayudan al mantenimiento preventivo, que permite la detección de fallos prematura y por tanto disminuir los costes por avería al usuario o por garantía al fabricante. Caterpillar ofrece:

- VIMS: Vital Information Management System. Un sistema para asegurar la integridad de la máquina basado en el procesamiento de los datos obtenidos por los sensores internos.
- VIMS Supervisor: Software que acompaña al sistema anterior y que permite gestionar y documentar todo el proceso de mantenimiento.

Para excavadoras TOPCON ofrece productos avanzados para:

- Control de nivel mediante láser
- Sistemas para la medición de ángulos de cabina, articulaciones y pala, conectados en redes de BUSCAN.
- Sistemas duales de posición global GPS-GLONASS, preparados para GALILEO.
- Estaciones totales con control en 3D de maquinaria con GPS, o estaciones 2D por ultrasonidos y láser.

Para control del proceso de asfaltado, esta misma empresa ofrece productos tales como:

- Medidor de nivel por ultrasonidos (alturas de 35 cm), compensados por temperatura.
- Sistemas multisensor en BUSCAN o RS 485 que combinan medidas con láser y ultrasonidos.
- Estación GPS que integran información de sensores complementarios de ultrasonidos o inclinómetros.

También [37] se ha desarrollado un sistema de monitorización continua de cargas y posición en una grúa de torre, que aumenta la seguridad de la misma y permite indirectamente conocer el avance del trabajo.

Otras empresas que tienen productos de control avanzados para maquinaria son:

- Mikrofyn
- Spectra Precision
- Axiomatic BPS

- Gomaco
- Wirtgen
- Iko
- Prolec
- Novatron
- Plasser & Theurer
- Createc

3. TENDENCIAS A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL. IMPACTO DEL USO DE LAS MISMAS EN EL SECTOR

3.1. POSIBILIDAD DE USO (MÁQUINA Y APLICACIÓN)

La tendencia internacional es la de incorporar de forma cada vez más estándar de elementos de control e información sobre la máquina de obras públicas y construcción. A nivel nacional hay una preocupación por estas tecnologías, aunque el sector presenta una gran inercia. El impacto de estas tecnologías a nivel nacional será progresivo, hasta alcanzar los niveles internacionales. Se elegirán objetivos parciales de automatización que ayudarán a asimilar estas tecnologías y a aumentar su fiabilidad y confianza. Estos objetivos podrían ser:

- El control de los sistemas internos de la máquina para el ahorro energético o el aumento de rendimiento.
- Incorporación de sistemas de registro de datos, para la ayuda en la localización de averías, y para mantenimiento.
- Incorporación de sistemas que miden la calidad del trabajo desarrollado, capturando datos sobre el comportamiento de los materiales.
- Incorporación de sistemas de información al operario sobre el trabajo que realiza y su ajuste a lo previsto en el proyecto.
- Sustitución de controles eminentemente mecánicos o hidráulicos por otros eléctricos, dando paso a sistemas servocontrolados con mejora de su usabilidad.
- La teleoperación de máquinas por motivos de seguridad y confortabilidad del operario.
- Integración de sistemas de posicionamiento global y comunicaciones como ayuda a la gestión de grandes proyectos de obras públicas.
- Automatización de subtareas, siendo ejecutada la tarea principal por el operario.

3.2. DIFICULTAD DE IMPLEMENTACIÓN, NECESIDADES DE I+D+i PARA IMPLANTACIÓN EN EL SECTOR.

Las dificultades que se encuentran en la penetración de los sistemas de automatización en estas máquinas son las siguientes:

- A nivel de desarrollo: necesidad de incorporación en las empresas de técnicos expertos en estas tecnologías, ya que las empresas actuales son expertas en tecnologías llamadas tradicionales.
- De igual forma, las empresas dedicadas al mantenimiento deben modificar sus estructuras para poder responder a las nuevas necesidades.
- Problemas de encontrar operarios que puedan todo el partido a la información y posibilidades de la máquina.
- Aumento del coste de la máquina. Evidentemente la incorporación de sensores, sistemas de control y comunicaciones y de monitorización, suponen un aumento en el coste de la máquina, pero también en el valor de la misma y en sus capacidades. Si se logra transmitir esta información al comprador, el proceso de evolución será posible.

El I+D+i necesario para la incorporación de estos sistemas está totalmente relacionado con las nuevas tecnologías (GPS, LASER, SENSORES INTELIGENTES, REDES DE SENSORES, SISTEMAS DECISIONALES, SISTEMAS DE COMUNICACIONES, ETC.), lo que supone un campo de trabajo muy diferente al I+D tradicional de la maquinaria de obras públicas (materiales resistentes, recubrimientos, mecánica, etc.). Por esto es difícil para una empresa tradicional acceder al desarrollo de estas tecnologías. El modelo a seguir es el empleado por diversas empresas americanas consistente en la asociación tecnológica de empresas del sector de las nuevas tecnologías y del sector de la maquinaria de obras públicas. Un modelo es el de John Deere que se asoció a TOPCON para la incorporación en sus máquinas de sistemas de control automático de nivelación de tierras.

3.3. IMPACTO DE LA APLICACIÓN EN EL SECTOR, AVANCES Y MEJORAS QUE SE PUEDEN CONSEGUIR.

El impacto de la aplicación de las tecnologías de automatización en información en la maquinaria de obras públicas va a ser muy alto en el futuro, ya que con la incorporación de estas se consiguen los siguientes objetivos:

- Mejora de la productividad, al conseguir un mayor control sobre el proceso. Esto es un beneficio que las grandes empresas de construcción y obras públicas no pueden ignorar.
- Mejora en la seguridad y confortabilidad del operario. Impulsada tanto desde los movimientos obreros y desde las propias instituciones, con normativas cada vez más exigentes.
- Mejora en la calidad del trabajo, por la monitorización continua y las nuevas funcionalidades que pueden desarrollar las nuevas máquinas.

Las nuevas tecnologías en los productos actuales suponen la incorporación de un valor añadido para los mismos, pasando de productos basados en la transformación del metal, en tecnología de la información, y de ser grandes herramientas manuales, a instrumentos sofisticados.

Por otro lado, las empresas que dan el paso de incorporar sistemas basados en nuevas tecnologías también entran en la cultura de la innovación, lo que supone una ventaja competitiva para ella.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] LI, H. ET AL. (2005), "Application of integrated GPS and GIS technology for reducing construction waste and improving construction efficiency" en *Automation in Construction* No. 14: pp. 323–331. Elsevier Science Publishers, Amsterdam
- [2] UUSISALO, J., VILENIUS, J., KROGERUS, T., KARHU, O., HUHTALA, K. (2005). "Automated Bucket Stabilizer for Hydraulic Mobile Machine", 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC 2005 - Ferrara (Italy)
- [3] YANG, J. ET AL. (2003), "A computational intelligent fuzzy model approach for excavator cycle time simulation", en. *Automation in Construction* No. 12: pp. 725–735. Elsevier Science Publishers, Amsterdam
- [4] SOTOODEH, H., PAULSON, B.C. (1989), "Sensors and expert systems in production optimization of earthmoving scrapers", *Proceedings of Sixth Conference on Computing in Civil Engineering*, ASCE, Reston, VA, pp. 303–312.
- [5] NAVON, R. (2005), "Automated project performance control of construction projects", en *Automation in Construction*, No 14: pp.467–476 Elsevier Science Publishers, Amsterdam
- [6] HEIKKILÄ, R., JAAKKOLA, M. (2005), "Towards Automated Total Process in Road Construction", 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2005, Ferrara, Italy.
- [7] HEIKKILÄ, R., JAAKKOLA, M. (2006), "Automation of road construction – the state of the art in Europe". 23th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. ISARC 2006.
- [8] ACKROYD, N. (1998) "Earthworks scheduling and monitoring using GPS", *Proceedings of Trimble Users Conference*, San Jose Convention Center, CA,
- [9] LEE, J.-H. ET AL. (2006), "The development of a machine vision-assisted, teleoperated pavement crack sealer", en *Automation in Construction* No. 15: pp. 616–626. Elsevier Science Publishers, Amsterdam
- [10] NAVON R. (2006). "Present status and future prospects of automated project performance indicators' measurement". 23th International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC 2006.
- [11] MINCHIN R., THOMAS, H. (2003). "Validation of vibration-based on board asphalt density measuring system", *ASCE, Journal of Construction Engineering and Management* No. 129 (1) pp. 1–7.
- [12] KRISHNAMURTHY, B., TSERNG, H., SCHMITT, R., RUSSELL, J., BAHIA, H., HANNA, A. (1998), "AutoPave: towards an automated paving system for asphalt pavement compaction operations", en *Automation in Construction* 8 (2) pp. 165–180. Elsevier Science Publishers, Amsterdam
- [13] LYTLE A. ET AL. (2004), "Adapting a teleoperated device for autonomous control using three-dimensional positioning sensors: experiences with the NIST RoboCrane", en *Automation in Construction* No. 13: pp. 101–118. Elsevier Science Publishers, Amsterdam
- [14] SEWARD, D., BAKARI M. (2005), "The Use of Robotics and Automation in Nuclear Decommissioning", 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC 2005. Ferrara (Italy)
- [15] MOGHADDAM, M., HADI, A. (2005), "Control and Guidance of a Pipe Inspection Crawler", 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC 2005, Ferrara (Italy)
- [16] MASHIMO, H., ISHIMURA, T. (2006), "State of the art and future prospect of maintenance and operation of road tunnel", 23th International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC 2006.
- [17]. YU, S-N. ET AL. (2007), "Auto inspection system using a mobile robot for detecting concrete cracks in a tunnel" en *Automation in Construction* 16 (2007) pp. 255–261. Elsevier Science Publishers, Amsterdam
- [18] TAMOTSU, T., OGASAWARA, T., KANAZAWA, T., FUJISHIMA T., KOBAYASHI K. (2006), "Construction management using position measuring technology of construction equipment in paving work". 23th International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC 2006.
- [19] OLOUFA, A., IKEDA, M., ODA, H. (2003), "Situational awareness of construction equipment using GPS wireless and web technologies", en *Automation in Construction* 12 (6) pp. 737–748. Elsevier Science Publishers, Amsterdam
- [20] AGATE, R., PACE, C. (2006), "Control architecture characteristics for intelligence autonomous mobile construction robots". 23th International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC 2006.
- [21] MAKKONEN, T., NEVALA, K., HEIKKILÄ, R. (2006), "A 3D model based control of an excavator", en *Automation in Construction*, No 15: pp 571-577, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

- [22] RINEHART, R., MOONEY M. (2007), "Instrumentation of a roller compactor to monitor vibration behavior during earthwork compaction" en *Automation in Construction* en prensa. Elsevier Science Publishers, Amsterdam
- [23] TATEYAMA, K. ET AL. (2006), "Geomechanics: Interaction between ground and construction machinery and its application to construction robotics", en *Journal of Terramechanics* No. 43: pp. 341–353. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [24] THURNER, H., SANDSTROM A. (2000), "Continuous Compaction Control, CCC", *European Workshop Compaction of Soils and Granular Materials*, Presses Ponts et Chaussées, Paris, France, pp. 237–246.
- [25] JASELSKIS, E., HAN H., GRIGAS, J. (2001), "Status of roller mountable microwave asphalt pavement density sensor" en *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE No. 127 (1) pp. 46–52.
- [26] HAAS, C., SAIDI, K. (2005), "Construction Automation in North America". 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC 2005. Ferrara (Italy)
- [27] BUDNY, E. ET AL. (2003), "Load-independent control of a hydraulic excavator" en *Automation in Construction* No. 12: pp. 245–254. Elsevier Science Publishers, Amsterdam
- [29] BALLESTER, F., CASTRO, D. (2000), "Los sistemas de control para maquinaria de movimiento de tierras" en *Revista de obras públicas* No 3402. pp. 49-56.
- [30] YAMAMOTO, H., UESAKA, K. (2006). "Introduction to the general technology development project: research and development of advanced execution technology by remote control robot and information technology" 23th International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC 2006.
- [31] http://www.brokk.com/indexisar%20engelska/index_produkter.htm
- [32] ARAIR, T. (2006) "Robotics and Automation in Japanese Construction Industries"
- [33] <http://www.trimble.com/mgis.shtml> <http://www.trimble.com/sitevision.html>
- [34] http://www.cat.com/products/shared/technology_products/01_products/_products_caesultra.html
- [35] <http://www.roadware.ca>.
- [36] <http://www.epa.gov/region5fields/htm/methods/gps/> <http://www.epa.gov/region5fields/htm/methods/gis/>
- [37] http://www.potain.com/products/prdRange_home.cfm?objectID=0001A406-758C-1ABFB59480F03BE70000
- [38] www.topcon.com
- [39] http://cordis.europa.eu/data/RESU_BRITE/ACTIONeqDndSESSIONeq23864200598ndDOCeq119ndTBLeqEN_RESU.htm
- [40] BUICK R., (2007) "RTK base station networks driven adoption of gps automated steering among crop growers". White Paper en www.trimble.com
- [41] <http://www.cartif.es/robot/movilproj.php?resH=1280>
- [42] <http://www.sbg.se/products/georog.html>
- [43] <http://www.darpa.mil/grandchallenge/overview.asp>
- [44] <http://www.isobus.net>

FABRICANTES DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y CONTROL CITADOS:

QUALCOMM 5775 Morehouse Dr. San Diego CA 92121-1714

Caterpillar Inc. 100 N.E. Adams St. Peoria IL 61629-6335

Navman USA Inc 150 N. Field Dr. Lake Forest IL 60045

Trimble 5475 Kellenburger Rd. Dayton OH 45424

Trimble 5475 Kellenburger Rd. Dayton OH 45424

Leica Geosystems Inc. 5051 Peachtree Corners Circle, Ste. 250 Norcross GA 30092

SOKKIA Corporation 16900 W. 118th Terr. Olathe KS 66061

Topcon Positioning Systems 7400 National Dr. Livermore CA 94551

5.13. Sistemas de reducción de ruido y vibraciones en maquinaria de construcción y obras públicas

Carlos Bernad, Juan José Sánchez

Departamento de Análisis Numérico/NVH-CAE, Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)

1. ELEMENTOS BÁSICOS DE LA TECNOLOGÍA

1.1. INTRODUCCIÓN

Debido a las características de trabajo exigidas a la maquinaria de obra pública, la generación de elevados niveles de ruido y vibraciones es habitualmente algo intrínseco al funcionamiento de la propia máquina. Estos elevados niveles tienen dos efectos negativos. Por un lado, el operario de la máquina sufre un elevado disconfort, que tiene consecuencias como el aumento de la fatiga y por lo tanto la reducción de la seguridad laboral o puede ser la causa de enfermedades profesionales que obliguen a reducir las horas de uso al día del producto (y por lo tanto la productividad del mismo). Por otro lado, los trabajos en la vía pública con este tipo de maquinaria son una causa importante de contaminación acústica en su entorno, tema que la sociedad actual cada vez considera de mayor importancia. Esto ha provocado que la normativa y el mercado se esté haciendo cada vez más exigente en ambos aspectos, obligando a los fabricantes a dedicar una mayor atención al ruido y las vibraciones.

Aún teniendo un origen similar, y muy a menudo común (excepto en los ruidos aerodinámicos), el ruido y las vibraciones son dos problemáticas que se han tratado de manera separada por la normativa, principalmente debido a la distinta percepción que se tiene de ellos. En realidad, desde el punto de vista de su tratamiento y reducción, las principales diferencias entre ruido y vibraciones provienen de los distintos rangos de frecuencia (0.1 Hz - 80 Hz en vibraciones y 20 Hz - 20 kHz en ruido) y la diferente importancia de los mecanismos y caminos de transmisión (la transmisión aérea es muchas veces dominante en ruido y es inexistente en vibraciones).

El planteamiento de soluciones para la reducción de ruido y vibraciones habitualmente pasa por reducir la generación del problema en la propia fuente, o bien si esto no es posible por reducir su transmisión hasta el receptor. Como ya se ha comentado al principio de esta introducción, la generación suele ir ligada al funcionamiento de la máquina y puede ser muy específica de cada tipo de máquina, por lo que no existen soluciones genéricas y la reducción de la generación puede causar una pérdida de funcionalidad del producto que hace inviable su aplicación. Por el contrario, los caminos de transmisión suelen tener mecanismos comunes para muchas tipologías de maquinaria de obra pública, por lo que el presente estado del arte se ha centrado en las tecnologías disponibles para reducir la transmisión de vibraciones y ruido. Se ha dejado expresamente fuera del alcance del documento la reducción en los propios receptores mediante la aplicación de cascos o taponos, ya que esa opción puede ser una recomendación del fabricante, pero no atañe al diseño de la máquina en sí misma.

1.2. TECNOLOGÍA

Las distintas tecnologías existentes en la actualidad para la reducción de la transmisión y radiación de ruido y vibraciones se presentan en este apartado divididas según su objetivo, es decir, reducción de vibraciones o reducción de ruido (aunque algunas de las soluciones son efectivas en ambos aspectos) y según el tipo de tecnología (tradicional o nueva).

1.2. VIBRACIONES

1.2.1. Tecnologías tradicionales

Tradicionalmente, la reducción en la transmisión de vibraciones, se consigue mediante la aplicación de uno de los siguientes métodos:

- Acoplamientos elásticos.

Se basan en el desacoplamiento de grados de libertad entre distintos componentes provocado por la introducción de un elemento de baja rigidez. Se busca obtener un sistema con una frecuencia natural muy por debajo de la frecuencia de las fuerzas dinámicas de excitación. De esta forma se pueden conseguir reducciones muy importantes de las fuerzas dinámicas transmitidas. Habitualmente el elemento elástico suele ser de materiales tipo caucho, para añadir al mismo tiempo amortiguamiento (su efecto se trata en el punto siguiente). La mayor limitación de utilizar elementos elásticos como filtro es que el sistema se puede volver muy inestable cuando la frecuencia de la excitación baja (por ejemplo durante una arrancada) y que para conseguir frecuencias naturales muy bajas hay que reducir excesivamente la rigidez, poniendo en peligro la estabilidad del sistema (por ejemplo frente a vuelco o frente a impactos), por lo que su utilidad suele estar restringida a rangos de frecuencia medios (superiores a 10 Hz). Se encuadran dentro de este método los silent-blocks para el montaje de motores, compresores, etc.

- Amortiguación.

Se basan en la reducción de la amplitud de la respuesta dinámica de un sistema conseguida mediante la introducción de una disipación viscosa entre las partes a aislar, habitualmente utilizando para ello el paso de fluidos por orificios. Son de especial utilidad en rangos de frecuencia muy bajos (< 3 Hz), donde no es factible desacoplar partes introduciendo únicamente un elemento elástico por entrar en conflicto con otros requerimientos funcionales. Un ejemplo clásico de aplicación serían las suspensiones de vehículos, que basa la reducción de vibración en este tipo de elementos y tienen un compromiso entre estabilidad y confort o la utilización en lavadoras, donde al

existir varias frecuencias de excitación se utiliza de forma combinada acoplamiento elástico para las frecuencias medias y amortiguadores para las bajas. Este tipo de elementos tiene problemas de funcionamiento a velocidades muy bajas donde el fluido no ejerce casi resistencia o a altas, donde se vuelve excesivamente rígido.

- Amortiguación ajustada (Tuned Dampers).

Esta técnica se basa en añadir a la parte en la que se pretende reducir las vibraciones una masa unida mediante un elemento elástico y amortiguador (normalmente un elastómero) cuya frecuencia natural coincida con la frecuencia de excitación. De esta forma, la energía vibratoria fluye hacia este nuevo sistema donde se disipa de forma más eficiente, reduciendo la respuesta en la parte principal. Esta solución es muy efectiva a la frecuencia para la que se diseña, pero totalmente ineficientes en el resto del espectro. Un ejemplo clásico de aplicación es la reducción de las vibraciones al ralentí de las barras de dirección de automóviles.

1.2.1. Nuevas tecnologías

Las nuevas tecnologías para la reducción de la transmisión de vibraciones, se pueden agrupar como técnicas semiactivas o activas. Los dos tipos de dispositivos tienen una característica común que es la necesidad de un sensor y una fuente de energía externa, y las activas se diferencian porque actúan sobre el sistema introduciendo nuevas fuerzas dinámicas.

- Materiales adaptativos o inteligentes (control semiactivo).

El gran esfuerzo investigador en el desarrollo de nuevos materiales y en la búsqueda de nuevas aplicaciones de los mismos está permitiendo que las tecnologías tradicionales de aislamiento de vibraciones presentadas en el punto anterior evolucionen, con lo que se denomina materiales adaptativos o inteligentes (materiales reológicos).

Estas tecnologías se basan en la utilización de sensores para analizar la situación de trabajo y en la modificación controlada mediante la aplicación de campos magnéticos o eléctricos de las propiedades de los elementos aislantes para que se adap-

ten a las necesidades detectadas de forma "inteligente". De esta forma, se pueden conseguir acoplamientos elásticos y amortiguadores que pierdan rigidez cuando tengan que aislar frecuencias bajas, pero que se rigidicen cuando sea necesaria una mejor estabilidad, tuned dampers que siempre estén adaptados a la frecuencia de trabajo, o amortiguadores que solo amortigüen cuando sea necesario, eliminando o reduciendo las limitaciones que tienen los elementos tradicionales.

En la actualidad, los materiales reológicos están en fase de investigación, todavía lejos de su aplicación industrial. Por el contrario, los fluidos reológicos están disponibles comercialmente y presentes en diversos productos.

Hay que distinguir entre los fluidos magneto-reológicos y los fluidos electro-reológicos (en función del tipo de campo a aplicar). Los primeros permiten rangos de fuerza mucho mayores, mientras los segundos tiene como ventajas un menor consumo y la posibilidad de ser de dimensiones reducidas (aplicaciones como pantallas táctiles y dispositivos médicos).

Los fluidos magneto-reológicos (ver patentes de [130] a [169], pertenecientes a Lord [173]) se están utilizando principalmente en el desarrollo de sistemas de suspensión y amortiguadores avanzados, debido principalmente a su capacidad de introducir alta fuerza disipativa a baja velocidad (limitación de los tradicionales), a su elevado rango dinámico (ratio fuerza máxima/fuerza mínima) y a su capacidad de ajuste en rangos de hasta 100 Hz.

Se enumeran y presentan a continuación algunas aplicaciones en distintos sectores industriales:

- Automoción: en amortiguadores de suspensiones (p.ej. 2002 Cadillac Seville STS del 2002 y Chevrolet Corvette del 2003), en sistemas de crash, en botoneras, sistemas de cerradura, embragues, sistemas de dirección por cables (steer by wire).
- Industria militar y defensa: amortiguadores y suspensiones, en sistemas de crash, embragues, suspensiones de asientos, pantallas táctiles
- Vehículos especiales, para la construcción y para la agricultura: al igual que en automoción pero con el uso también de suspensiones para cabinas y para asientos

- Ingeniería civil: la protección de edificios frente a seísmos y en el amortiguamiento de cables de puente
- Industrial: en lavadoras

A partir de la búsqueda en diferentes bases de datos electrónicas como Elsevier, ISI web of knowledge (ref. de [189] a [193]) se han encontrado diferentes artículos que tratan sobre este tipo de materiales y aplicaciones en el campo de la reducción de vibraciones: [194], [195], [196], [197], [198], [199], [200], [203].

- Control activo de vibración.

Esta tecnología se basa en la introducción de fuerzas dinámicas de forma que interfieran y eliminen o reduzcan las vibraciones no deseadas. Para ello es necesario disponer de sensores que permitan conocer la respuesta, sistemas de procesado de señal y actuadores, todo ello controlado en tiempo real. La aplicación principal es para la reducción de vibraciones con componentes tonales muy marcadas y habitualmente deben combinarse con otras medidas tradicionales para aumentar su eficacia.

La introducción de este tipo de control de vibración es capaz de conseguir reducciones netamente superiores a las técnicas tradicionales y semiactivas, principalmente en los rangos de frecuencia bajos, pero a pesar de que los sistemas micro-electro-mecánicos y los materiales piezoeléctricos están consiguiendo reducir el tamaño y el precio de sensores y actuadores, este tipo de control está todavía en fase de desarrollo, y su coste es muy elevado frente a los sistemas tradicionales. De esta forma se están introduciendo principalmente en aeronáutica (aviones, helicópteros, satélites) y en instrumentos de alta precisión.

Cabe destacar la existencia de asientos específicamente pensados para maquinaria de obra pública y maquinaria agrícola que utilizan técnicas de control activo o semiactivo – artículos [194], [204]. Estas aplicaciones se detallarán en el apartado 2 del documento.

De forma frecuente, el objetivo final del control activo de vibración es una reducción del ruido, donde la eliminación de las bajas frecuencias por métodos tradicionales resulta muy problemática. En el apartado de control activo de ruido se presentan

ejemplos de aplicación, que también podrían considerarse como controles activos de vibración. Referencias de control activo de vibración son [194], [202] y [204].

1.2.2. Ruido

1.2.2.1. Tecnologías tradicionales

En la reducción de ruido, son de aplicación habitual las técnicas de aislamiento de vibraciones comentadas previamente, siempre que la transmisión estructural del ruido sea dominante. Dado que ya se han comentado específicamente en el apartado de vibraciones, no se presentan en este punto.

Este apartado se centra en las técnicas que se ocupan de reducir la transmisión del ruido transmitido por vía aérea. Aunque se pueden agrupar de diversas maneras, en este análisis se han dividido en función del mecanismo físico de reducción. En las aplicaciones prácticas, normalmente se combinan dos o más mecanismos al mismo tiempo para mejorar la efectividad.

- Aislamiento

El aislamiento es el mecanismo básico de reducción de ruido en transmisión aérea. Las ondas sonoras pierden gran cantidad de energía al atravesar un elemento sólido y por lo tanto se reduce la transmisión. De forma habitual, las soluciones basadas en aislamiento adoptan formas de cerramientos o de pantallas.

El aislamiento acústico de paneles, es muy dependiente de la frecuencia no sólo por las diferencias en las longitudes de onda acústica, sino por el tipo de vibración inducido en el panel por el ruido incidente. De esta forma, se pueden distinguir distintas zonas en el espectro de frecuencia. No se especifica el rango ya que el concepto baja o alta frecuencia depende del tamaño del panel y de la relación rigidez a flexión / peso, y por lo tanto es relativo.

En la zona de muy baja frecuencia, la rigidez es la que controla el aislamiento, aunque esta zona suele quedar fuera del rango de interés. En la zona de frecuencias bajas suele haber respuesta resonante y por lo tanto el amortiguamiento del material es crítico en la valoración del aislamiento. En las frecuencias medias,

el parámetro fundamental es la masa y en la zona de altas frecuencias, a partir de la frecuencia de coincidencia, el amortiguamiento vuelve a ser clave.

En gran parte de las aplicaciones, conseguir buen aislamiento obliga a introducir elementos muy pesados y a ser posible de alto amortiguamiento, lo cual no suele ser deseable por problemas de rigidez, espacio y peso. A esto hay que añadir que la mayor parte de los elementos que causan ruido aéreo en maquinaria son además de fuentes de ruido fuentes de calor, por lo que necesitan ventilación, pudiendo reducir de manera drástica la efectividad de un cerramiento y necesitando otros sistemas de aislamiento en las ventilaciones (absorción o filtros acústicos).

- Absorción

Las ondas sonoras pierden energía al atravesar un medio poroso. Si este medio se coloca en una superficie rígida, el efecto que se consigue es una reducción de la energía de la onda reflejada. Este principio se utiliza para reducir el nivel de ruido en el interior de recintos, ya que, por ejemplo, el ruido percibido en el interior de un habitáculo puede ser entre 5 y 10 dB mayor del que causaría la misma fuente sonora en un espacio abierto debido a la contribución del campo reverberante provocado por las reflexiones en las paredes del recinto. Los tratamientos absorbentes tienen por objeto reducir al máximo la contribución del campo reverberante

Es muy común la utilización combinada de la absorción con el aislamiento, bien sea utilizando un recubrimiento absorbente en la pared interior del cerramiento o en las aberturas de ventilación de los mismos.

El comportamiento de los materiales absorbentes es muy dependiente de la frecuencia, y su efecto es prácticamente despreciable en la parte baja del espectro.

Un caso particular de absorción es la utilización de resonadores de Helmholtz que puede aumentar de forma significativa la absorción a frecuencias bajas-medias. Se basan en el mismo concepto que los "tuned damper" pero en su analogía acústica la rigidez se convierte en un tubo de aire, la masa en un volumen de aire y el amortiguamiento en un material poroso. Con

este tipo de dispositivos, se consiguen absorciones muy elevadas a una frecuencia concreta pero su efecto es prácticamente nulo en el resto del espectro frecuencial.

- Filtros acústicos

Estos sistemas de reducción de ruido se basan en la reflexión que sufre una onda acústica cuando se encuentra con un cambio de impedancia en el medio en el que se transmite. Este tipo de dispositivos, se utiliza habitualmente para reducir la transmisión en conductos de ventilación o escape, y se traduce en un cambio brusco de sección. Se suelen combinar con tratamientos absorbentes y se conocen como silenciosos.

1.2.2.2. Nuevas tecnologías

Las nuevas tecnologías se han dividido en dos grupos muy diferenciados, por un lado las posibilidades que ofrecen en este campo los nuevos materiales y las soluciones de control activo.

- Nuevos materiales con propiedades mejoradas.

La mejora continua en el desarrollo de nuevos materiales poliméricos y aleaciones metálicas, tiene aplicación en el campo de la reducción de ruido y vibraciones. Básicamente, sus posibilidades provienen de las mejoras que se pueden conseguir en las propiedades mecánicas del material, principalmente elevados amortiguamientos compatibles con una buena rigidez y resistencia. Se presentan en el apartado de ruido ya que aunque pueden tener aplicación para la reducción de vibraciones, su efectividad es mucho más elevada en rangos de frecuencia medios, altos, y por lo tanto en el campo de la acústica. La utilización de un material con alto amortiguamiento provoca que las amplitudes de vibración de los paneles en los rangos de frecuencia medio se reduzca notablemente, y por lo tanto la cantidad de ruido radiado.

Entre estos nuevos materiales se encuentran los siguientes:

- Materiales compuestos: el gran desarrollo de este tipo de materiales que están integrados por una matriz orgánica termoestable o termoplástica, en la que se integran fibras cortas, largas o continuas de otros materiales también tiene aplicación

en la reducción de ruido y vibraciones. Actualmente se está realizando investigación básica relacionada con el estudio y descripción de las propiedades de estos materiales y en el desarrollo modelado y fabricación de nuevos materiales compuestos para su aplicación en el control de vibraciones.

- Metales de alto amortiguamiento [176]: metales que combinan alto amortiguamiento interno con alta rigidez. Los mecanismos de disipación que utilizan son variados y se presentan en la Tabla 1.

TIPO	MECANISMO DE AMORTIGUAMIENTO	ALEACIÓN	EJEMPLO
COMPOSITES NATURALES	Flujo viscoso o plástico a través de las fronteras de fase entre la matriz y la segunda fase.	Fe-C-Si Al-Zn	Gray cast iron, Rolled nodular iron
ALEACIONES FERROMAGNÉTICAS	Histéresis estática magneto-mecánica debida a movimientos irreversibles de las paredes del dominio ferromagnético.	Fe and Ni Fe-Cr Fe-Cr-Al Fe or Ni alloys Co-Ni-Ti	T.D. Nickel 12 % Cr-steel Silentalloy Gentalloy, Vacrosil NTVCO
ALEACIONES BASADAS EN AMORTIGUAMIENTO POR DISLOCACIÓN	Histéresis estática debida al movimiento de dislocación de lazos, rompiendo lejos del punto de giro.	Mg Mg-O,6 % Zr Mg-Mg2Ni	KIXI-alloy
ALEACIONES CON FRONTERAS DE FASE GEMELAS Y MOVILES	Movimiento entre fronteras gemelas martensita-martensita y martensita-matriz.	Mn-Cu Mn-Cu-Al Cu-Zr-Al Cu-Al-Ni Ti-Ni Co-Fe	Sonoston Incrumute Proteus Nitinol

Tabla 1. Clasificación de los metales de alto amortiguamiento.

- Materiales estrictivos: Este tipo de materiales se caracteriza por sufrir una deformación ante la presencia de un campo magnético o eléctrico exterior y, de la misma forma, son capaces de convertir la deformación en campos magnéticos o eléctricos (materiales magnetostrictivos y electrostrictivos) introduciendo nuevos mecanismos de disipación de la energía vibratoria. Son capaces de soportar fuerzas elevadas manteniendo buenos niveles de amortiguamiento por lo que puede mejorar las características de bushings fabricados con materiales tradicionales. Además, también pueden utilizarse como sensores o como actuadores. Su principal problema técnico es la importante variación de su comportamiento frente a la temperatura. Están todavía en fase de investigación y tienen un coste económico muy elevado.

- Control activo de ruido.

El control activo de ruido es una técnica que se basa en la emisión mediante una fuente de ruido secundaria de una onda acústica en contrafase con la principal, de forma que interfiere con la señal de ruido eliminando o reduciendo su amplitud. De forma análoga al control activo de vibraciones, requieren la disposición de micrófonos, tratamiento de señal en tiempo real, un controlador y un emisor acústico.

La realización de una cancelación efectiva es muy complicada en la práctica excepto en los casos en los que el ruido tiene componentes tonales muy marcadas y en rangos de frecuencia por debajo de 500 Hz. A este hecho hay que añadir que son soluciones muy localizadas en el espacio, es decir, pueden ser muy efectivas en el punto de control pero llegar a ser muy perjudiciales en otros puntos, por lo que es necesario tener muy localizados a los potenciales receptores del ruido.

En general, son sistemas complejos que están todavía en fase de investigación (ref. [201]) y su utilidad se prevé solo en aplicaciones con niveles muy altos en la zona de baja frecuencia, donde los métodos pasivos son muy ineficientes y combinado siempre con un tratamiento tradicional.

Las líneas de trabajo e investigación actuales más importantes en el control activo de vibración y de ruido son las siguientes (se presentan en este apartado de forma conjunta):

1. Control del ruido en el interior de un avión mediante el uso de fuentes de vibración ligeras en el fuselaje y fuentes sonoras dentro del fuselaje
2. Reducción del ruido en la cabina de un helicóptero mediante el aislamiento activo de vibración del rotor y la caja de cambios de la cabina.
3. Reducción del ruido de barcos y submarinos por aislamiento activo de vibraciones de la maquinaria con bushings (usando elementos activos en paralelo con pasivos)
4. Reducción del ruido de motor de combustión mediante el uso de fuentes acústicas en la salida de gases
5. Reducción sonido de baja frecuencia de fuentes industriales mediante el uso de fuentes acústicas de control.
6. Control de ruido tonal radiado por turbomáquinas (incluye motores de aviones)
7. Reducción ruido de baja frecuencia en sistemas de aire acondicionado.
8. Reducción de ruido en transformadores eléctricos mediante el uso de una piel secundaria rodeando al transformador y excitada por fuentes de vibración o mediante fuentes de vibración directamente al transformador., Se investiga el uso de fuentes de control acústicas pero de momento se necesitan muchas
9. Reducción de ruido en el interior de automóviles mediante el uso de fuentes acústicas dentro de la cabina y actuadores de vibración en los paneles.

Aunque se está estudiando en muchos campos, los resultados más exitosos en control activo de ruido se dan para espacios cerrados tales como conductos, cabinas, salidas de gases de escape y cascos de protección acústica.

1.3 REFERENTES TECNOLÓGICOS

Universidades / Centros tecnológicos:

- Instituto de Acústica del CSIC
- Virginia Polytechnic Institute and State University Department of Mechanical Engineering
- Institute of Noise Control Engineering of USA
- Institute of Sound and Vibration Research. University of Southampton UK
- Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail Canada
- National Institute for Occupational Safety and Health USA
- Inha University Smart Structures & Syst Laboratory Corea del Sur
- Katholieke University Leuven, Laboratory Agro Machinery

Empresas:

- Caterpillar
- John Deere
- Komatsu
- Lord Corporation
- Sears Seating

- Bostrom Seating
- EADS
- Boeing
- AMT (Advanced Materials and Technologies)
- Katholieke University Leuven, Laboratory Agro Machinery

Más información sobre los siguientes organismos referentes tecnológicos en ruido y vibración se puede encontrar en la parte de referencias desde la referencia [170] a la [186].

2. ESTADO ACTUAL EN EL SECTOR DE MOP

2.1. SECTOR NACIONAL MOP

Dentro del sector nacional de maquinaria de obra pública, en la actualidad se siguen utilizando, tanto en el campo del ruido como en el de las vibraciones, soluciones de tipo pasivo (tradicionales), y la penetración de las técnicas que hemos denominado nuevas tecnologías se puede considerar inexistente.

Sin analizar de forma exhaustiva las aplicaciones, para el aislamiento de elementos ruidosos (como por ejemplo compresores y motores) se utilizan fundamentalmente cerramientos con tratamientos absorbentes en el interior y en las entradas de ventilación, así como silenciosos en los escapes. También está extendida la utilización de tratamientos absorbentes en el interior de las cabinas y habitáculos para reducir los niveles soportados por el operario.

En cuanto a vibraciones, la práctica totalidad de las aplicaciones utilizan apoyos elásticos con materiales de tipo caucho o caucho-metal para el montaje de equipos con altos niveles de vibración. También está muy extendida la utilización de amortiguadores para aplicaciones donde es necesaria alta amortiguación a baja frecuencia con cargas elevadas (fundamentalmente en suspensiones o similares). Son bastante más reducidos los ejemplos de amortiguación ajustada o la incorporación de elementos elásticos basados en aire para mejorar la efectividad en baja frecuencia.

De forma más detallada se presentan aplicaciones habituales de control de ruido y vibraciones en varios tipos de máquina:

- *Martillos hidráulicos / neumáticos*.- Reducción de vibración mediante la utilización de elementos elásticos o desacoplamientos entre el cuerpo principal y la empuñadura.
- *Máquinas de compactación ligera (pisones y bandejas)*.- Reducción de vibración mediante empuñaduras desacopladas elásticamente y/o con amortiguadores adicionales. Reducción de ruido mediante selección de motores con niveles de emisión más bajos y diseño de encapsulamientos y apantallamientos.
- *Reglas vibrantes*.- Reducción de vibraciones mediante aislamiento en etapas regla/bastidor – bastidor/empuñadura y reducción de amplitud en modos de vibración. Reducción de ruido mediante selección de motores de emisión acústica más baja.
- *Cortadoras*.- Reducción de ruido mediante apantallamiento y montaje de motores sobre acoplamientos elásticos.
- *Compactadores pesados*.- Aislamiento de vibraciones en etapas, rulo/brazo – chasis/cabina – cabina/asiento. Reducción de ruido interior mediante acoplamientos elásticos en el motor y los grupos hidráulicos y tratamientos absorbentes en cabina. Reducción de ruido exterior mediante escapes con silenciosos y encapsulamientos ventilados.
- *Dumpers multiservicio*.- Reducción de vibraciones mediante elementos de suspensión y asientos con montaje elástico o con colchón neumático. Montaje elástico de los elementos del sistema hidráulico. Reducción de ruido mediante cerramientos del motor y silenciosos.
- *Máquinas de movimiento de tierra*.- Similares a los dumpers multiservicio.
- *Máquinas sobre camión (hormigoneras, grúas, bombas de hormigón)*.- Reducción de vibraciones mediante sistemas de suspensión-amortiguadores, asientos con montajes aislantes, montaje de elementos móviles, motores y grupos hidráulicos sobre apoyos elásticos. Reducción de ruido mediante acondicionamiento acústico de la cabina.

2.2. SECTOR INTERNACIONAL MOP

En el entorno internacional, hay empresas del sector de maquinaria de obra pública que ya están introduciendo en algunos de sus productos de alta gama sistemas de control activo y semiac-tivo en vibraciones, como puede ser el caso de Caterpillar y John Deere (Figuras 1y 2) con el diseño de asientos que incorporan estas tecnologías.

Los asientos, que habían ido evolucionando de montajes rígidos a montajes elásticos y posteriormente a suspensiones basadas en aire, dan ahora un paso más y son el componente pionero dentro del sector.



Figura 1. Asiento.

Los sistemas semiactivos incorporados en asientos están basados en la utilización de fluidos magnetoreológicos (Figuras 1 y 2) en amortiguadores. La ventaja principal es que permite reducir la rigidez del montaje del conjunto pero limitando los desplazamientos máximos permitidos al asiento mediante la acción del amortiguador. De esta forma se evita la sensación de bamboleo que sufre el operario manteniendo un buen aislamiento de las vibraciones a baja frecuencia. Además, su funcionamiento es independiente del peso del operario (limitación de los tradicionales).

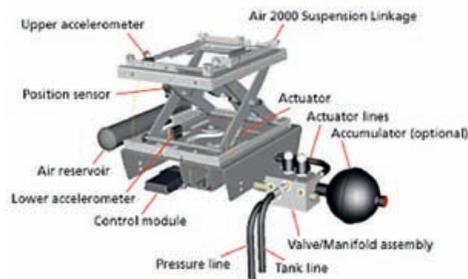


Figura 2. Asiento activo.

Los sistemas activos utilizados en estos asientos incorporan un actuador hidráulico con un sistema de control que cancela los efectos de las vibraciones que se introducen por la base. Esta tecnología permite una reducción mucho mayor que con cualquiera de los otros sistemas, como se muestra en la gráfica comparativa de la Figura 3 relativa a los asientos desarrollados por Sears Seating para John Deere.

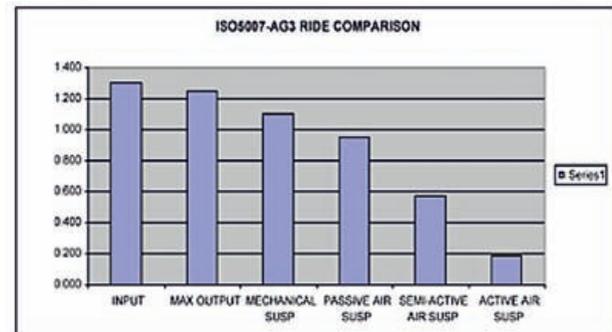
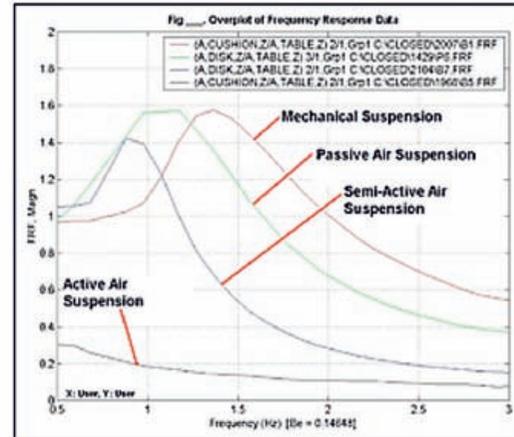


Figura 3. FRF y aceleración ISO5007 con distintos tipos de suspensión.

En el apartado de Referencias, de las referencias [1] a [129] se presenta un listado de patentes de los últimos años en el sector, donde se puede observar que solo unas pocas de ellas hacen referencia a controles activos o semiactivos, siendo la mayor parte utilizaciones novedosas o muy específicas de soluciones tra-

dicionales. Entre dichas patentes se han extraído un gran número perteneciente a empresas líderes en este sector (Caterpillar, Komatsu...).

3. TENDENCIA TECNOLÓGICA EN EL SECTOR MOP

Las aplicaciones en el sector de la maquinaria de obra pública que son susceptibles de utilizar las nuevas tecnologías son muy amplias, ya que en general todos los productos que en la actualidad utilizan métodos tradicionales son susceptibles de ser combinados o sustituidos con las técnicas avanzadas de reducción. La cuestión clave, es los retos tecnológicos que implica para los fabricantes y/o si el elevado coste de los elementos activos y semiactivos frente a los pasivos estará o no justificado.

Las tendencias en este campo se han diferenciado en "a corto plazo" y "a medio y largo plazo".

3.1 CORTO PLAZO

Con un horizonte temporal breve, la tendencia tecnológica del sector en la reducción de ruido y vibraciones debería ser la utilización óptima de las soluciones pasivas tradicionales. De esta forma, las empresas aumentarán el conocimiento de los problemas específicos de su producto y las limitaciones que no se pueden superar con los elementos actuales.

Este paso, es un requisito previo indispensable para poder valorar la necesidad y la mejora potencial que pueden obtener con la utilización de sistemas semiactivos o activos y en paralelo se espera que cada vez existan soluciones más asequibles económicamente, mejorando la viabilidad económica.

Cabe señalar, que aún considerándose como "tradicionales" en sistemas de aislamiento de vibraciones se han desarrollado en los últimos años elementos tipo "bushing" que combinan material elastómero, metal y fluido y, de esta forma, se pueden diseñar para ser óptimos para una aplicación específica.

También la utilización de otros elementos elásticos como los sistemas neumáticos en más aplicaciones (sólo habituales en asientos) o la introducción de amortiguadores ajustados o amortiguadores en etapas puede suponer mejoras frente al estado actual.

A pesar de que ya hay disponibles de forma comercial elementos semiactivos y activos en reducción de vibraciones como las suspensiones MR y los asientos comentados, se considera que están en una fase todavía temprana de desarrollo y solo se recomiendan en casos donde las soluciones pasivas se hayan mostrado insuficientes.

El principal reto tecnológico que se presenta a corto plazo a las empresas del sector es la dificultad para llegar a una solución tradicional optimizada de control de ruido y vibraciones con las técnicas de desarrollo de que disponen. En el mejor de los casos, en la actualidad, las empresas solamente disponen de instrumentación y conocimientos técnicos específicos para poder evaluar el resultado final en cuanto a los valores exigidos por la normativa (medida de presión/potencia acústica y exposición y transmisión de vibraciones al cuerpo humano). Con esas capacidades, la obtención de una solución realmente óptima puede requerir la realización de numerosos prototipos y ensayos, quedando el resultado final muy condicionado a la intuición y el acierto en la definición de los prototipos.

Para paliar esta dificultad, se necesita mejorar la formación específica en ruido y vibraciones de los responsables del diseño del producto y la colaboración con ingenierías, centros tecnológicos o universidades especializadas en la realización de estudios avanzados que den soporte en el diseño de los mecanismos de control.

El impacto esperado de estas actuaciones está muy condicionado por la efectividad de la solución actual en cada caso particular, y la viabilidad de introducir medidas auxiliares o mejor ajustadas para el control del ruido y vibraciones. A modo de referencia se estima que se pueden conseguir reducciones en el nivel de vibraciones desde un 20% hasta un 50% y reducciones de ruido de entre 3 y 6 dBA.

Con estas estimaciones de reducción se puede asegurar el cumplimiento de la normativa específica de cada máquina y un aumento significativo de las horas diarias de trabajo por parte del mismo operario sin superar los límites permitidos de exposición diaria al ruido y a las vibraciones, con lo que se mejora de forma clara la competitividad del producto.

3.2. MEDIO Y LARGO PLAZO

A medio plazo, resulta probable que el conocimiento en materiales inteligentes se desarrolle, y mejoren tanto en diseño y capacidad como en los procesos de fabricación, haciendo más asequible la tecnología. Como ya se ha comentado, los materiales reológicos apuntan a ser los que más posibilidades de implementación tienen en un plazo no muy largo, ya que el resto (agrupados en materiales de alto amortiguamiento) probablemente sigan teniendo costes excesivamente elevados.

A más largo plazo, se espera que tanto los nuevos materiales con propiedades mejoradas como los controles activos de vibraciones puedan resultar más competitivos. Los nuevos materiales podrán suponer mejoras en el aislamiento a ruido aéreo, ya que su elevado amortiguamiento servirá para reducir la transmisión y radiación de ruido en las frecuencias bajas y altas. También se prevé que los sistemas semiactivos y activos de vibración se comercialicen como soluciones integradas en tamaño y precio más reducido, por lo que podrán sustituir a los apoyos elásticos tradicionales y supondrán una mejora drástica en este aspecto.

En cuanto al control activo de ruido, no se prevé tenga aplicación en el sector a excepción de la posible utilización en escapes combinados con silenciosos.

Los retos tecnológicos que se prevén en este caso (considerando que se han superado los relativos al corto plazo) serán principalmente la selección adecuada de los nuevos materiales y su incorporación a los procesos de fabricación y montaje en combinación con los materiales tradicionales manteniendo la competitividad económica del producto. También se prevé que la electrónica integrada y los sensores necesarios para los controles activos y semiactivos puedan presentar problemas para adaptarse a entornos de trabajo tan exigentes como a los que se encuentran sometidos los productos del sector.

Al igual que se ha comentado en el impacto a corto plazo, las reducciones de ruido y vibraciones que permitirán estas tecnologías será muy dependiente de la aplicación concreta y las limitaciones que presenten las soluciones pasivas y los materiales tradicionales. A modo de ejemplo, los asientos activos y semiactivos pueden aportar reducciones de hasta un 30% sobre las soluciones pasivas con elementos neumáticos.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

4.1. PATENTES

4.1.1. Vibración en MOP

- [1]. US-7206681 B2. 17-abr-07. Adaptive vibration management system for a work machine. Caterpillar Inc. (United States, Peoria)
- [2]. US-7194383 B2. 20-mar-07. Vibration analysis system and method for a machine. Caterpillar Inc (United States, Peoria)
- [3]. US-20060276949 A1. 07-dic-06. Vibration control with operating state measurement. Deere & Company, a Delaware corporation (United States)
- [4]. WO-2006095459 A1. 14-sep-06. VIBRATION-ISOLATING MOUNT DEVICE. Shin Caterpillar Mitsubishi Ltd.
- [5]. EP-1693655 A2. 23-ago-06. Vibration dosimeter system. Caterpillar, Inc. (United States, Peoria, IL 61629-6490)
- [6]. WO-2006076314 A1. 20-jul-06. APPARATUS AND METHOD TO REDUCE VIBRATIONS ON A TRACKED WORK MACHINE. Caterpillar Inc. (United States)
- [7]. US-20060136110 A1. 22-jun-06. Adaptive vibration management system for a work machine. Caterpillar Inc. (United States)
- [8]. EP-1672244 A1. 21-jun-06. Adaptive vibration management system for a work machine. Caterpillar Inc. (United States, Peoria Illinois 61629-6490)
- [9]. WO-2006062577 A1. 15-jun-06. VIBRATION ANALYSIS SYSTEM AND METHOD FOR A MACHINE. Caterpillar Inc. (United States)
- [10]. WO-2005035883 A1. 21-abr-05. TRAVEL VIBRATION SUPPRESSING DEVICE FOR WORKING VEHICLE. Komatsu Ltd.
- [11]. JP-2004196061 A. 15-jul-04. SYSTEM FOR VIBRATION DAMPING FOR WORKING VEHICLE DURING WORKING. Komatsu Ltd
- [12]. WO-2004023001 A1. 18-mar-04. VIBRATION DAMPING DEVICE AND BUCKET FOR CONSTRUCTION MACHINE. "Komatsu Ltd.; MARUEI LTD."
- [13]. JP-2004050959 A. 19-feb-04. VIBRATION COMPACTION MACHINE. Komatsu Ltd
- [14]. JP-2003239219. 27-ago-03. CRAWLER TYPE VIBRATION COMPACTION MACHINE. Komatsu Ltd

- [15]. JP-2003104114. 09-abr-03. FLOOR MAT FOR VIBRATION INSULATION. SHIN CATERPILLAR MITSUBISHI LTD
- [16]. JP-2003104114. 09-abr-03. FLOOR MAT FOR VIBRATION INSULATION. SHIN CATERPILLAR MITSUBISHI LTD
- [17]. JP-2003078500. 14-mar-03. EQUIPMENT AND METHOD FOR COMMUNICATION IN NOISE ENVIRONMENT. "Komatsu Ltd; SATO TORU"
- [18]. JP-2002227910. 14-ago-02. MOUNT DEVICE OF VIBRATION INSULATION. "Komatsu Ltd; FUKOKU CO LTD"
- [19]. US-6371073 B1. 16-abr-02. Isolated cover with independent sealing system. Caterpillar Inc. (Peoria, IL)
- [20]. JP-2001239224. 04-sep-01. VIBRATION TYPE DEBURRING AND CLEANING DEVICE. Komatsu Ltd
- [21]. US-6212971 B1. 10-abr-01. Vibration isolated shift lever. Deere & Company (Moline, IL)
- [22]. US-6089204. 18-jul-00. Combined axial and torsional crankshaft vibration damper for reciprocating engine. Caterpillar, Inc. (Peoria, IL)
- [23]. JP-2000179615. 27-jun-00. CONTROL METHOD OF AND CONTROL DEVICE FOR VIBRATION RESISTANT STAND. "Komatsu Ltd; KOMATSU ELECTRONIC METALS CO LTD"
- [24]. JP-2000176859. 27-jun-00. VIBRATION GENERATING DEVICE. Komatsu Ltd
- [25]. JP-2000110189. 18-abr-00. VIBRATION-TYPE ATTACHMENT SECURING DEVICE. Komatsu Ltd
- [26]. US-5944120. 31-ago-99. Hydraulic hammer assembly having low vibration characteristics. Caterpillar Inc. (Peoria, IL)
- [27]. JP-11226798. 24-ago-99. VIBRATION-FORMING METHOD IN DIRECT ACTING PRESS. Komatsu Ltd
- [28]. JP-11207656. 03-ago-99. VIBRATION GENERATOR. Komatsu Ltd
- [29]. JP-11132246. 18-may-99. MAGNETIC COUPLING DEVICE AND VIBRATION SENSOR SUITABLE FOR DETECTION OF VIBRATION OF IT. Komatsu Ltd
- [30]. JP-11104899. 20-abr-99. SUPPRESSION AND CONTROLLER FOR VIBRATION OF PRESS TRANSFER FEEDER AND ITS CONTROL METHOD. KOMATSU AATEC KK
- [31]. JP-11081391. 26-mar-99. VIBRATION CONTROLLER FOR WORKING MACHINE. Komatsu Ltd
- [32]. US-5884713. 23-mar-99. Vibration generating apparatus. Komatsu Ltd.
- [33]. US-5879237. 09-mar-99. Device for damping rotational fluctuation and torsional vibration of rotary shaft. Komatsu Ltd.
- [34]. JP-11062902. 05-mar-99. ACTUATOR VIBRATION ISOLATING DEVICE FOR HYDRAULIC WORKING MACHINE. SHIN CATERPILLAR MITSUBISHI LTD
- [35]. JP-11036375. 09-feb-99. TRAVELING VIBRATION-CONTROL HYDRAULIC CIRCUIT IN CONSTRUCTION MACHINE WITH WHEEL. Komatsu Ltd
- [36]. JP-11013856. 22-ene-99. MAGNETIC COUPLING DEVICE AND VIBRATION SENSOR SUITED FOR DETECTING VIBRATION THEREOF. Komatsu Ltd
- [37]. US-5860734. 19-ene-99. Resiliently mounted roading lamp. Caterpillar Inc. (Peoria, IL)
- [38]. US-5854993. 29-dic-98. Component machine testing using neural network processed vibration data analysis. Caterpillar Inc. (Peoria, IL)
- [39]. US-5832730. 10-nov-98. Device and method for suppressing vibration of a working machine. Komatsu Ltd.
- [40]. JP-10278650. 20-oct-98. SEAT VIBRATION DAMPING DEVICE OF CONSTRUCTION VEHICLE. SHIN CATERPILLAR MITSUBISHI LTD
- [41]. JP-10212738. 11-ago-98. VIBRATION CONTROL DEVICE FOR CAB. SHIN CATERPILLAR MITSUBISHI LTD
- [42]. JP-04244633. 01-sep-92. TORSIONAL VIBRATION BUFFER DEVICE. DEERE & CO
- [43]. EP-0481268 A1. 22-abr-92. Torsional vibration damper arrangement. Deere & Company
- [44]. US-4625826. 02-dic-86. Vibration isolating mountings for push-pull cables coupled to vibrating control arms. Deere & Company (Moline, IL)
- [45]. US-4477050. 16-oct-84. Multi-directional vibration attenuator seat. Deere & Company (United States, Moline)
- [46]. US-4467753. 28-ago-84. Vibration dampener on engine shaft. Deere & Company (United States, Moline)
- [47]. US-4408744. 11-oct-83. Compact, planar, multi-directional vibration attenuator seat support. Deere & Company (Moline, IL)
- [48]. US-4228984. 21-oct-80. Vibration attenuator seat. Deere & Company (Moline, IL)
- [49]. WO-8000995 A1. 15-may-80. VIBRATION AND DUST ISOLATION SYSTEM. "CATERPILLAR TRACTOR CO; SHULKE D"
- [50]. US-4186930. 05-feb-80. Vibration and dust isolation system. Caterpillar Tractor Co. (Peoria, IL)
- [51]. US-4066058. 03-ene-78. Vibration isolation system. Deere & Company (Moline, IL)
- [52]. US-RE29123. 25-ene-77. Vibration isolated unitary cab and control console construction for a tractor. Deere & Company (Moline, IL)
- [53]. US-3958905. 25-may-76. Centrifugal compressor with indexed inducer section and pads for damping vibrations therein. Deere & Company (Moline, IL)
- [54]. US-3901003. 26-ago-75. Rotary mower deck structure including a sound- and vibration- isolated blade housing section. Deere & Company (Moline, IL)
- [55]. US-3656799. 18-abr-72. VIBRATION ISOLATED UNITARY CAB AND CONTROL CONSOLE CONSTRUCTION FOR A TRACTOR. Deere & Company (Moline, IL)
- [56]. US-3643636. 22-feb-72. ENGINE VIBRATION DAMPER. Deere & Company (Moline, IL)
- [57]. GB2386858. 2003. Vibration isolation through handle assembly (Pisón, estructura sujeción)

- [58]. EP1127983. 2001. Vibrating plate compactor. (Plancha vibratoria, Estructura de sujeción)
- [59]. US6296467. 2001. Vibrating screed for surfacing concrete (Regla vibrante, Estructura de sujeción)
- [60]. EP1026322. 2000. Vibrating compactor with adjustable vibration-damped handle (Plancha vibratoria, Estructura de sujeción)
- [61]. US6019179. 2000. Vibration tamper (Pisón, Estructura de sujeción)
- [62]. WO5007351. 2005. Working tool with damped handle (Martillo neumático, Sistemas de sujeción)
- [63]. DE10236135. 2004. Portable electric hand tool e.g. drill and chisel hammer, provided with handgrip which is spring-loaded for movement relative to tool housing for providing vibration damping (Martillo percutor, Sistemas de sujeción)
- [64]. GB2394438. 2004. Pneumatically cushioned impact mechanism (Martillo neumático, Sistemas de sujeción)
- [65]. DE10138123. 2003. Power tool handle, e.g. for a hammer drill, has a parallel lever linkage for mounting at the tool housing together with a damper spring to dampen vibrations at the handle when using the tool (General, Herramientas manuales, (Martillo neumático, Sistemas de sujeción)
- [66]. USD476872S. 2003. Handle of a pneumatic hammer (Martillo neumático, Sistemas de sujeción)
- [67]. DE10036078. 2002. Drill or and chisel hammer has handle joined to housing, insulating arrangement with spring element of two spring supports, and pre-tension adjustment (General, Herramientas manuales, (Martillo neumático, Sistemas de sujeción)
- [68]. KR274746. 2000. Apparatus for reducing vibration transmission in hand-held tool (Martillo neumático, Sistemas de sujeción)
- [69]. US6112831. 2000. Handle frame for percussive hand held (Martillo neumático, Sistemas de sujeción)
- [70]. US6848858. 2005. Working machine with reduced upper mass vibrations (Martillo neumático, elementos amortiguadores)
- [71]. DE2020040. 2004. Verbindungslager (Máquinas para movimiento de tierras, elementos amortiguadores)
- [72]. RU2236586. 2004. Pneumatic hammer (Martillo neumático, elementos amortiguadores)
- [73]. JP3104114. 2003. Floor mat for vibration insulation (Máquinas para movimiento de tierras, elementos amortiguadores)
- [74]. WO2004023001. 2004. Vibration damping device and bucket for construction machine (Máquinas para movimiento de tierras, sistemas de amortiguación)
- [75]. JP2001323510. 2001. Cabin mounting structure of construction (Máquinas para movimiento de tierras, sistemas de amortiguación)
- [76]. JP2001132017. 2001. Vibration isolation bearing structure of construction machinery (Máquinas para movimiento de tierras, sistemas de amortiguación)
- [77]. JP2001032876. 2001. Vibration control support structure of construction machinery (Máquinas para movimiento de tierras, sistemas de amortiguación)
- [78]. GB2363102. 2001. Vibration-isolation cab mounting apparatus (Máquinas para movimiento de tierras, sistemas de amortiguación)
- [79]. WO0034111. 2000. Suspension system for a work machine (Máquinas para movimiento de tierras, sistemas de amortiguación)
- [80]. US2005098399. 2000. Active seat suspension control system (Máquinas para movimiento de tierras, control activo)
- [81]. PL364755. 2004. Integrated semi-active seat suspension and seat lock-up system (Máquinas para movimiento de tierras, control activo)
- [82]. WO2004060702. 2004. Active vehicle suspension with a hydraulic spring (Máquinas para movimiento de tierras, control activo)
- [83]. MXPA01008998. 2002. Active suspension with offload adjustment (Máquinas para movimiento de tierras, control activo)
- [84]. US6059253. 2000. Active suspension system for vehicle seats (Máquinas para movimiento de tierras, control activo)
- [85]. US6655339. 2003. System for controlling noise and temperature in a vehicle cab (Máquinas para movimiento de tierras, control activo)
- [86]. EP1533771. 2005. Control method and system for machine tools and industrial vehicles (General. Máquinas y vehículos, control remoto)
- [87]. WO2005008046. 2005. Construction machinery (Movimiento de Tierras, control remoto)
- [88]. JP2004322979. 2004. Back monitoring device for construction machinery (Movimiento de Tierras, control remoto)
- [89]. WO4090232. 2004. System and method for the automatic compaction of soil (Máquinas Movimiento de Tierras, control remoto)
- [90]. US2003147727. 2003. Remote control system and remote setting system for construction machinery (Movimiento de Tierras, control remoto)
- [91]. FR2831356. 2003. Remote control circuit for load handling machines uses central control for mobile machinery with GPS communication (General, control remoto)

4.1.2. Ruido en MOP

- [92]. US-6688424 B1. 10-feb-04. Noise absorbing device and device for taking air into engine room of a construction machine. Komatsu Ltd.
- [93]. EP-1061186 B1. 23-jul-03. Noise reduction structure for a cab of a working vehicle. Komatsu Ltd
- [94]. JP-2003162284. 06-jun-03. NOISE REDUCING DEVICE OF WORKING MACHINE. Komatsu Ltd
- [95]. US-6550571 B1. 22-abr-03. Noise reduction structure for cab of working vehicle. Komatsu, Ltd.

- [96]. US-6454527 B2. 24-sep-02. Noise reduction mechanism of fan device and molding method of porous damping material therefor. Komatsu Ltd.
- [97]. [JP-2002265194. 18-sep-02. LOW NOISE FINGER BOARD. KOMATSU FORKLIFT CO LTD
- [98]. JP-2002265193. 18-sep-02. NOISE PREVENTING TYPE FORK. KOMATSU FORKLIFT CO LTD
- [99]. US-6405825 B1. 18-jun-02. Noise absorption blade mounting structure for working vehicles. Komatsu Ltd.
- [100]. JP-2002122470. 26-abr-02. NOISE REDUCTION SYSTEM. Komatsu Ltd
- [101]. JP-2002047938. 15-feb-02. NOISE REDUCING MECHANISM OF FAN DEVICE AND MOLDING METHOD OF POROUS SOUND ABSORBING MATERIAL USED FOR THE MECHANISM. Komatsu Ltd
- [102]. US-6332509 B1. 25-dic-01. Noise reducer for construction equipment. Komatsu Ltd.
- [103]. JP-2001187589. 10-jul-01. NOISE REDUCING CARRIER ROLLER. Caterpillar Inc
- [104]. JP-2001130887. 15-may-01. LOW NOISE MAST. KOMATSU FORKLIFT CO LTD
- [105]. US-6178950 B1. 30-ene-01. Noise reducing bracket for a fuel injection system. Caterpillar Inc. (Peoria, IL)
- [106]. JP-2001003750. 09-ene-01. NOISE REDUCING MECHANISM FOR FAN DEVICE. Komatsu Ltd
- [107]. JP-2000355955. 26-dic-00. NOISE REDUCTION DEVICE FOR CAB OF WORKING VEHICLE. Komatsu Ltd
- [108]. EP-1061186 A2. 20-dic-00. Noise reduction structure for a cab of a working vehicle. Komatsu Ltd
- [109]. JP-2000255995. 19-sep-00. INTAKE NOISE REDUCING STRUCTURE. KOMATSU FORKLIFT CO LTD
- [110]. US-6113193. 05-sep-00. Apparatus and method for automatically reducing engine exhaust noise. Caterpillar Inc. (Peoria, IL)
- [111]. JP-2000220543. 08-ago-00. NOISE ELIMINATING DEVICE FOR VEHICULAR AIR PORT. Komatsu Ltd
- [112]. JP-2000219168. 08-ago-00. NOISE REDUCING DEVICE FOR CONSTRUCTION MACHINE. Komatsu Ltd
- [113]. JP-11226792. 24-ago-99. LOW NOISE ELECTRICALLY DRIVEN SERVO PRESS. Komatsu Ltd
- [114]. US-5467747. 21-nov-95. Noise suppression enclosure for an engine. Caterpillar Inc. (Peoria, IL)
- [115]. US-5399064. 21-mar-95. Turbocharger having reduced noise emissions. Caterpillar Inc. (Peoria, IL)
- [116]. EP-0605184 B1. 06-jul-94. Turbocharger having reduced noise emissions. Caterpillar Inc. (Peoria, IL)
- [117]. EP-0605184 A1. 06-jul-94. Turbocharger having reduced noise emissions. Caterpillar Inc.
- [118]. US-5297517. 29-mar-94. Noise suppression enclosure for an engine. Caterpillar Inc. (Peoria, IL)
- [119]. US-5295785. 22-mar-94. Turbocharger having reduced noise emissions. Caterpillar Inc. (Peoria, IL)
- [120]. JP-62255290. 07-nov-87. NOISE REDUCING TRACK SHOE. SHIN CATERPILLAR MITSUBISHI LTD
- [121]. JP-62255289. 07-nov-87. NOISE REDUCING TRACK SHOE. SHIN CATERPILLAR MITSUBISHI LTD
- [122]. US-4334588. 15-jun-82. Vehicle engine noise reducing assembly. Caterpillar Mitsubishi Ltd.
- [123]. JP-56138068. 28-oct-81. DEVICE FOR REDUCING NOISE GENERATED AROUND IDLER IN CRAWLER TYPE VEHICLE. CATERPILLAR MITSUBISHI LTD
- [124]. US-4289096. 15-sep-81. Acoustic noise suppression apparatus noise suppression means. Deere & Company (Moline, IL)
- [125]. US-4260037. 07-abr-81. Assembly for silencing engine cooling fan noise. Deere & Company (Moline, IL)
- [126]. US-4483412. 20-nov-84. Noise absorption apparatus. Deere & Company (United States, Moline)
- [127]. US-4109751. 29-ago-78. Noise silencer. Deere & Company (Moline, IL)
- [128]. US-4082372. 04-abr-78. Noise reducing device for a track chain arrangement. Caterpillar Mitsubishi Ltd.
- [129]. US-4081202. 28-mar-78. Noise reduction device for a chain drive mechanism. Caterpillar Mitsubishi Ltd.

4.1.3. Patentes Lord

- [130]. 7087184. f108-08-2006MR fluid for increasing the output of a magnetorheological fluid device
- [131]. 7087184. 08-08-2006. MR fluid for increasing the output of a magnetorheological fluid device
- [132]. 7070707. 04-07-2006. Magnetorheological composition
- [133]. 7040467. 09-05-2006. Magnetorheological actuated friction damper
- [134]. 6886819. 03-05-2005. MR fluid for increasing the output of a magnetorheological fluid damper
- [135]. 6854573. 2-15-2005. Brake with field responsive material
- [136]. 6776518. 8-17-2004. Container for transporting and storing field controllable fluid

- [137]. 1196929-EP-B1 . 2-25-2004 . Stable Magneto-Rheological Fluids
- [138]. 6695105. 2-24-2004 . Magneto-Rheological twin-tube damping device
- [139]. D473950 . 4-29-2003 . Combined container and field responsive material
- [140]. 6611185. 8-26-2003 . Magneto-Rheological fluid based joint
- [141]. 6547986. 4-15-2003 . Magneto-Rheological grease composition
- [142]. 6475404. 05-11-2002. Instant magnetorheological fluid mix
- [143]. 6427813. 06-08-2002. Magneto-Rheological fluid devices exhibiting settling stability
- [144]. 6395193. 5-28-2002 . Magneto-Rheological compositions
- [145]. 6394239. 5-28-2002 . Controllable medium device and apparatus utilizing same
- [146]. 6382604. 07-05-2002. Method for Adjusting the Gain Applied to a Seat Suspension Control Signal
- [147]. 6378671. 4-30-2002 . Magnetically Controlled Friction Damper and Use Thereof
- [148]. 6373465. 4-16-2002 . Magnetically-Controllable, Semi-Active Haptic Interface System and Apparatus
- [149]. 6340080. 1-22-2002 . Apparatus Including a Matrix Structure and Transmission
- [150]. 6339419. 1-15-2002 . Magnetically-Controllable, Semi-Active Haptic Interface System and Apparatus
- [151]. 6311110. 10-30-2001 . Adaptive Off-State Control Method
- [152]. 6308813. 10-30-2001 . MR Fluid Controlled Interlock Mechanism
- [153]. 6302249. 10-16-2001 . Linear-Acting Controllable Pneumatic Actuator And Motion Control Apparatus Including a Field Responsive Medium and Control Method Thereof
- [154]. 6296088. 02-10-2001. Magneto-Rheological Fluid Seismic Damper
- [155]. 6283859. 04-09-2001. Magnetically-Controllable, Active Haptic Interface System and Apparatus
- [156]. 6234060. 5-22-2001 . Low Cost Servo-Positioning Systems Using MR Fluid Devices
- [157]. 6203717. 3-20-2001 . Stable Magneto-Rheological Fluids
- [158]. 6202806. 3-20-2001 . Controllable Device Having a Matrix Medium Retaining Structure
- [159]. 6186290. 2-13-2001 . Magneto-Rheological Fluid Brake with Integrated Flywheel
- [160]. 6158910. 12-12-2000. Magneto-Rheological Grip for Handheld Implements
- [161]. 6158470. 12-12-2000. Two-Way Magneto-Rheological Fluid Valve Assembly and Devices Utilizing Same
- [162]. 6151930. 11-28-2000 . Washing Machine Having a Controllable Field Responsive Damper
- [163]. 6132633. 10-17-2000 . Aqueous Magneto-Rheological Material
- [164]. 6131709. 10-17-2000 . MR Adjustable Valve and Vibration Damper Utilizing Same
- [165]. 6117093. 12-09-2000. MR Portable Hand and Wrist Rehabilitation Device
- [166]. 6095486. 01-08-2000. Two-Way Magneto-Rheological Fluid Valve Assembly and Devices Utilizing Same
- [167]. 6070681. 06-06-2000. Controllable Cab Suspension
- [168]. 6027664. 2-22-2000 . Method and Magneto-Rheological Fluid Formulations for Increasing the Output of a Magneto-Rheological Fluid
- [169]. 6027633. 10-17-2000 . Aqueous Magneto-Rheological Fluid with High Stability and Redispersion Capability

4.2. PÁGINAS WEB.

- [170]. www.caterpillar.com, Fabricante sector maquinaria obra pública (USA)
- [171]. www.deere.com, Fabricante sector maquinaria obra pública (USA)
- [172]. www.komatsu.com, Fabricante sector maquinaria obra pública (JAP)
- [173]. www.lord.com, Control ruido y vibraciones, expertos en magnetoreología (USA)
- [174]. www.searsseating.com, Asientos especiales para maquinaria (USA)
- [175]. www.bostromseating.com, Asientos especiales para maquinaria, Bostromseating (USA)
- [176]. www.amtbe.com/general.html, Expertos en aleaciones con memoria de forma AMT (BÉLGICA)

- [177]. www.boeing.com, Fabricante sector aeronáutica, Boeing (USA)
- [178]. www.eads.com, Fabricante sector aeronáutica, Eads (EUROPA)
- [179]. www.e-maquinaria.com, Web información maquinaria de obra pública, E-maquinaria (ESPAÑA)
- [180]. www.ia.csic.es/, Centro español de investigación en acústica, Instituto Acústica Centro Superior de Investigaciones Científicas (ESPAÑA)
- [181]. www.me.vt.edu, Universidad americana investigadora en acústica y vibración, Virginia Agricultural and Mechanical College, Virginia TECH (USA)
- [182]. www.inceusa.org, Instituto americano para el control del ruido, Institute of Noise Control Engineering of the USA (USA)
- [183]. www.isvr.soton.ac.uk, Centro europeo líder en la investigación, enseñanza y consulta en sonido y vibración, Universidad de Southampton (UK)
- [184]. www.irsst.qc.ca, Investigación ruido y vibraciones enfocado en los aspectos técnicos de la exposición al ruido y vibraciones industriales, Institute Robert –Sauvé (Canada)
- [185]. www.inha.ac.kr, Universidad coreana investigadora en acústica y vibración, INHA University (Corea Sur)
- [186]. www.kuleuven.ac.be/kuleuven, Universidad belga investigadora en acústica y vibración, Universidad Católica de Leuven (Bélgica)
- [187]. es.espacenet.com, European Patent Office. Oficina patentes europea
- [188]. www.uspto.gov, United States Patents and Trademark Office. Oficina estadounidense de patentes

4.3. REVISTAS CIENTÍFICAS, CONGRESOS Y ARTÍCULOS

- [189]. www.elsevier.com, Base de datos electrónica, Sciece direct
- [190]. www.thomson.com/solutions/scientific/, Base de datos electrónica, Current Contents Connect
- [191]. <http://ebro3.unizar.es:8080/rev/>, Base de datos revista científica Universidad de Zaragoza, FARO- Universidad
- [192]. <http://www.inasmet.es/transport/motivation.asp?seccionActiva=0>, Base de datos, ISI Web of Knowledge
- [193]. <http://www.inasmet.es/transport/motivation.asp?seccionActiva=0>, International congress on Innovative Solutions for de Advancement of the Transport Industry, TRANSFAC'06
- [194]. SEUNG-BOK CHOI and YOUNG-MIN HAN . Vibration control of electrorheological seat suspension with human-body model using sliding mode control. *Journal of Sound and Vibration*, Volume 303, Issues 1-2, 5 June 2007, Pages 391-404.
- [195]. TJAHJO PRANOTO, KOSUKE NAGAYA, YOSHIKI EBARA and QUAN QI LONG. Vibration suppression device using permanent-electromagnet and MRF shear damper. *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 181, Issues 1-3, 1 January 2007, Pages 235-240
- [196]. G. SONG, V. SETHI and H.-N. LI. Vibration control of civil structures using piezo-ceramic smart materials: A review *Engineering Structures*, Volume 28, Issue 11, September 2006, Pages 1513-1524
- [197]. JAEHWAN KIM and KYOUNG-MI PARK .Material characterization of MR fluid at high frequencies *Journal of Sound and Vibration*, Volume 283, Issues 1-2, 6 May 2005, Pages 121-133
- [198]. J.Y. WANG, Y.Q. NI, J.M. KO and JR., B.F. SPENCER. Magneto-rheological tuned liquid column dampers (MR-TLCDs) for vibration mitigation of tall buildings: modelling and analysis of open-loop control. *Computers & Structures*, Volume 83, Issues 25-26, September 2005, Pages 2023-2034
- [199]. SUNG-RYONG HONG, SEUNG-BOK CHOI and MOON-SHIK HAN .Vibration control of a frame structure using electro-rheological fluid mounts *International Journal of Mechanical Sciences*, Volume 44, Issue 10, October 2002, Pages 2027-2045
- [200]. JOUNG-MAN PARK, DAE-SIK KIM and SANG-BO HAN. Properties of interfacial adhesion for vibration controllability of composite materials as smart structures. *Composites Science and Technology*, Volume 60, Issue 10, August 2000, Pages 1953-1963
- [201]. K. B. SCRIBNER, L. A. SIEVERS and A. H. VON FLOTO . Active Narrow-Band vibration Isolation Of Machinery Noise From Resonant Substructures *Journal of Sound and Vibration*, Volume 167, Issue 1, 8 October 1993, Pages 17-40
- [202]. M. D. JENKINS, P. A. NELSON, R. J. PINNINGTON and S. J. ELLIOTT. Active Isolation of Periodic Machinery Vibrations. *Journal of Sound and Vibration*, Volume 166, Issue 1, 8 September 1993, Pages 117-140
- [203]. T. G. KING, M. E. PRESTON, B. J. M. MURPHY and D. S. CANNELL . Piezoelectric ceramic actuators: A review of machinery applications *Precision Engineering*, Volume 12, Issue 3, July 1990, Pages 131-136
- [204]. L. F. STRIKELEATHER 1973. Society of Automotive Engineers Paper 730823 : Evaluating the vibration and shock isolation qualities of operator seats for construction machinery. (14 pages, 24 figures, 1 table, 17 references) *Journal of Sound and Vibration*, Volume 54, Issue 4, 22 October 1977, Page 630.

5.14. Uso de nuevos materiales en maquinaria de construcción y obra pública

José Manuel Bielsa

Departamento de Materiales, Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE NUEVOS MATERIALES (MATERIALES METÁLICOS Y NUEVAS ALEACIONES, NUEVOS RECUBRIMIENTOS Y MATERIALES COMPUESTOS) A NIVEL INDUSTRIAL

En el presente capítulo se describe el Estado del Arte de las tecnologías relacionadas con la aplicación de nuevos materiales, tanto metálicos como no metálicos y compuestos, en componentes industriales en general. Dado que en el siguiente capítulo se analizará en detalle el empleo de dichas tecnologías en el sector de maquinaria de obras públicas (MOP) en particular, en el presente se hará además especial referencia a los sectores automoción y aeronáutico, por su proximidad al de maquinaria de obras públicas como origen para la transferencia tecnológica en la aplicación de tecnologías de nuevos materiales (aleaciones, recubrimientos y materiales compuestos).

En general, se entenderá por tecnologías de nuevos materiales las referidas al uso de materiales distintos a los que se venían empleando tradicionalmente en determinadas aplicaciones o componentes industriales, mejorando así determinadas funcionalidades de los mismos con respecto a los diseños anteriores con materiales tradicionales. Las tecnologías así diferenciadas pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Uso de materiales y aleaciones con alta resistencia estructural, dureza superficial y resistencia al desgaste y a la abrasión, incluyendo recubrimientos novedosos.
- Uso de materiales compuestos en componentes industriales y de maquinaria en general, con funcionalidades tanto estructurales como de seguridad (protección frente a impacto y absorción de energía).

A continuación, en los siguientes apartados se describirá detalladamente el Estado del Arte actual de dichas tecnologías.

1.1. DEFINICIÓN GENERAL DE LA TECNOLOGÍA DE NUEVOS MATERIALES Y APLICACIONES MÁS USUALES EN EL SECTOR AUTOMOCIÓN Y AERONÁUTICO

El empleo de nuevos materiales, tanto metálicos como no metálicos, constituye un importante avance tecnológico en la industria en general que se traduce en mejoras a nivel de funcionalidad, proceso y economía en los diferentes componentes a los que se aplican. En la mayoría de los sectores industriales, especialmente en automoción y aeronáutico, el empleo de nuevos materiales (nuevas aleaciones y recubrimientos y materiales compuestos) se ha ido implantando de manera progresiva, sustituyendo a los materiales más tradicionales hasta entonces característicos de cada aplicación. Esta implantación progresiva incluye, como ya se ha mencionado, el uso de materiales más ligeros (aluminio...), nuevas aleaciones y compuestos de matriz metálica, nuevos recubrimientos de alta dureza y resistencia a la abrasión y al desgaste, y materiales compuestos estructurales (plásticos reforzados con fibra de vidrio o de carbono).

Las tecnologías asociadas al empleo de nuevos materiales se vienen aplicando en la industria en general, siendo identificada su implantación a través de los diferentes observatorios tecnológicos de mayor impacto, como por ejemplo en los informes de prospectiva tecnológica industrial elaborados por la fundación OPTI (Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial) [1], [2], [3].

En los boletines trimestrales de vigilancia tecnológica del sector metal-mecánico, elaborados por dicho observatorio tecnológico, se identifica que se está generalizando el uso de nuevos materiales en sustitución de los ya tradicionales, como el acero (nuevos materiales metálicos y aleaciones específicas para el aumento de las propiedades de resistencia estructural y al desgaste [1]). Como ejemplo de ello, en [4] se detalla que durante el año 2006 el aluminio se ha establecido como el segundo material

de uso más extendido en la industria del automóvil por detrás del acero. Esto no sólo sucede a nivel europeo, sino a también en EEUU y Japón. Características mecánicas propias del aluminio, como su resistencia y bajo peso, se han identificado como factores determinantes en este proceso.

En esta misma línea, es importante destacar también el desarrollo de nuevas aleaciones diferentes a las del acero, con características de elevada tenacidad y resistencia al desgaste. Así, en [5] se hace referencia al desarrollo llevado a cabo por el Massachusetts Institute of Technology (MIT) de una nueva aleación de níquel y tungsteno con estructura de nanocompuesto, de características de dureza similares al cromo duro (cromo hexavalente, el cual es altamente contaminante y actualmente se está llevando a cabo su sustitución en la industria por otras alternativas funcionalmente similares) y con propiedades específicas de alta resistencia al desgaste y a la abrasión. Otras aplicaciones se orientan hacia el desarrollo de materiales compuestos de matriz metálica. Como ejemplo particular de ello, en [6] se hace referencia a un nuevo material constituido por aluminio, titanio y carbono, desarrollado por Adal Group, con el que se obtienen propiedades de resistencia, dureza y resistencia al desgaste mayores que las del aluminio, del que se propone su aplicación para discos y tambores de freno, cuadros de bicicleta, etc.

La actividad de desarrollo en las tecnologías referenciadas anteriormente (nuevas aleaciones y recubrimientos) ha sido muy amplia, dando lugar a multitud de patentes representativas de ambos sectores: automoción y aeronáutico. A modo de ejemplificar las posibilidades de transferencia tecnológica al sector de la maquinaria de obras públicas, de entre todas ellas se pueden citar dos patentes que hacen referencia a nuevas tecnologías de recubrimientos aplicadas al sector aeronáutico [7] y al sector automoción [8].

El segundo punto del presente apartado, que es el relacionado con nuevas tecnologías de materiales compuestos, toma como referencia los informes publicados por los diferentes observatorios tecnológicos, a través de los cuales se ha identificado el empleo en la industria de materiales plásticos y compuestos con propiedades de alta resistencia estructural y al desgaste [1], [9].

Volviendo al sector de la industria del automóvil, en un primer apartado se identifica la gran aplicabilidad de los materiales plásticos, tal y como se publica en el boletín [10] de la fundación OPTI, también publicado por la fundación OPTI. Del mismo modo, los materiales plásticos se están implantando cada vez con mayor extensión cumpliendo funciones estructurales y, más recientemente y acorde con las nuevas normativas actuales, haciendo gran esfuerzo en la minimización del impacto ambiental (bioplásticos y reciclabilidad), aspecto de gran importancia en este sector industrial. Sirvan como ejemplos particulares de lo anterior: en [11] se referencia un nuevo material bioplástico desarrollado por Mazda, con propiedades de alta resistencia estructural (térmica e impacto) y elevada rigidez (mayor que la del polipropileno), empleado para componentes tanto del interior como del exterior del automóvil. Y en [12], un plástico denominado “verde”, desarrollado por Mitsubishi Motors, que incrementa su rigidez mediante la inclusión en la resina de fibras de origen vegetal.

En un segundo apartado, destacar también el desarrollo de tecnologías de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras de vidrio o carbono, también denominados “composites”. En [13] se destaca la aplicación cada vez más extendida de este tipo de materiales en la industria aeronáutica, pasando del uso en escasas aplicaciones estéticas y/o funcionales a aplicaciones puramente estructurales (alas, fuselaje), con el objeto de reducir el peso del aparato (estos materiales son en general un 15% más ligeros que el aluminio) y aumentar el ahorro en combustible del mismo. Sirva como ejemplo el A380 del consorcio Airbus, donde el empleo de materiales compuestos estructurales se eleva hasta aproximadamente un 50%, frente al 15% de un aparato convencional (p.e.: A320).

Otras tecnologías más novedosas y avanzadas son las relacionadas con el desarrollo de materiales compuestos autoreparadores [12]. Este tipo de materiales se caracteriza por tener la posibilidad de autorepararse cuando el material es dañado por un impacto. Desarrollados en principio para su aplicación en la industria aeroespacial, tienen como referente la Universidad de Bristol (Dpto. de Ingeniería Aeroespacial), quien ha desarrollado un material compuesto formado por fibras de vidrio huecas, rellenas de resina líquida y un endurecedor, que fluyen y se mezclan en el momento que la fibra de vidrio se rompe a causa de

un impacto, propagándose por capilaridad a lo largo de la grieta y produciendo la unión de las superficies de fractura tras la polimerización de ambos componentes.

La actividad de desarrollo en las tecnologías de materiales compuestos también es muy amplia, dando lugar a multitud de patentes, sobre todo dentro del sector aeronáutico. De entre ellas, se pueden citar las dos siguientes como representativas de las posibilidades de transferencia tecnológica al sector de maquinaria de obras públicas, publicadas por Airbus [14] y Boeing [15].

Finalmente, los materiales compuestos también pueden utilizarse ocasionalmente en aplicaciones muy concretas donde la resistencia al desgaste del material constituya una variable fundamental. Sirva como referente particular el estudio de un piñón para caja de cambios de material compuesto (Mao [16]) de fibra de vidrio, matriz de nylon, y autolubricado mediante PTFE, en el que se optimiza la tasa de desgaste de dicho componente.

1.2. REFERENTES TECNOLÓGICOS Y CIENTÍFICOS MÁS SIGNIFICATIVOS ASOCIADOS A LAS TECNOLOGÍAS DE NUEVOS MATERIALES

La actividad de I+D en las tecnologías referenciadas en el punto anterior ha sido muy amplia en los últimos años, dando lugar a múltiples líneas de investigación que a continuación se muestran agrupadas en tres líneas principales. Para cada una de estas líneas principales se citan, a modo de ejemplo, varias referencias de publicaciones recientes que ejemplifican, por un lado, el tipo de desarrollos en los que se están centrando algunas de las actividades de investigación aplicada más avanzadas, y por otro, las claras posibilidades de transferencia tecnológica al sector de la maquinaria de obras públicas.

Desarrollo de nuevas aleaciones. En esta línea la actividad está orientada al desarrollo de nuevas aleaciones de aluminio y de aleaciones para ser utilizadas en materiales compuestos de matriz metálica, buscando mejoras específicas en la resistencia mecánica, desgaste y abrasión. Aykut [17], Devis [18], Mehta [19] y Wang [20].

Desarrollo de nuevos recubrimientos. La actividad en esta temática se orienta hacia el análisis de los fenómenos de desgaste y el desarrollo de nuevos recubrimientos para la mejora de la resistencia a la abrasión y aumento de la dureza superficial. Becker [21], Podgornik [22], Faga [23] y Fernández [24].

Desarrollo de materiales compuestos. En esta línea la actividad está dirigida al desarrollo de materiales compuestos en aplicaciones estructurales en las que el ahorro en peso y la capacidad de absorción de energía constituyen un aspecto fundamental en el diseño del componente y en su funcionalidad. Mamalis [25], Sancaktar [26] y Feraboli [27].

Dentro de cada una de las líneas anteriores, se podrían citar multitud de universidades y centros de investigación como referentes tecnológicos y científicos. Sin embargo, únicamente se citarán algunos de ellos como ejemplos más representativos. Así en la línea de nuevas aleaciones y recubrimientos, se podrían destacar centros tecnológicos como el Fraunhofer Inst. (Alemania), Nanomaterialia (Italia) y las Universidades de Trondheim, Helsinki, Munich y Nottingham. En la línea de materiales compuestos destacan como centros tecnológicos EADS-CRC (Alemania), DLR (Alemania) y las universidades de Cranfield y Leuven.

Las líneas de investigación mencionadas hasta ahora no sólo se desarrollan en el ámbito de universidades y centros tecnológicos exclusivamente. La participación empresarial también tiene lugar en el contexto de proyectos de investigación en los que se involucran centros tecnológicos, universidades y empresas del sector, como los promovidos por la Comisión Europea. Dentro del VI Programa Marco es posible encontrar ejemplos de proyectos actualmente en curso [28], relacionados con cada una de las líneas de investigación mencionadas anteriormente y en los que están involucradas empresas del sector automoción y aeronáutico.

Por un lado, en relación con la línea de nuevas aleaciones, se podría citar como ejemplo el proyecto "New Automotive components Designed for and manufactured by Intelligent processing of light Alloys (NADIA IP ref. 26563)" que consiste en el desarrollo de aleaciones ligeras multifuncionales para su aplicación en el sector automoción. En el caso de nuevos recubrimientos, también es posible encontrar ejemplos como el proyecto "High

Performance Self-Lubricated Multifunctional Coating For Demanding Industrial Applications (SEFUCO SMEs-Co-operative research ref. 17788)” consistente en el desarrollo de recubrimientos con propiedades autolubricantes y de alta resistencia al desgaste para aplicaciones como rodamientos, cigüeñales, etc. Otro ejemplo en la misma temática sería el proyecto “Nano-composite machining tools with wear and thermal resistance (RES-TOOL SMEs-Co-operative research ref. 507839)” cuyo objetivo consiste en el desarrollo de recubrimientos nanoestructurados de alta resistencia al desgaste para máquinas herramienta. Finalmente, en la línea de materiales compuestos, se pueden citar ejemplos relacionados con la aplicación de esta tecnología tanto en el sector aeronáutico como en el sector automoción. Así, el primero de ellos sería el proyecto “Advanced Low Cost Aircraft Structures (ALCAS IP ref.516092)” consistente en la aplicación de materiales compuestos de fibra de carbono en los diferentes componentes de la estructura de un avión (alas, fuselaje, cola). Y como segundo ejemplo, citar el proyecto “Modular Lightweight Sandwich Bus Concept (LITEBUS Specific Targeted Research Project ref. 31321)” que consiste en el empleo de paneles tipo Sándwich en la estructura de un autobús para el transporte público.

2. ESTADO ACTUAL DE LA APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE NUEVOS MATERIALES EN EL SECTOR DE LA MOP A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

Como definición a nivel general, se entiende por maquinaria de obras públicas (en adelante MOP) la constituida por aquellos equipos incluidos dentro de la siguiente clasificación [29]:

- carreteras
- hormigón
- elevación, transporte y mantenimiento
- canteras, minería y reciclaje
- movimiento de tierras
- equipamiento para trabajos temporales de obra
- equipo auxiliar de construcción

Así, dentro del subsector de movimiento de tierras, se pueden detallar como ejemplo los siguientes equipos: excavadoras, de ruedas y de cadenas, excavadoras hidráulicas, retropalas, dozers y palas de cadenas y de ruedas. Para el subsector de carrete-

ras: dumpers, volquetes, volquetes articulados y cargadoras de ruedas y de cadenas. Y para elevación, transporte y mantenimiento: compactadores, motoniveladoras, pavimentadoras y camiones cisterna.



Figura 1: Ejemplos de excavadora hidráulica (izda.) y retropala (dcha.)

En un contexto en el que es importante destacar el aumento significativo tanto de la producción a nivel nacional [30] [31], como de las exportaciones [32], las nuevas tecnologías de materiales cobran gran importancia en el sector de MOP, debido principalmente a la necesidad de disponer de productos tecnológicamente competitivos dentro el mercado internacional, donde, como se verá a continuación, las referidas tecnologías presentan una implantación muy extendida.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE USO DE LA TECNOLOGÍA A NIVEL NACIONAL EN EL SECTOR DE LA MOP: APLICACIONES EN MÁQUINAS Y EMPRESAS DE REFERENCIA

Las tecnologías de nuevos materiales (aleaciones, recubrimientos y materiales compuestos), cuya descripción general ya figura en el apartado anterior, tienen aplicación en el sector nacional de maquinaria de obras públicas (MOP), especialmente en el ámbito de uso de nuevos materiales metálicos y aleaciones, especialmente de aluminio. El nivel de aplicación de estas tecnologías puede identificarse a través de los siguientes ejemplos:

En lo referente al uso de nuevos materiales, aleaciones y recubrimientos, sirvan como ejemplo particular de aplicación de dichas tecnologías los semirremolques hormigonera aligerados. En la estructura de chasis de estos equipos se emplean aceros aleados de alto límite elástico, optimizándose así la estructura mediante me-

tecnologías de diseño basadas en el MEF (Método de los Elementos Finitos) consiguiendo como resultado aligerar el conjunto, disminuyendo la tara y aumentando la carga útil del conjunto, mejorando finalmente la eficiencia en el transporte de material.



Figura 2: Semirremolque hormigonera aligerado.

Figura 3: Semirremolque de aluminio.

Del mismo modo, en las cisternas de alta capacidad (38m³) para el transporte a granel de materiales pulverulentos y abrasivos (yeso, cal, calcita...) el material empleado es aluminio de alta resistencia al desgaste, lo cual, además de mejorar la ligereza del conjunto, permite su adecuación al transporte de este tipo de materiales abrasivos.

Otro ejemplo de aplicación lo constituye la estructura de semirremolques basculantes para el transporte de material en MOP (tanto en el chasis como en la cuba). Aparte de las mejoras en la ligereza del conjunto y aumento de la carga útil, el aluminio aporta a su vez alta resistencia a la abrasión. También la fabricación de dientes de pala excavadora, plantea importantes innovaciones tecnológicas tanto en sus procesos de diseño de productos, como en su tecnología de producción, con el objetivo de obtener aceros especiales que presenten una elevada resistencia al desgaste e impacto.

En un estudio publicado por el Instituto Español de Comercio Exterior (ICEX) [32], se identifica que uno de los temas de innovación y desarrollo en el sector están en el uso de materiales de menor desgaste, automatización y reducción de vibraciones para mejora del confort del operario.

Finalmente, la aplicación de materiales compuestos a la MOP no está tan extendida a nivel nacional, si bien en el ámbito in-

ternacional presenta numerosos ejemplos de aplicación, tal y como se verá en el siguiente apartado.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE USO DE LA TECNOLOGÍA A NIVEL INTERNACIONAL EN EL SECTOR DE LA MOP: APLICACIONES EN MÁQUINAS Y EMPRESAS DE REFERENCIA

A nivel internacional, el uso de nuevos materiales (aleaciones, recubrimientos y materiales compuestos) en maquinaria de obras públicas presenta una mayor índice de implantación.

Existe una gran variedad de líneas de especialización relacionadas con la MOP que se pasará a comentar a continuación, dentro de cada una de ellas se pueden encontrar gran cantidad de ejemplos entre productos industriales ya comercializados, publicaciones en revistas especializadas y científicas de alto grado de impacto, así como patentes, que demuestran la implantación de nuevos materiales en componentes tanto estructurales como funcionales:

Uno de los problemas típicos de la maquinaria de obras públicas es el elevado desgaste al que están sometidos gran parte de sus componentes: cucharas y dientes de excavadoras y maquinaria de movimiento de tierras en general están sometidos a un elevado desgaste por abrasión dada su interacción con tierra, rocas y materiales similares. Así, por ejemplo, el ciclo de vida útil de un diente de pala excavadora puede llegar a reducirse, dependiendo de la severidad de las condiciones de trabajo, a sólo una semana. Por esto se deben buscar soluciones para aumentar la resistencia a la abrasión de estos componentes, y por lo tanto, alargar su vida útil. La aplicación de nuevos materiales implica por un lado, el desarrollo de nuevas aleaciones con estas características y, por otro, nuevos recubrimientos que combinen alta dureza superficial para un funcionamiento eficiente y alta resistencia a la abrasión.

Ejemplos particulares del desarrollo de nuevos materiales (aleaciones y recubrimientos) para los componentes anteriores serían, por ejemplo, estudios publicados en revistas científicas (Wear) consistentes en la selección adecuada de materiales novedosos para dientes de excavadora (Fernández [33]), ba-

sados en aleaciones de aluminio con diferentes composiciones de aleante: cromo, vanadio y niobio. En esta misma línea, existen varias patentes publicadas sobre aleaciones de acero de elevada dureza para estos mismos componentes en MOP, basadas en aleantes de silicona, manganeso, níquel y cromo principalmente, por ejemplo, para aplicaciones de trabajo en regiones de bajas temperaturas [34]. Otro ejemplo particular lo constituiría otra patente similar [35] donde se proponen aleaciones de acero y aluminio de alta dureza y alta resistencia a la abrasión para su aplicación no sólo en palas de excavadora, sino también para rodamientos y piñones de transmisiones.

Tecnologías más novedosas incluyen el desarrollo de materiales compuestos de matriz metálica, con refuerzos cerámicos, consiguiéndose así alta resistencia al desgaste y al impacto. Sirva como ejemplo la patente de Caterpillar [36]. Del mismo modo, existen ejemplos particulares en publicaciones de revistas científicas (Hock [37]) en los que se combina acero de aleación similar a la anteriores, con recubrimientos basados en nitruración para aumentar la dureza superficial.

En lo referente al desarrollo de recubrimientos, existen también numerosos ejemplos en aplicaciones en las que las condiciones de abrasión son tan elevadas (martillos neumáticos, motoniveladoras, palas, bulldozers) que una simple aleación no resulta suficiente y se debe acudir a recubrimientos superficiales para conseguir un compromiso entre dureza superficial y resistencia a la abrasión.

Como ejemplos particulares a lo anterior, existen recubrimientos basados en la inclusión de partículas endurecidas (patentes [38] y [39] de Komatsu) en materiales base blandos por el método overlay welding method, generándose diversas capas antidesgaste superpuestas, de modo que la degradación progresiva va dejando al descubierto la siguiente intacta. También se aplican los recubrimientos de carburo de silicio para incrementar la dureza [40]. Publicaciones en revistas científicas relacionadas con el uso de recubrimientos incluyen nuevos procesos de fabricación, como el de deformación en frío (Fernández [41]) del recubrimiento una vez aplicado; o la aplicación de un recubrimiento basado en níquel sobre acero mediante LCD (laser cladding) (Wang [42]).

Finalmente, otras aplicaciones de recubrimientos relacionadas con MOP se aplican en transmisiones (Amaro [43]) y rodamientos (Heshmat [44]). En este caso, el objetivo consiste en aplicar un recubrimiento que permita dar al componente una elevada resistencia al desgaste propio de su funcionamiento en servicio, prolongando así su vida útil.

Con respecto al empleo de la tecnología de materiales compuestos, el uso extensivo de este tipo de materiales tiene lugar en aplicaciones típicas en los que el ahorro en peso constituye una variable fundamental (aeronáutica y aeroespacial, vehículos de altas prestaciones y competición), así como la capacidad de absorción de energía y protección frente a impacto (espacial). No obstante, estos materiales tienen también su campo de aplicación en el sector de MOP.

En la maquinaria de obras públicas, el ahorro en peso también es un factor a tener en cuenta, lo cual permite disminuir la tara de los vehículos, aumentando su capacidad de carga y/o transporte así como su eficiencia. En esta línea, destacar como ejemplo particular la patente publicada por Samsung Heavy Industries Co. Ltd. [45], describiendo el aligeramiento llevado a cabo en el brazo de una excavadora mediante el empleo de materiales compuestos. Este diseño presenta similares características de rigidez con respecto al diseño en acero, pero rebajando sustancialmente el peso del conjunto (50%-60%) y mejorando significativamente la eficiencia de la máquina, incrementando así el ratio entre peso del brazo y tierra removida (7-14%).

En la misma línea, Case Co. [46] realiza el diseño de la estructura soporte de una pala frontal, consistente en un diseño aligerado mediante estructura tubular de acero con perfiles abiertos y refuerzos de material compuesto resistentes a flexión, mejorando el peso del conjunto y optimizando del mismo modo la eficiencia de la máquina aumentando la capacidad de desplazamiento de tierra. Existen otros muchos ejemplos (J.C. Bamford Excavators [47]) en los que se aplican materiales compuestos para la estructura de brazos articulados y/o fijos de excavadoras y palas.

Entre otras empresas de referencia a nivel internacional en el uso de materiales compuestos podrían destacarse: Caterpillar, Liebherr, John Deere y Komatsu, entre otras. Sirva como ejemplo par-

ticular el uso de materiales compuestos en los cubremotores y carenados, de alta resistencia a la abrasión y a los rayos UV (Caterpillar y John Deere [48]). También la empresa McNeilus presenta entre sus productos un diseño de cuba de hormigonera realizado en materiales compuestos.



Figura 4: Carenado de plástico reforzado con fibra de vidrio de Caterpillar

Otras aplicaciones de los materiales compuestos en MOP hace referencia al uso de materiales compuestos estructurales en el chasis. Sirva como ejemplo la publicación de Asnafi [49], donde se analiza el funcionamiento de paneles metal-compuesto-metal aplicados en maquinaria, cuya característica es una alta resistencia al impacto y a flexión.

Otros usos están relacionados con la cabina del operario, donde cada vez los requerimientos de diseño para las cabinas en MOP están más orientados hacia el confort del mismo (Kuijt [50]) y su seguridad. Con respecto al primer aspecto, existen mejoras en el confort de cabina mediante el diseño de soportes de asiento en materiales compuestos [51], caracterizados por su alta capacidad de absorción de vibraciones. Con respecto a la seguridad, se realiza diseño de estructuras frente a vuelco (p.e.: tractores) e impacto (p.e.: dumpers y maquinaria tuneladora, que ofrezca al operario cierta protección en cabina frente al desprendimiento de tierras). Frente a esto, las propiedades de absorción de energía de los materiales compuestos son de aplicabilidad, especialmente en el diseño de estructuras antivuelco en plástico reforzado con fibra de vidrio (Etherton [52]).

Otros ejemplo adicionales serían el diseño de muelles de suspensión en materiales compuestos (Mahdi [53]), disminuyendo la

masa suspendida y el diseño de depósitos a presión, pe. para aire comprimido, en materiales compuestos de fibra continua (Vasiliev [54]).

3. IDENTIFICACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE IMPLANTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE NUEVOS MATERIALES EN EL SECTOR DE LA MOP A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL. EVALUAR EL IMPACTO DE USO DE LAS MISMAS PARA EL SECTOR

En el presente apartado, se incluye un estudio de prospectiva en el que se analizan las futuras aplicaciones de los nuevos materiales, incluyéndose en esta definición nuevos aceros y aleaciones de alta resistencia estructural, nuevos recubrimientos frente a desgaste, y el empleo de materiales compuestos estructurales, dentro del sector de maquinaria de obras públicas (MOP).

Si bien en el sector MOP, tanto a nivel nacional e internacional, se observa un grado de implantación significativo de estas tecnologías de nuevos materiales, todavía no se observa un uso extensivo y generalizado a todos los niveles que, por otra parte, presenta perspectivas de ir aumentando a raíz de datos publicados en numerosos observatorios tecnológicos, tal y como se verá a continuación.

3.1. POSIBILIDAD DE USO DE LAS TECNOLOGÍAS DE NUEVOS MATERIALES: EN QUÉ TIPO DE MÁQUINAS Y EN QUÉ APLICACIÓN

Como referencia de partida, se detallan a continuación las tendencias tecnológicas a medio y largo plazo en materiales para los sectores del transporte y la energía, publicados en el informe de prospectiva tecnológica "Materiales para el Transporte y la Energía" [1]. Dentro de estas tendencias tecnológicas, que han sido identificadas para los sectores mencionados anteriormente, se podrían señalar posibles puntos comunes con el sector de maquinaria de obras públicas (MOP):

- Aligeramiento y absorción de energía: (2) amplio uso de materiales ligeros para reducir en un 30% el peso de los componentes sustituidos y (4) desarrollo de nuevos materiales compuestos y espumas con baja densidad y capacidad de

absorción de energía sensiblemente superior a los materiales actuales.

- Recubrimientos y pinturas: (12) desarrollo de capas y recubrimientos inteligentes, resistentes al desgaste y a la corrosión, para aumentar la vida en servicio del componente.
- Materiales inteligentes: (21) desarrollo de materiales inteligentes con funciones de autodiagnóstico y autoreparación, que incorporan funciones sensoras, programadas y actuadoras.

Asimismo, en el informe de prospectiva: “Transporte: tendencias tecnológicas a medio y largo plazo” [2], se identifican como tecnologías clave asociadas a la tendencia de “Eficiencia en la Fabricación y en la Exportación”, dentro del grupo de materiales, las tecnologías avanzadas de fabricación en materiales compuestos, y nuevos materiales más eficientes y tolerantes al daño.

Todas las tendencias previamente mencionadas han sido identificadas para el futuro tecnológico de los sectores del transporte y la energía, sin embargo, pueden señalarse muchos puntos en común con el sector de maquinaria de obras públicas, en lo referente a la aplicación a medio y largo plazo de nuevos materiales (nuevas aleaciones, recubrimientos y materiales compuestos) en dicho sector.

En lo referente al uso de nuevos materiales más eficientes, en el caso de maquinaria de obras públicas podría trasladarse, por un lado, al empleo de materiales con una alta resistencia al desgaste que permita aumentar la vida en servicio de componentes. Este sería el caso aplicable para cucharas, palas y dientes de cucharas en excavadoras, cubas de hormigonera, palas, motoniveladoras, etc., en las que dichas herramientas están sometidas a una constante abrasión con el terreno o material removido durante su funcionamiento en servicio. Como se veía en el apartado anterior, la tecnología actual aplicada consiste en el uso de aceros de alta aleación para conseguir alta dureza superficial, o mediante el uso de recubrimientos cerámicos, sin embargo, no se han aplicado todavía tecnologías que permitan, al mismo tiempo, conseguir alta dureza y resistencia al desgaste y ligereza del componente. Esta tecnología en materiales existe tal y como puede verse en publicaciones científicas, p. ej., Posmyk [55] desarro-

lla un material compuesto de matriz metálica en aluminio, endurecido con cargas cerámicas o de carburo de silicio, a los que se le aplica un recubrimiento resistente al desgaste consistente a su vez en una combinación de anodizado duro junto con carga metálica adicional (níquel, etc.). De esta forma, se consigue al mismo tiempo aumentar la vida en servicio de dichos componentes y aligerar el conjunto, aumentando la eficiencia en términos de movimiento de tierra o carga útil de la máquina, como se comentaba anteriormente.

La tendencia asociada al uso generalizado de materiales más ligeros y materiales compuestos, actualmente, únicamente consiste en el empleo de aluminio en aplicaciones concretas donde típicamente se empleaba acero (p.e.: a nivel nacional, volquetes y cisternas en aluminio), y en algunas marcas comerciales concretas (Caterpillar, John Deere) en la aplicación de materiales compuestos en aplicaciones no estructurales (tapas cubremotor, carenados). Como se ha visto en el apartado anterior, existen tecnologías que permitirían su aplicación comercial de manera extensiva y generalizada, pero a día de hoy, su alcance está limitado a algunas aplicaciones particulares debido, principalmente, al sobre coste que incluiría, bien el desarrollo de la tecnología del nuevo material a la aplicación o componente concretos, bien el desarrollo de la nueva tecnología o proceso de fabricación asociados, en sustitución del antiguo.

Como contrapartida, en el sector automoción se está implantando de manera creciente el uso de materiales compuestos con funcionalidad estructural, con lo que esta misma implantación debería poder irse incorporando en parte al sector de maquinaria de obras públicas, por un lado, aprovechando la tecnología desarrollada para automoción, y por el otro, dadas las ventajas de aligeramiento del conjunto y mejora de la eficiencia / carga útil de la maquinaria que presenta el empleo de este tipo de materiales. Por ejemplo, algunas marcas comerciales ya presentan la aplicación de los materiales compuestos en la estructura del chasis de camiones, realizada íntegramente en materiales compuestos mediante el uso paneles sándwich [56], [57]. Aplicaciones similares tienen lugar en cajas de vehículos todo-terreno tipo “pick-up”, en marcas conocidas como Ford, Chevrolet [58] y Toyota [59]. Como se ha comentado, su aplicación en el chasis de MOP en gene-

ral con el objeto de mejorar la capacidad útil de transporte y movimiento de tierra en general.

Por último, el desarrollo de materiales compuestos autoreparables (Williams [60]) también podría trasladarse al sector de MOP. Estos materiales serían aplicables en componentes de carga estructural media-baja (carenados, techos de cabina), los cuales, podrían continuar su vida en servicio sin necesidad de su sustitución en caso de sufrir algún tipo de impacto.

3.2. DEFINIR EL RETO (DIFICULTAD EN SU IMPLEMENTACIÓN) Y LAS NECESIDADES DE I+D PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LAS APLICACIONES PREVISTAS EN EL SECTOR DE LA MOP

El reto principal en el caso de nuevas aleaciones, si bien aparentemente supone una menor dificultad de implementación debido principalmente gran tecnología disponible, implica sin embargo un importante esfuerzo económico por parte de las empresas (sobre todo en PYMES), para adaptar sus procesos productivos a las exigencias de los nuevos materiales. Un ejemplo de ello sería el paso del empleo de acero al aluminio en un componente que precise soldadura para su fabricación. Ello implicaría desde la formación de los operarios en la nueva tecnología de soldadura, a la adaptación o renovación de los equipos disponibles para poder llevarla a cabo.

En el caso de nuevos recubrimientos, el reto que se plantea presenta idénticas dificultades al anterior, requiriendo por parte de las empresas de un importante esfuerzo inversor que permita disponer de los equipos necesarios para poder aplicar dichos recubrimientos sobre sus componentes.

Sin embargo, y dado que la principal dificultad sería económica y no tecnológica, su aplicación podría estar preverse a corto-medio plazo, sobre todo en la parte de nuevas aleaciones estructurales (uso de aluminio en chasis) y de recubrimientos de alta resistencia a la abrasión (palas y dientes de excavadora).

El reto en el caso de aplicación de materiales compuestos es principalmente tecnológico. Consiste no sólo en el desarrollo de la tecnología del material a emplear en el componente

dado (selección del material, tipología del material), sino en el desarrollo del propio proceso de fabricación del componente. Muchas veces, la tecnología de material está desarrollada pero no tanto así el proceso productivo, o al menos, lo suficientemente desarrollado en términos de productividad y economía. Como dificultad adicional, al tratarse de tecnologías muy novedosas, se dispone de muy pocos referentes tecnológicos ya comercializados por lo que en la mayoría de los casos se debe "partir de cero".

Sobre todo, en el caso de materiales compuestos, el esfuerzo de rediseño implica además el uso de tecnologías de diseño y optimización del componente avanzadas (MEF, etc.) por personal con alta experiencia no solo en producto, sino también en proceso, lo cual supone un esfuerzo importante de desarrollo sobre todo para PYMES a nivel nacional. Por otro lado, existen programas de innovación, investigación y desarrollo (nacionales e internacionales) que permitirían, bien cofinanciar el desarrollo de la nueva tecnología, bien hacerlo dentro de un consorcio de empresas con objetivos tecnológicos similares. Estos programas serían también de aplicación en el caso de nuevas aleaciones y recubrimientos.

Por ello, es de esperar que esta implantación se deba prever a largo plazo, dependiendo además del desarrollo de estas tecnologías en otros sectores (automoción, aeronáutica) que permita su "traslación" al sector de MOP en aplicaciones / componentes que puedan ser considerados comunes.

3.3. EVALUAR EL IMPACTO DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN EL SECTOR DE LA MOP (MEJORAS Y AVANCES QUE SE PODRÍAN CONSEGUIR)

El impacto de la aplicación de tecnologías de nuevos materiales en el sector de la MOP tendría lugar a varios niveles, dentro de los cuales se podrían identificar mejoras significativas. Así, a nivel de durabilidad, el empleo de materiales más resistentes a desgaste y a abrasión (nuevos recubrimientos) permitiría alargar significativamente su ciclo de vida útil. A nivel de ahorro energético, el empleo de materiales más ligeros (nuevas aleaciones y materiales compuestos) permitiría el aligeramiento de la estructura general del vehículo con el consiguiente ahorro de combustible. Por último, a nivel de eficien-

cia, el uso de materiales ligeros, por ejemplo en brazos y palas de excavadora, permitiría aumentar también su eficiencia productiva.

Por último, existe una gran cantidad de publicaciones (Singh [61] y Koivo [62]), así como estudios publicados por el Instituto Español de Comercio Exterior (ICEX) sobre el sector de ma-

quinaria para construcción, obras públicas y minería [32], en los que se hace referencia a la futura automatización del proceso de excavación y movimiento de tierras, donde se prevé que el uso de materiales más ligeros y resistentes tengo un alto grado de influencia positiva en variables como durabilidad, eficiencia del componente y de la máquina y automatización y precisión de la misma

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Materiales para el transporte y la energía: tendencias tecnológicas a medio y largo plazo. Informe de prospectiva tecnológica industrial publicado por la fundación OPTI e INASMET. Diciembre 2003.
- [2] Transporte: tendencias tecnológicas a medio y largo plazo. Informe de prospectiva tecnológica industrial publicado por la fundación OPTI, MICYT, CDTI e INASMET. Diciembre 2001.
- [3] Informe de seguimiento: Evolución tecnológica 2005. Informe de prospectiva tecnológica industrial publicado por la fundación OPTI.
- [4] Boletín número 27 de observatorio tecnológico del sector metal-metálico publicado por la fundación OPTI, tercer trimestre de 2006.
- [5] Boletín número 25 de observatorio tecnológico del sector metal-metálico publicado por la fundación OPTI, primer trimestre de 2006.
- [6] Boletín número 23 de observatorio tecnológico del sector metal-metálico publicado por la fundación OPTI, tercer trimestre de 2005.
- [7] Patente publicada por Standard Aero LTD (núm. WO2006111025): Proyección térmica de un recubrimiento resistente al desgaste basado en óxidos cerámicos
- [8] Patente publicada por Mitsubishi Co. (núm. WO2006087778): Tratamiento superficial de componentes de aleaciones de titanio para obtener excelente resistencia al desgaste, abrasión, lubricación y fatiga.
- [9] Boletín OPTI observatorio de prospectiva tecnológica industrial número 8: Tecnologías de transformación de materiales plásticos y compuestos. Abril 2001.
- [10] Boletín número 16 de observatorio tecnológico del sector transformador del plástico publicado por la fundación OPTI, cuarto trimestre de 2006.
- [11] Boletín número 15 de observatorio tecnológico del sector transformador del plástico publicado por la fundación OPTI, tercer trimestre de 2006.
- [12] Boletín número 13 de observatorio tecnológico del sector transformador del plástico publicado por la fundación OPTI, primer trimestre de 2006.
- [13] Boletín número 11 de observatorio tecnológico del sector transformador del plástico publicado por la fundación OPTI, tercer trimestre de 2005.
- [14] Patente publicada por Airbus Deutschland GmbH (núm. De-102005016654): Estructura tipo sándwich para absorber el ruido en aviones
- [15] Patente publicada por Boeing Co (núm. US-2006222837): Estructura laminada de material compuesto para naves aeroespaciales
- [16] MAO, K. (2007), "A new approach for polymer composite gear design". *Wear*. No 262: pp 571-577 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [17] AYKUT, S., BAGCI, E., KENTLI, A., YAZICIOGLU, O. (2006), "Experimental observation of tool wear, cutting forces and chip morphology in face milling of cobalt based super-alloy with physical vapour deposition coated and uncoated tool". *Materials and Design*. Article In Press. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [18] DEUIS, R.L., SUBRAMANIAM, C., YELLUP, J.M. (1997), "Dry sliding wear of aluminium composites – a review". *Composites Science and Technology*. No. 57: pp 415-435 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [19] MEHTA, D.S., MASOOD, S.H., SONG, W.Q. (2004), "Investigation of wear properties of magnesium and aluminium alloys for automotive applications". *Jour. of Materials Processing and Technology*. No. 155-156: pp 1526-1531 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [20] WANG, X., ZHANG, M., ZOU, Z., QU, S. (2006), "Wear properties of cemented carbides/Cu-based alloy composite strengthening materials for milling shoes". *Wear*. No. 260: pp 10-15 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [21] BECKER, E.P. (2004), "Trends in tribological materials and engine technology". *Tribology International*. No. 37: pp 569-575 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [22] PODGORNİK, B. (2001), "Coated machine elements – fiction or reality". *Surface and Coatings Technology*. No. 146-147: pp 318-323 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [23] FAGA, M.G., SETTINERI, L. (2006), "Innovative anti-wear coatings on cutting tools for wood machining". *Surface and Coatings Technology*. No. 201: pp 3002-3007 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [24] FERNANDEZ, J.E., VIJANDE, R., TUCHO, R., RODRÍGUEZ, J., MARTIN, A. (2001), "Effect of cold deformation on the abrasive resistance of coatings with applications in the mining industry". *Wear*. No. 250: pp 28-31 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [25] MAMALIS, A.G. et. al. (1997), "Crashworthy capability of composite material structures. Review". *Composite Structures*. No. 37: pp 109-134 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

- [26] SANCAKTAR, E., GRATTON, M. (1999), "Design, analysis and optimisation of composite leaf springs for light vehicle applications". *Composite Structures*. No. 44: pp 194-204 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [27] FERABOLI, P., MASISNI, A. (2004), "Development of carbon/epoxy structural components for a high performance vehicle". *Composites Part B: Engineering*. No. 35: pp 323-330 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [28] Página web del Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo: "cordis.europa.eu/es".
- [29] Página web de la Asociación Española de Fabricantes Exportadores de Maquinaria para Construcción, Obras Públicas y Minería: "www.anmopyc.es".
- [30] "El sector de la maquinaria de construcción en la España de la CEE". *Revista de Obras Públicas*, Abril-Mayo 1986, pp 333-338.
- [31] "Mercado español de maquinaria para movimiento de tierras: doce años de bonanza". *Revista e-maquinaria*, Febrero 2007.
- [32] "España: sector de maquinaria para construcción, obras públicas y minería". Informe del sector publicado por el Instituto Español de Comercio Exterior (ICEX), Mayo de 2006.
- [33] FERNÁNDEZ, J.E., et. al. (2001), "Materials selection to excavator teeth in mining industry". *Wear*. No. 250: pp 11-18 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [34] Patente publicada por Horiuchi et al. (núm. US-4216014): Low temperature steel alloy.
- [35] Patente publicada por Takayama (núm. US-0047757 A1): High hardness, high toughness steels and crawler components, earth wear resistant components.
- [36] Patente publicada por Caterpillar Inc. (núm. US-5743033): Earthworking machine ground engaging tools having cast-in-place abrasion and impact resistance metal matrix components.
- [37] HOCK, K., et. al. (1996), "Wear resistance of pernitrided hardcoated steels for tools and machine components". *Surface and Coatings Technology*. No. 88: pp 44-49 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [38] Patente publicada por Komatsu Ltd. (núm. US-5852272): Wear resistant overlay forming method and wear resistant composite members.
- [39] Patente publicada por Komatsu Ltd. (núm. EP-0726117 A1): Method of forming wear resistant padding layer and wear resistant composite materials.
- [40] Patente publicada por Waldenström (núm. US-4584020): Wear part with high wear strength.
- [41] FERNÁNDEZ, J.E., et. al. (2001), "Effect of cold deformation on the abrasive resistance of coatings with applications in the mining industry". *Wear*. No. 250: pp 28-31 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [42] WANG, P.Z., et. al. (1997), "Laser cladding coating against erosion-corrosion wear and its application to mining machine parts". *Wear*. No. 209: pp 96-100 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [43] AMARO, R.I., et. al. (2005), "Molybdenum disulphide/titanium low friction coating for gears application". *Tribology International*. No. 38: pp 423-434 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [44] HESHMAT, H., et. al. (2005), "Low-friction wear-resistant coatings for high-temperature foil bearings". *Tribology International*. No. 38: pp 1059-1075 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [45] Patente publicada por Samsung Heavy Industries Co. Ltd. (núm. US-5245770): Dipper stick for excavator of high strength polymeric composite materials and method for manufacturing.
- [46] Patente publicada por Case Co. (núm. US-2002/0085905 A1): Lift arm structure for a work vehicle.
- [47] Patente publicada por J.C. Bamford Excavators Ltd. (núm. US-6842119 B2): Detecting damage to an structural member.
- [48] "Caterpillar adopts hybrid engine hoods". *Revista Reinforced Plastics*, Febrero 2003, pp4
- [49] ASNAFI, N., et. al. (2000), "A new lightweight metal-composite-metal panel for applications in the automotive and other industries". *Thin-walled structures*. No. 36: pp 289-310 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [50] KUIJTEVERS, L.F.M., KRAUSE, F., VINK, P. (2003), "Aspects to improve cabin comfort of wheel loaders and excavators according to operators". *Applied ergonomics*. No. 34: pp 265-271 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [51] Patente publicada por Gremo Svenska AB. (núm. WO-02/064398 A1): A supporting frame for a seat in a vehicle.
- [52] ETHELTON, J.R., RONAGHI, M., CURRENT, R.S. (2007), "Development of a pultruded FRP composite material ROPS for farm tractors". *Composite structures*. No. 78: pp 162-169 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [53] MAHDI, E., et. al. (2006), "Light composite elliptic springs for vehicle suspension". *Composite structures*. No. 75: pp 24-28 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [54] VASILIEV, V.V., KRIVANOV, A.A., RAZIN, A.F. (2003), "New generation of filament wound composite pressure vessels for commercial applications". *Composite structures*. No. 62: pp 449-459 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [55] POSMYK, A. (2003), "Influence of material properties on the wear of composite coatings". *Wear*. No. 254: pp 399-407 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [56] "Composite replaces aluminium in truck body". *Revista Reinforced Plastics*, Mayo 2006, pp8.
- [57] "Truck's composite chassis takes the load". *Revista Reinforced Plastics*, Marzo 2000, pp58.

- [58] "Truck boxes drive composites growth". Revista Reinforced Plastics, Febrero 2001, pp10.
- [59] "Composite truck beds pick up business". Revista Reinforced Plastics, Febrero 2005, pp38.
- [60] WILLIAMS, G., TRASK, R., BOND, I. (2007), "A self-healing carbon fibre reinforced polymer for aerospace applications". Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing. No. 38: pp 1525-1532 Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [61] SINGH, S. (1997), "State of the Art in automation of earthmoving". Journal of Aerospace Engineering. No. 10: pp 179-188 American Society of Civil Engineers.
- [62] KOIVO, A.J., THOMA, M., KOCAOGLAN, E., ANDRADE-CETTO, J. (1996), "Modelling and control of excavator dynamics during digging operation". Journal of Aerospace Engineering. No. 9: pp 10-18 American Society of Civil Engineers.

5.15. Herramientas de realidad virtual para aprendizaje y manejo de maquinaria de construcción y obra pública

José Ignacio Lalana Salaver

Responsable de Dpto. de Ingeniería del Conocimiento y e-Servicios, Instituto Tecnológico de Aragón (ITA)

1. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS BÁSICOS DE LA TECNOLOGÍA ASOCIADA A LA TENDENCIA TECNOLÓGICA A NIVEL GENERAL

El contenido de este documento describe el estado del arte y tendencias futuras en el aprendizaje y manejo de maquinaria de construcción y obra pública mediante el uso de herramientas de realidad virtual y realidad aumentada. Igualmente se hace referencia a determinados casos de éxito actuales en otro tipo de sectores, punteros en la aplicación de estas herramientas de realidad virtual, tan conocidos como:

- Sector aeronáutico: Con sus aplicaciones de simuladores de vuelo para el aprendizaje inicial de los pilotos antes de iniciarse en vuelos reales con sus instructores.
- Sector militar: Con sus aplicaciones de simuladores de combate de aviones, submarinos, ...etc. De tal forma, que los soldados se enfrenten a situaciones reales de guerra en un entorno simulado, evaluando sus capacidades de respuesta en situaciones extremas, las cuales en un entorno real difícilmente podrían ser objeto formativo.

1.1. LA NECESIDAD DEL APRENDIZAJE EN EL MANEJO DE MAQUINARIA

La aplicación del entrenamiento para la obtención de habilidades puede resultar muy útil, en caso de situación de emergencia donde el tiempo de reflexión debe ser mínimo; la acción debe tomarse sobre el reconocimiento de una situación habitual. Una situación similar es hallada en el ejercicio repetitivo de pilotos en simuladores de vuelo. Esta clase de entrenamiento, es un proceso de incorporar conocimiento tácito en conocimiento explícito, es decir, hacer que el conocimiento personal, arra-

gado en el individuo a través de sus ideales, valores o emociones y difícil de transmitir o compartir con otros, se convierta en un conocimiento expresable en lenguaje ordenado, fácilmente transmisible por medio de los individuos de una manera formal, y que además puede ser procesado por un computador.

En el uso de simuladores, es muy importante que la situación de entrenamiento sea muy similar a la realidad. Por lo tanto, el simulador debe proporcionar una reflexión real del sistema de control de la máquina o proceso y de los procesos o respuestas subyacentes. Las reacciones rápidas y exactas pueden reproducirse/aprenderse solamente en un simulador de alta fidelidad.

Desafortunadamente, las habilidades físicas se deterioran cuando no se utilizan. Por lo tanto, un operador experimentado pierde sus capacidades en un cierto plazo de tiempo. Esto implica que las sesiones repetidoras del entrenamiento, son necesarias para mantener la capacidad de los operadores de las máquinas y ocuparse de situaciones infrecuentes que en un entorno virtual pueden ser reproducibles (situaciones del entorno de operación, situaciones meteorológicas adversas, ...etc). La degradación de las habilidades es una facultad que busca disminuirse en los operadores de las máquinas, y solo con el dominio y el aprendizaje total de las habilidades, hasta el punto de automatización, podría mejorar esta situación hasta el grado que el operador realice sus tareas con el menor esfuerzo consciente, reduciendo de tal manera el adiestramiento frecuente para reforzar los conocimientos de los mismos.

Existen 3 líneas de actuación sobre las cuales inciden las herramientas de realidad virtual:

- Ventajas del aprendizaje por simulación:

- Reducción del tiempo de aprendizaje. Ahorro de energía, sin repercusión en el medio ambiente.
- Utilización de un espacio reducido para el periodo formativo.
- No tiene riesgo para las personas, máquinas y demás objetos.
- Independencia respecto al entorno productivo real.
- Ahorro de tiempo para el instructor con el apoyo del simulador.
- Posibilidad de reproducir diversas situaciones formativas, es decir, pueden repetirse los ejercicios en función de los errores cometidos.
- Es posible reproducir emergencia o situaciones que no son practicables en la máquina real.
- Reducción de costes.

Rentabilidad a través de la seguridad: La anticipación es el método más eficaz para la prevención. A través de la simulación de las situaciones de riesgo, puede anticiparse/prepararse a circunstancias, accidentes e incidentes, reforzando la fiabilidad del factor humano mediante revisiones, reconocimientos y actualizaciones periódicas.

Puestos de alto riesgo: El manejo de una máquina significa el dominio de una serie de condicionantes ambientales y personales que hacen necesaria una preparación muy específica para estos puestos. Las responsabilidades del operario de estas máquinas, así como las circunstancias del entorno, lo convierten en puestos de alto riesgo donde las aptitudes y grados de reacción de los operadores deben ser desarrolladas y estudiadas con rigor, ya que, se trabaja de forma aislada. De sus capacidades psicofísicas depende la seguridad de otros trabajadores.

1.2. LA REALIDAD VIRTUAL

La realidad virtual es un fenómeno percibido a través de los sentidos, que se desarrolla en un espacio ficticio, en un paréntesis de la realidad. La realidad virtual es un sistema interactivo, que permite sintetizar un mundo tridimensional ficticio, creando una

ilusión de realidad. La realidad virtual básicamente consiste en simular todas las posibles percepciones de una persona, como los gráficos para la vista, sonido, tacto e incluso sensaciones de aceleración o movimiento. Todas estas sensaciones diferentes, deben ser presentadas al usuario de forma que se sienta inmerso en el universo generado por el ordenador, hasta el punto de dejar de percibir la realidad y ser engañado, sentirse transportado (al otro lado de la pantalla) como si de un universo nuevo se tratase.

Su comienzo se traslada a finales de los 70's, como material de una clase de aviación en el Dpto. de defensa de los Estados Unidos, para hacer simulaciones de vuelo, practicando y no arriesgando vidas. Posteriormente en 1985 Scott Fisher considerado uno de los "Padres Fundadores" de la realidad virtual, creó el VISIOCASO más avanzado, en la Nasa Ames Center. En este momento, empiezan a surgir equipos de desarrollo trabajando en lo que era la tecnología de realidad virtual, y empiezan a verse los primeros resultados comerciales:

- 1980: La compañía StereoGraphics hace las gafas de visión estéreo.
- 1982: Thomas Zimmerman patenta un Electroguante que inventó mientras investigaba sobre como controlar con la mano un instrumento musical virtual.
- 1987: La compañía Inglesa Dimensión Internacional desarrolla un Software de construcción de mundos tridimensionales sobre PC.
- 1988: Scott Foster inventa un dispositivo para la generación de sonido tridimensional.
- 1989: ATARI saca al mercado la primera máquina de galería de vídeo juegos con tecnologías 3D. En ese mismo año Autodesk presenta su primer sistema de realidad virtual para PC.

En este momento se comienza la carrera comercial de los sistemas de realidad virtual invadiendo el mercado.

Los primeros albores de la realidad virtual pueden remontarse, según algunos autores, a distintas épocas, pero uno de los precedentes más claros, es la industria del cine. Desde siempre la cinematográfica ha intentado crear formatos de imagen y sonido, que hiciesen creer al espectador que se encontraba formando parte de la escena. De este intento, han surgido

tecnologías como el Cinemascope o posteriormente el Omnimax, así como sistemas de sonido del tipo del Dolby Surround.

1.3. EQUIPAMIENTO UTILIZADO

Para Visión:

La realidad virtual en el área de la visión, trabaja básicamente con dos tipos de implementos: cascos y boom, este último es un equipo, que consiste en un brazo mecánico que sostiene un display, que al girarlo puede observarse el entorno del mundo virtual en el cual se está; debido a que su peso es soportado por el brazo mecánico y no por el usuario, como ocurre con el casco, este puede ser un equipo de mayor complejidad y contenido electrónico, lo cual se traduce en ventajas tales como la obtención de una mejor solución. A continuación, se comentan algunas características de estos equipos:

Visión estereoscópica: Es la sensación de ver una determinada imagen en 3 dimensiones, esto se logra haciendo una representación igual para cada ojo de la imagen que se va a observar, estas representaciones son posteriormente proyectadas desde un mismo plano y separadas una distancia, que está determinada por la distancia a la cual se encuentra el observador del plano de las imágenes. Desde este punto de vista, también existen equipos de visión monocular a través de los cuales se visualizan los objetos en la forma habitual.

Binoculares: Son equipos que constan de una pantalla individual para cada ojo, para el funcionamiento de la visión estereoscópica, es necesario tener un equipo que tenga esta característica; para equipos de visión monoscópica esta característica es opcional. Así mismo, también existen equipos monoculares, los cuales constan de una sola pantalla para ambos ojos.

Para Interactuar:

En la actualidad la realidad virtual está haciendo uso de guantes y vestidos, como medio para interactuar en un ambiente virtual, para lograr esto, estos dispositivos se comportan inicialmente como dispositivos de entrada, que le permiten al computador conocer la ubicación del usuario dentro del ambiente virtual, así mismo, le permiten al usuario ubicarse en el

medio e interactuar con él y en algunos casos recibir ciertos estímulos donde estos dispositivos se convierten en dispositivos de salida. Algunas sensaciones o estímulos que se pueden recibir son:

- Sensación de estar sosteniendo un objeto que se ha cogido dentro del ambiente virtual, esto se logra gracias a unas almohadillas que se inflan en el guante y dan la sensación de percibir un peso.
- Percepción de la rugosidad y forma propias de objetos situados en el interior del ambiente virtual, lo cual se logra gracias a que algunos dispositivos tienen partes de aleaciones con memoria que tras variaciones en la temperatura toman formas que se les han practicado con anterioridad.

Para Audición:

Los audífonos son el equipo básico empleado para escuchar los sonidos propios de un ambiente virtual. A continuación se presentan algunas variantes de estos equipos:

- Audífonos convencionales: Son los audífonos de uso más corriente, a través de éstos se escucha el sonido simulado de los objetos, sin identificar auditivamente el punto de ubicación del mismo.
- Convolotrón: Estos audífonos además de simular el sonido propio de los objetos, simulan la ubicación de los mismos dentro del ambiente virtual.

Cabinas de Simulación:

Como su nombre lo indica, son grandes aparatos en los que se sumerge al usuario como si maniobrara un vehículo cabinado (simuladores de vuelo, submarinos,...).

Niveles de Tecnología de Realidad Virtual:

En la práctica de Realidad Virtual, muchos dispositivos de hardware son utilizados. La tecnología utilizada en Realidad Virtual puede ser clasificada en cuatro categorías o niveles:

- Nivel de Entrada: Es el que utiliza un computador personal o estación de trabajo, e implementa un sistema "Window on a

World”, es decir, la representación del mundo a través de la pantalla, como si se tuviera una “ventana al mundo”

- Nivel Básico: Cuando se agrega unas ampliaciones básicas de interacción (guante o Mouse 3D) y visión (Gafas estereoscópicas).
- Nivel Avanzado: El siguiente paso en la tecnología de Realidad Virtual es un mejor despliegue de los gráficos y mejor manejo de información de entrada. Esto generalmente se logra con aceleradores gráficos, e incorporación de procesadores en paralelo.
- Nivel Inmersivo: En este nivel, se han agregado al sistema de Realidad Virtual dispositivos más inmersivos, que le añaden realismo: HMD, Boom, feedback táctil...

Mecanismos básicos de la Realidad Virtual:

Existen cinco mecanismos habitualmente empleados en las aplicaciones de la realidad virtual. Estos son:

- Gráficos tridimensionales (3D).
- Técnicas de estereoscopia: Esta técnica permite al usuario no solo percibir las claves de la profundidad, sino además ver la imagen en relieve. Esto se debe a que la imagen que percibe cada ojo es algo distinta lo que le permite al cerebro comparar las dos imágenes y deducir, a partir de las diferencias relativas
- Simulación de comportamiento: La simulación en el mundo virtual no está precalculada, ésta se va calculando en tiempo real.
- Facilidades de navegación: Es el dispositivo de control, el que permite indicar el nivel o detalle de navegación, esto se realiza a través de un joystick o de las teclas de control del computador o también puede realizarse mediante el movimiento de la cabeza, en ese momento el sistema detecta el hecho y desplaza la imagen de la pantalla.
- Técnicas de inmersión: Consisten en aislar al operador de los estímulos del mundo real, al quedar privado de sensaciones procedentes del mundo real, de esta forma se pierde una referencia con la cual puede compararse las sensaciones producidas por el mundo virtual.

Qué equipo se utiliza para crear Realidad Virtual:

El equipo puede dividirse en tres partes:

- Los factores de entrada: toman la información del usuario y la mandan a la computadora, el guante y sensores de posición/orientación son un ejemplo.
- Los factores de salida: sacan información de la computadora y la presentan al usuario, un ejemplo de ellos pueden ser los displays del casco y altavoces son los más usados.
- El motor de realidad: es la computadora encargada de ejecutar el universo virtual.

1.4 APLICACIONES EN GENERAL MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL

La Realidad Virtual es una tecnología que puede ser aplicada en cualquier campo, como la educación, gestión, telecomunicaciones, juegos, entrenamiento militar, procesos industriales, medicina, trabajo a distancia, consulta de información, marketing, turismo, etc.

Una de las principales aplicaciones es la telerobótica, que consiste en el manejo de robots a distancia, pero con la salvedad de que el operador ve, lo que el robot está viendo, e incluso tiene el tacto de la máquina.

En la industria se utiliza también la Realidad Virtual para mostrar las funcionalidades de aquellos productos, que sería demasiado caro enseñar de otra manera o simplemente no están contruidos al tratarse de un desarrollo a medida. Se están utilizando sistemas de este tipo, por ejemplo, para el diseño de calzado deportivo, permitiendo acortar los tiempos de diseño de un producto de vida muy corta en cuanto a la permanencia de un modelo en el mercado.

La Realidad Virtual también se utiliza para el tratamiento de sistemas que no pueden ser manejados en el mundo real. Por ejemplo, simulaciones de enfrentamientos bélicos, o simuladores de vuelo.

Otro campo de aplicación es el de la construcción de edificios. Entre otras posibilidades, la realidad virtual permite el diseño del interior y exterior de una vivienda antes de construirla, de

forma que el cliente pueda participar en el mismo, realizando una visita virtual de la vivienda que va a construirse.

En el ámbito de la medicina, además de facilitar la manipulación de órganos internos del cuerpo en intervenciones quirúrgicas, la realidad virtual permite, entre otras posibilidades, la creación para los estudiantes de medicina de pacientes virtuales, que adolecen de diversas enfermedades y presentan los síntomas característicos para poner en práctica las habilidades terapéuticas del futuro médico. En el tratamiento de fobias también se ha comprobado la utilidad de los sistemas de realidad virtual, donde el paciente tiene el control de la "realidad" y puede ir manejando su experiencia dentro de la misma [21].

Otras aplicaciones científicas de la Realidad Virtual consisten en el estudio de tormentas eléctricas, los impactos geológicos de un volcán en erupción, el diseño de compuestos químicos, el análisis molecular, la investigación en ingeniería genética, etc.

1.5. REFERENTES TECNOLÓGICOS NACIONALES E INTERNACIONALES

- The Human Interface Technology Lab (HITLab): Laboratorio de Investigación y Desarrollo referente a nivel mundial dentro de HIT (Human Interface Technology). Está situado en la Universidad de Washington (Seattle – USA).
- The Human Interface Technology Laboratory New Zealand (HIT Lab NZ): Centro de Investigación en Interfaces Hombre-Máquina, situado en la Universidad de Canterbury in Christchurch, New Zealand.
- Indra. Compañía española líder en tecnologías de la información y Sistemas de Defensa. Posee una línea de I+D importante en simulación.

2. ESTADO ACTUAL DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN EL SECTOR DE LA MOP A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

El estado actual de aplicación de estas herramientas/tecnologías de realidad virtual y realidad aumentada en el sector de la MOP es de crecimiento en una etapa inicial. No hay duda de los importantes avances realizados, aunque sigue existiendo grandes diferencias a los avances realizados en otros sectores

donde esta tecnología puede empezar a considerarse como madura (aeronáutico y militar).

En la actualidad existen líneas de actuación claramente definidas en la aplicación de realidad virtual en maquinaria de construcción y obras públicas, estando inicialmente concebidas con fines comerciales y formativos, aunque existen nuevas líneas emergentes:

- En la parte comercial el principal objetivo perseguido, es la demostración a través de simuladores de las características que posee una determinada maquinaria. En muchas ocasiones los clientes finales de la maquinaria han conocido su apariencia y funcionalidad a través de un simulador con el cuál han podido comprobar y experimentar su funcionamiento. Muchos de estos simuladores permiten el incluir "extras" en la maquinaria, pudiendo el cliente configurarse la máquina a su necesidad siendo un argumento excelente de venta de maquinaria costosa confeccionada a medida.
- En la parte formativa el objetivo perseguido es agilizar el aprendizaje de los operadores en el manejo de la maquinaria, prestando especial hincapié en la complejidad de las posibles maniobras/operaciones que pueden ser realizadas, con su riesgo añadido tanto para el operador como para su entorno (persona, la propia maquinaria u otra, ...etc).
 - Reducción de costes y aumento de productividad: Se reducen los gastos derivados del uso y transporte de la maquinaria al ámbito del adiestramiento, limitando su tiempo ocioso y aumentando la productividad.
 - Disminución de los costes de mantenimiento producidos por su mal uso.
 - Recrear escenarios y obras reales. Esto permite la práctica en entornos que se encuentran a miles de kilómetros de distancia realizando un sólo click de ratón.
- Prevención de riesgos y seguridad laboral: La realización de prácticas en un entorno simulado permite evitar los riesgos que supondría ejecutarlos en situaciones reales. La simulación permite la realización y repetición de ejercicios y maniobras complejas o peligrosas, así como también la simulación de averías y condiciones meteorológicas adversas, sin que ello suponga ningún peligro para el instructor y el alumno. Todo esto permite al operador poseer una experiencia previa, en la cuál

apoyarse para realizar acciones o tomar las decisiones pertinentes en caso de enfrentarse a alguna situación real extrema.

- Una línea emergente en torno a la realidad virtual/aumentada es el apoyo en el diseño y desarrollo de nuevos productos industriales y/o modificación de los actualmente desarrollados, de tal forma, que puedan evaluarse ciertas características del producto sin necesidad de ser fabricado, en muchas ocasiones ni en su versión prototipo. Esta serie de características puede ser: confort, funcionalidad, accesibilidad y usabilidad entre otras. Estas características que para el usuario final serán las más perceptibles, son difícilmente evaluables en la fase de diseño de producto, postponiendo la evaluación de las mismas a la fase de construcción de un prototipo y cerrando el ciclo con una nueva fase de rediseño.

Como ejemplos de proyectos/aplicaciones afines al sector a nivel nacional pueden citarse entre otros a:

- VAR-TRAINER Project [12]: Este proyecto de investigación coordinado por IKERLAN estando englobado dentro del VI Programa Marco de la Unión Europea en la categoría de "Collaborative Research Projects". Su duración es de 36 meses comprendidos entre 2004 y 2007. En dicho proyecto colaboran:

- 7 grupos o asociaciones industriales europeas: CNC (es), ANMOPYC (es), VDMA (de), ZSPS (sk), AECOPS (pt), AEP (pt) y ANCE (it)
- 3 centros investigación europeos: OKTAL(fr), FHG-IGD (de) e IKERLAN (es).
- 3 pequeñas/medianas empresas: ENGIARTE (pt), LEGARRA (es) y ROMANA SCAVI (it).



Figura 1. Cabina de simulación del proyecto VARTRAINER

- Empresa INMERSIO: Especializada en el desarrollo de simuladores de entrenamiento y en soluciones innovadoras de visualización. Como ejemplos aplicables al sector de maquinaria de construcción y obras públicas cabe citar:

- Simulador de tuneladora jumbo Rocket Boomer L2 C de Atlas Copco (figura 2). [13]
- Simulador de retrocargadora 3CX de JCB (figura 3). [14]



Figura 2. Simulador de tuneladora



Figura 3. Simulador retrocargadora

- INDRA: Centro de Simulación de Maquinaria de Obras Públicas en 2005 situado en la comunidad autónoma de Madrid [15]. Inicialmente el centro estaba dotado de dos cabinas de entrenamiento que simulaban el funcionamiento de: un dumper y una pala cargadora y de una motoniveladora y una retroexcavadora, respectivamente.

- INDRA: Grúa pórtico, este tipo de grúa posee una gran extensión de alcance que permite trabajar con vehículos de considerables dimensiones, tanto en la industria naval como en la ferroviaria. La tarea de la grúa pórtico es la estiba y desestiba de contenedores. Su elevada altura hace que sea una máquina difícil de operar. El desarrollo del simulador da solución a un aprendizaje sin riesgos que recreando el entorno real del trabajo, capacitando así la formación del operario en este tipo de maquinaria. [16]

- Fundación Santa Bárbara: Proyecto AVANCE, consiste en la implantación de simuladores de maquinaria de movimiento de tierras. Persigue la eficiencia y eficacia de la formación de operadores de maquinaria de movimiento de tierras. Colaboradores en el desarrollo de este proyecto han sido: INDRA, CEIT, FINANZAUTO y E.S.M [17]



Figura 4. Cabina de simulación del proyecto AVANCE

Como ejemplos de proyectos/aplicaciones afines al sector a nivel internacional pueden citarse entre otros a:

- SANDVIK [18]: Simulador de maquinaria de perforación, el cuál fue presentado en la feria de BAUMA 2007. Los objetivos perseguidos son principalmente la eficacia de la formación del personal, al contener módulos de ejercicios diseñados por profesionales con experiencia y un entorno de trabajo adaptado a que los operarios puedan practicar, equivocarse y aprender sin riesgo alguno para ellos mismos o para la máquina con la que están practicando.
- INDRA: Convenio firmado entre INDRA y la Mutual de Trabajadores Camioneros "15 de Diciembre 2006" (Argentina) para el desarrollo de dos simuladores y seis presimuladores de manejo [19]. Las características generales de estos simuladores son:
 - Interacción de los conductores en diferentes escenarios simulando viajes por rutas, autopistas, cruce de centros urbanos y caminos de montaña, todos ellos transitados por diferentes tipos de vehículos como los que el chofer encontrará en la realidad, como autos, motos, ambulancias y camiones de bomberos.
 - Evaluación de la capacidad de reacción y reflejos de los conductores ante variables del tránsito como: densidad de tráfico, averías imprevistas, semáforos y hasta la posible agresividad exteriorizada durante el trayecto por los demás conductores.

3. DEFINIR LA TENDENCIA TECNOLÓGICA EN EL SECTOR DE LA MOP A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL. EVALUAR EL IMPACTO DE USO DE LAS MISMAS PARA EL SECTOR

La tendencia tecnológica en realidad virtual aplicada al sector de maquinaria de construcción y obra pública, avanza hacia la llamada realidad aumentada, que ya está siendo aplicada en otros sectores.

La Realidad Aumentada consiste en añadir gráficos virtuales, en tiempo real, al campo de visión de una persona. Su finalidad es superponer al entorno real la información que interesa visualizar. Se diferencia de la realidad virtual en que mientras ésta pretende reemplazar al mundo real, la Realidad Aumentada lo que hace es complementarla [11].

La Realidad Virtual introduce al usuario en un ambiente informático artificial, pero la Realidad Aumentada no aleja al usuario de la realidad, sino que lo mantiene en contacto con ella al mismo tiempo que interactúa con objetos virtuales. La Realidad Aumentada es en la práctica un interfaz alternativo a la pantalla del ordenador que se aplica en diversos campos, como medicina, ocio, mantenimiento de maquinaria, arquitectura, robótica, industria, etc.

Por ejemplo, con esta tecnología es posible que un mecánico detecte un fallo en el motor sin necesidad de desarmarlo, ya que mediante la Realidad Aumentada puede apreciar la totalidad de su estructura con sólo resaltar en su videocasco las secciones marcadas en el motor. Lo mismo puede decirse de la medicina, que gracias a esta tecnología puede observar los tejidos del cuerpo mediante una ampliación virtual del organismo, sin necesidad de recurrir a los rayos X. Como ejemplos prácticos de esta tecnología podrían ser:

- Herramientas de decoración de interiores con la que podría visualizarse muebles virtuales en nuestro propio hogar y cambiarlos de sitio, color, textura, ...etc
- Herramientas para la reconstrucción virtual del patrimonio histórico en la realización de visitas virtuales.
- Mantenimiento de plantas industriales, nucleares, térmicas, ...etc, donde los operadores llevan consigo un equipo de re-

alidad aumentada para facilitarles las labores de identificación y corrección de anomalías detectadas.

Ejemplos de posibles aplicaciones de la realidad aumentada aplicada al sector de maquinaria de construcción y obras públicas, podrían ser:

- Herramientas para la realización del aprendizaje, por parte del operador de una máquina en entorno real pero guiado mediante una aplicación basada en realidad aumentada, siendo una etapa posterior a la fase de aprendizaje en un simulador de la máquina mediante realidad virtual.
- Herramientas para la visualización de tuberías de conducción de agua, gas y electrificación según los planos urbanísticos actualizados, de tal forma, que un operador de una máquina excavadora podría estar visualizando la situación de las mismas sobre el entorno real y de esa forma reducir el riesgo que ese tipo de excavaciones posee.
- Herramientas para la realización de mantenimiento ó reparación guiada por mecánicos especialistas, al permitir poder obtener visualizar en tiempo real la información correspondiente al elemento a reparar como por ejemplo: fecha fabricación, proveedor, plazo de entrega, coste aproximado, instrucciones de montaje y desmontaje, ...etc.

Cualquier tipo de máquina puede ser controlada por un operador que lleva consigo un equipo de realidad aumentada, permitiéndole obtener una mayor información del medio / entorno que le rodea en un determinado momento.

3.1. DEFINIR EL RETO (DIFICULTAD EN SU IMPLEMENTACIÓN) Y LAS NECESIDADES DE I+D PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LAS APLICACIONES PREVISTAS EN EL SECTOR DE LA MOP

La tecnología de la Realidad Aumentada, aunque viene desarrollándose desde hace más de una década, no ha alcanzado todavía toda su capacidad, ya que debe resolver desafíos tecnológicos importantes:

- Uno de ellos se refiere a la necesidad de saber dónde se sitúa el usuario con referencia a su alrededor.

- También persiste el problema del seguimiento para reconocer los movimientos del videocasco y proyectar los gráficos relacionados con el ambiente desde el ángulo en el que está observando la realidad. Aparentemente, estos problemas han sido resueltos en la tecnología de la Realidad Aumentada aplicada a la reconstrucción de edificios antiguos.
- Hay que tener en cuenta que los objetos virtuales generados por computadora deben posicionarse siempre en referencia al mundo real. La tecnología debe asegurar que el usuario perciba la fusión entre las imágenes reales y virtuales de forma correcta: el software debe actualizar los elementos superpuestos, conforme el usuario y los objetos visibles se mueven, para dar una imagen coherente a los ojos del usuario.
- Incidir sobre otro tipo de sentidos que no sean los propios de visión y oído, como por ejemplo olfato, tacto y gusto.
- Portabilidad del equipamiento requerido para un sistema de realidad aumentada. Actualmente el equipamiento móvil de altas prestaciones, son ordenadores o videoconsolas de última generación, que a través de un sistema de baterías para su alimentación, son introducidos en pesadas mochilas soportadas por los usuarios.

3.2. EVALUAR EL IMPACTO DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN EL SECTOR DE LA MOP (MEJORAS Y AVANCES QUE SE PODRÍAN CONSEGUIR)

La tecnología en el aprendizaje, como todo, debe ser ponderada justamente y ubicada en el lugar que le corresponde. No tiene sentido ser, por principio, tecnófilo ni tecnófobo. Cada persona debe utilizar los recursos que necesite acorde a sus necesidades, no perdiendo de vista el objetivo final a alcanzar. Debe evitarse el ser llevados por el uso instrumental y no reflexivo. La formación en el uso de los medios, la experimentación, la creatividad, pueden ser herramientas muy útiles en el camino de la aplicación de un buen método de aprendizaje sobre el manejo de maquinaria.

La utilización de la tecnología no es "lo mejor", ni tampoco es "lo peor". Lo que puede resultar o no perjudicial es el uso que de ella se haga y cómo se enseñe a utilizarla (un cuchillo puede servir para cortar pan pero también para cortarse un dedo accidentalmente). No debe olvidarse que la incorporación de una tecnología en un proceso de enseñanza-aprendizaje, no con-

lleva necesariamente una mejora en la calidad del mismo. Es más, puede producir el efecto contrario al deseado si el uso de la misma no se realiza adecuadamente.

La aplicación de las nuevas tendencias de realidad aumentada, dará un mayor valor añadido a los productos. Actualmente en el sector industrial mundial, la realidad virtual/aumentada ya representa un mercado de 1.500 millones de dólares, quizá a nivel mundial no sea un indicador muy correcto pero se está observando un crecimiento anual del 10% al 12% [20].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rolf R. Hainich, *The End of Hardware - A Novel Approach to Augmented reality*, Booksurge, 2nd Ed. Nov. 2006.
- [2] Michael Haller, Mark Billinghurst, Bruce Thomas, *Emerging Technologies of Augmented Reality: Interfaces and Design*, Idea Group Publishing, Nov 2006.
- [3] Oliver Bimber and Ramesh Raskar, *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*, A K Peters, July 2005.
- [4] Dr. Tom Drummond (2007). *Realidad Aumentada para vincular la información y el mundo real*. Trabajo de investigación. Cambridge University.
- [5] Dr. Canales Reyes, Roberto (2006). *Identificación de factores que contribuyen al desarrollo de actividades de enseñanza y aprendizaje con apoyo de las TIC, que resulten eficientes y eficaces. Análisis de su presencia en tres centros docentes*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- [6] Dr. Rubio Rojas, Mónica (2005). *Diseño e Implementación de un sistema de realidad aumentada para la anotación de características en apilamientos de objetos*. Tesis doctoral. Universidad Jaume I de Castellón.
- [7] Dr. Maroto Ibáñez, Joaquín (2005). *Metodología para la generación de entornos virtuales distribuidos y su aplicación a simuladores de conducción*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- [8] Manuel Armayones / Noemí Guillamón (2007). *Experiencia en intervención en línea con diseño híbrido*. UOC Papers. Revista sobre la sociedad del conocimiento, marzo, número 004. Universitat Oberta de Catalunya.
- [9] Dr. Viñas Limonchi Manuel (2006). *Templo Virtual. El paradigma de un nuevo edificio. Análisis conceptual y constructivo de los elementos integrantes previo a su inserción en plataforma VR*. Para Congreso La revolución de la realidad virtual y el 3D, perteneciente a la 6ª Edición del Ciclo Complutense de Ciencia y Tecnología. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, 18 de abril de 2006. Ponencia publicada en el Libro titulado *Desarrollo Responsable* (ISBN 84-7491-812-0).
- [10] Filla R, Ericsson A, and Palmberg J-O: "Dynamic Simulation of Construction Machinery: Towards an Operator Model". IFPE 2005 Technical Conference, Las Vegas (NV), USA, pp 429-438, March 16-18, 2005.
- [11] Wikipedia. Definición de realidad aumentada.
http://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality#Books
- [12] Ikerlan. Proyecto VAR-TRAINER. Simulación mediante realidad aumentada para la formación en el uso seguro de maquinaria de construcción. <http://www.ikerlan.es/vartrainer/>
- [13] Inmersio. Proyecto de simulación de tuneladora jumbo de Atlas Copco.
<http://www.inmersio.com/areas-de-negocio/simulacion/simulador-atlas-copco-de-tuneladora-jumbo/simulador-atlas-copco-de-tuneladora-jumbo>
- [14] Inmersio. Proyecto de simulación de retrocargadora 3CX de JCB.
<http://www.inmersio.com/areas-de-negocio/simulacion/simulador-de-retrocargadora-3cx-de-jcb/simulador-de-retrocargadora-3cx-de-jcb>
- [15] Indra (2005). Creación de un simulador para la maquinaria de obras públicas. <http://www.idg.es/computerworld/articulo.asp?id=172911>
- [16] INDRA. Simulador de grúa de pórtico.
http://www.indra.es/servlet/ContentServer?pagename=IndraES/SolProductos_FA/DetalleSolucionProductoFoto&pid=1083830065073&Language=es_ES&cid=1083830071375
- [17] Fundación Santa Bárbara. Simulación de maquinaria de movimiento de tierras.
<http://www.fsbarbara.com>

- [18] SANDVIK (2007). Simulador de máquina de perforación.
<http://www.miningandconstruction.sandvik.com/>
- [19] INDRA (2007). Simulador para conducción de camiones.
http://www.expotrade.com.ar/newsletters/IT/IT_0307/IT_03_04/IT_03_04_a.htm#08
- [20] Marta Morales (2007). La realidad virtual se integra en los procesos industriales. Artículo publicado por Telefónica.
http://www.tendencias21.net/La-realidad-virtual-se-integra-en-los-procesos-industriales_a1333.html?PHPSESSID=17a5edc044c01141a90930febbe45be8
- [21] Conferencia en mayo de 2007 de investigación de Urología: Aplicación de la tecnología de realidad aumentada en tratamientos urológicos:
http://www.urotoday.com/287/conference_reports

6. Conclusiones generales

Aunque cada una de las partes en que se divide este estudio presenta conclusiones propias en sí, en este apartado vamos a poner en común las más importantes, tratando de obtener una visión global de los retos que se plantean al sector en el ámbito tecnológico para los próximos años.

También trataremos de resumir en este capítulo los nuevos proyectos e iniciativas que se están realizando a raíz de desarrollar este estudio y el Proyecto Innpulsa, que nos hacen pensar que en estos momentos nos encontramos en los inicios del camino hacia la excelencia competitiva, y que se están sentando las bases adecuadas para realizarlo con paso firme y con esperanzas de llegar exitosamente a cumplir los objetivos pretendidos.

6.1. SITUACIÓN COMPETITIVA DEL SECTOR

Tal y como se comentaba en la introducción de este estudio y en el apartado 3.1 del mismo, el sector de maquinaria de obras públicas, construcción y minería está compuesto por PYMEs, empresas en su mayoría que tienen entre 50 y 150 trabajadores, es decir con un tamaño suficiente para que algunos lleguen a ser líderes en sus respectivos subsectores específicos tanto a nivel nacional como internacional y un gran potencial de crecimiento, pero con un mercado en general dominado por grandes multinacionales que poseen grandes infraestructuras y son las que van marcando las pautas del mismo.

Estas estructuras medianas permiten a las empresas ser más dinámicas y flexibles ante los cambios que se producen en los ciclos económicos y en la demanda de construcción, señalados como una debilidad en el análisis DAFO. Pero por otro lado ese tamaño no permite destinar los recursos necesarios a aspectos como estar al día de toda la legislación que se aplica a sus productos o tener adecuadas estructuras de I+D+I para poder realizar nuevos productos y mejorar los procesos existentes.

Por otro lado si a esto unimos las amenazas que se destacan en el apartado 3.3 como el endurecimiento de las legislaciones aplicables, la competencia de países emergentes o la inminente aparición de nuevas técnicas de construcción y metodologías de trabajo nos lleva a pensar que cada vez será más difícil el mantener la competitividad de las empresas en el mercado mundial.

El crecimiento experimentado por las empresas en estos últimos 25 años ha demostrado su carácter emprendedor y su dinamismo, gozando los productos actualmente de una excelente relación calidad/precio y habiéndose adaptado las organizaciones a la necesaria especialización hacia sus habilidades principales.

Todos estos condicionantes hacen pensar que surgen grandes oportunidades si se aprovecha el potencial de innovación tanto en procesos como en producto, beneficiándose del aumento de las ayudas al I+D+I que se espera para los próximos años y se fomenta la colaboración entre empresas, universidades y centros tecnológicos canalizada a través de instituciones como ANMOPYC y otros organismos de apoyo al desarrollo tecnológico industrial.

6.2. EXPECTATIVAS DE FUTURO EN EL SECTOR

Con el estudio prospectivo explicado en el apartado 4 se buscaba resumir los factores impulsores de la innovación en una serie de hipótesis de tendencias tecnológicas que conformaron una encuesta para poder conocer la opinión de los profesionales del sector al respecto de una serie de aspectos relacionados con la fabricación de maquinaria de obras públicas, construcción y minería.

Como ya se ha comentado en capítulos anteriores las hipótesis se agrupan en 5 temáticas consideradas como las principales fuerzas impulsoras que están generando cambios importantes en el sector, y que son:

1. Nuevos modelos empresariales: aspectos como la especialización, colaboración interempresarial o la orientación total hacia el cliente.
2. Seguridad y salud: la armonización de legislación a nivel internacional y responsabilidades de los empresarios en prevención de riesgos laborales.
3. Sostenibilidad: Ecodiseño, reducción emisiones y ecoeficiencia.
4. Procesos, técnicas y materiales para la construcción: industrialización del sector, actividades de rehabilitación y reciclado de los materiales en la propia obra.
5. Tecnologías: como por ejemplo, técnicas avanzadas de diseño, nuevos tratamientos superficiales, nuevos sistemas de unión, control remoto, nuevos materiales o aplicaciones electrónicas.

Como se menciona en el apartado 4.3 uno de los aspectos que se trataba de medir con la consulta es el grado de importancia que los encuestados daban a cada una de las hipótesis planteadas, para de esta manera poder conocer cuales son los temas de futuro que preocupan al sector y cuales se opina que van a ser los factores clave en el devenir de las empresas.

La primera conclusión de los resultados es que la mayoría de las hipótesis se valoran con un índice de grado de importancia superior a 3, siendo el máximo posible el 4, con lo cual da la impresión de que se ha acertado con las temáticas reflejadas en las hipótesis, ya que casi todas alcanzan en elevado grado de importancia para el futuro del sector.

En cuanto al tema que parece que más preocupa y se da por hecho su relevancia futura es el de **seguridad y salud**, siendo el tema que en conjunto alcanza un mayor grado de importancia. Si nos fijamos a nivel particular, la hipótesis que habla sobre la necesidad de integrar aspectos de seguridad y salud en las fases de diseño de la máquina ante el aumento de responsabilidades en materia de prevención de riesgos laborales es la que ha alcanzado el mayor valor de índice de grado de importancia de las 33 hipótesis formuladas.

La presión legislativa en la Unión Europea hacia estos productos es clara desde hace años y parece que va a seguir aumentando en las próximas décadas. Esta presión se encamina so-

bre todo hacia los campos de seguridad y salud de los trabajadores y respeto al medio ambiente. Quedan claros los beneficios que todas estas directivas aportan desde el punto de vista social y la apertura de mercados internos, permitiendo acceder a todo el mercado europeo con requisitos comunes en los diferentes estados miembros y suponiendo una barrera no arancelaria que permite proteger a la industria frente a terceros países.

Pero por otro lado, tal y como se comentaba en los últimos congresos de CECE (Asociación Europea de Maquinaria de Construcción), según datos no oficiales, las empresas europeas fabricantes de maquinaria de construcción dedican más del 50% de su presupuesto en I+D+I a que sus productos cumplan con las Directivas Europeas.

Ante esta situación es lógico el resultado de que las hipótesis sobre seguridad y salud alcanzasen la primera posición en cuanto a grado de importancia (3,56 como IGI medio), acompañadas también en la tercera posición por las relacionadas con la **sostenibilidad** (3,36 como IGI medio) aupadas por la cada vez más creciente concienciación en el cuidado del medio ambiente y la legislación europea existente en este sentido.

La segunda temática global en cuanto a importancia es la de **nuevos modelos empresariales** (3,38 como IGI medio) quedando patente que ante la situación actual de los mercados sus estrategias se tienen que encaminar hacia estructuras adecuadamente organizadas que les permitan orientar todos sus esfuerzos hacia la orientación de sus clientes.

Finalmente las temáticas de las **tecnologías** (3,15 de IGI medio) y de **los procesos, técnicas y materiales para la construcción** (2,95 de IGI medio) ocupan el cuarto y quinto lugar respectivamente.

La opinión generalizada en el panel de expertos al revisar los resultados de la encuesta era que efectivamente todas las temáticas planteadas eran de interés y es lógico que todas las hipótesis hayan tenido un elevado índice de importancia. Sorprendió en cierta medida el que tanto el tema de tecnologías como el de procesos, técnicas y materiales para la construcción estuviesen globalmente en las últimas posiciones, ya que se consideran fundamentales para el futuro.

Según los expertos las materias de seguridad y salud, nuevos modelos empresariales y sostenibilidad son asuntos de vital importancia, con los que las empresas a día de hoy ya están sumamente sensibilizadas y van a tener que seguir trabajando en el futuro, pero se debería tomar una mayor conciencia de la necesidad de apostar por el desarrollo tecnológico para poder adaptarse a los cambios que traerán las nuevas tecnologías y procesos constructivos en la construcción.

Cabe destacar a nivel de hipótesis individual el hecho de que aquella que hablaba sobre la futura industrialización de la construcción, asunto de vital importancia en foros donde se habla de los principales retos tecnológicos para el sector de la construcción, haya alcanzado el puesto 19 en el ranking de importancia de las 33 hipótesis existentes. Poniendo de relevancia o bien que no se confía en que se vaya a producir dicha transformación o bien que todavía no se ha logrado asimilar los cambios que este hecho podría suponer para subsectores de fabricantes de maquinaria orientados hacia la edificación, vistos estos cambios bien como amenazas, ante la posible obsolescencia de equipos utilizados actualmente, o bien como una oportunidad, ante la posibilidad de desarrollar nuevos productos y obtener nuevos mercados.

6.3. TENDENCIAS TECNOLÓGICAS

En el capítulo 5 se han recogido 14 artículos técnicos que aglutinan las diferentes tendencias tecnológicas identificadas por el panel de expertos y en los cuales se puede realizar una primera aproximación a las tecnologías expuestas, conociendo su aplicación actual en el sector y las expectativas que plantea su futura utilización.

Aunque se recomienda una lectura completa de cada uno de los artículos en los que se pueda tener un interés concreto, a continuación vamos a destacar aquellas conclusiones que según el criterio del equipo técnico pueden tener una mayor relevancia y resultar más interesante su análisis.

Por ejemplo al hablar de la automatización en la construcción (apartado 5.5), esta irá directamente unida a la aparición de robots, siendo estos de dos tipos: aquellos que realizan tareas de hoy en día y que pasarán a automatizarse y los que realiza-

rán tareas que surjan debido a nuevos procesos de construcción. Lo cual hace indicar que aquellas empresas que piensen en utilizar sus conocimientos y aplicar las tecnologías necesarias para automatizar sus máquinas o bien adaptarse a las nuevas técnicas productivas en la construcción, adivinando necesidades futuras, podrán llegar a diseñar ambos tipos de robots y podrán ir posicionándose para cuando llegue el momento en que se empiecen a utilizar.

En la misma línea en el artículo dedicado a los nuevos sistemas constructivos (apartado 5.6) se destaca la oportunidad de desarrollar robots unida al hecho de que se afiance la industria prefabricada, los elementos estandarizados y las uniones secas, detectando además otras tendencias tecnológicas como por ejemplo la mayor utilización de grúas y de sistemas electrónicos de medición. En este mismo artículo se destacan también el aumento de actividades de rehabilitación y mantenimiento de viviendas, la utilización de nuevos áridos y cementos, la construcción de viviendas prefabricadas modulares o el aumento de la sensibilización con el medio ambiente con el consiguiente protagonismo del reciclaje de materiales, utilizando a veces los propios materiales que se producen en las primeras tareas de una obra para poder obtener materiales que se usarán en posteriores fases.

Si se toman como referencia otros sectores más avanzados tecnológicamente, podemos encontrarnos que por ejemplo la multifuncionalidad existente en la máquina-herramienta, se exigirá en un futuro a la maquinaria de construcción tal y como se argumenta en artículo del punto 5.7 que expone las oportunidades que esta tendencia abre hacia el sector.

Siguiendo también el ejemplo de sectores muy competitivos y tractores en el desarrollo de tecnologías como son el sector del automóvil y el aeronáutico, parece lógico pensar que en los próximos años se irán transfiriendo técnicas y procesos ya utilizados en ambas industrias, como los nuevos métodos de diseño (apartado 5.8), que posibilitarán disminuir los tiempos de desarrollo de nuevos productos o variantes de las gamas existentes, pudiendo responder rápidamente a las especificaciones de los clientes; o los nuevos procesos de fabricación (apartado 5.11) orientados a disminuir las necesidades de mecanización de las piezas; o la utilización de nuevos materiales (apartado 5.14)

permitiendo aligerar las maquinarias o bien mejorar su resistencia al desgaste o la abrasión.

Destacar la demanda creciente de maquinaria inteligente (apartado 5.12) que gracias a la incorporación de sensores, sistemas de control y de información podrán mejorar la productividad y conseguir un mayor control sobre el proceso; y también la utilización de nuevas técnicas para disminuir las emisiones tanto de ruido como de vibraciones de las maquinarias (apartado 5.13).

Por último mencionar los aspectos tratados en el artículo de herramientas de realidad virtual (apartado 5.15), temática que en un principio puede parecer no muy relacionada con las empresas fabricantes, pero que abre puertas a desarrollos como la telerrobótica, que permite manejar robots a distancia permitiendo trabajar en entornos peligrosos sin riesgos para el operario, o la realización de prototipos virtuales para poder presentarlos a los clientes o realizar pruebas para evaluar diferentes configuraciones, o finalmente la realidad aumentada que permite al usuario utilizar objetos virtuales en un entorno real, facilitando el uso de máquinas complejas y multifuncionales.

6.4. ACCIONES FUTURAS

A lo largo del desarrollo del Proyecto Innpulsa se han ido realizando una serie de acciones paralelas con el mismo objetivo del proyecto de impulsar la cultura de innovación en el sector.

De esta manera ANMOPYC se incluyó como miembro de la **Plataforma Tecnológica Española de la Construcción** (www.construccion2030.org), foro donde se debate sobre el futuro del sector de la construcción en los próximos años y se elaboran las necesidades sectoriales en I+D+I, que se plasman en agendas estratégicas, las cuales se utilizarán para que dichas necesidades aparezcan reflejadas en los planes de apoyo a la innovación tanto a nivel europeo, como nacional y regional. Se considera fundamental el que estas agendas contengan también las necesidades concretas de los fabricantes de maquinaria de obras públicas, construcción y minería, y es por eso que ANMOPYC intenta, como miembro de la Plataforma, conseguir que las empresas también participen y al final se logre desarrollar una línea estratégica concreta de maquinaria de construcción.

En este mismo sentido ANMOPYC también ha participado en foros de Manufuture (www.manufuture-spain.org), Plataforma Tecnológica Española para la I+D+I en el Ámbito de Fabricación, ya que se considera también fundamental el estar atentos a las nuevas tendencias que se produzcan en el ámbito de mejora de procesos.

Y de cara a que este proyecto no quedase en una acción aislada ya se han presentado un par de iniciativas en el ámbito de programas de subvenciones del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, una encaminada a la consecución de una **Agrupación Empresarial Innovadora**, en la cual estarían representados ANMOPYC, los fabricantes, Centros Tecnológicos como el Instituto Tecnológico de Aragón, Universidades y Empresas Constructoras, con el objetivo en esta primera convocatoria de desarrollar un **Plan Estratégico de Innovación** en el cual se contemplarán acciones de diversa índole, como por ejemplo:

- Creación de una oficina de gestión de proyectos, desarrollo de sistemas de vigilancia tecnológica y promoción de proyectos interempresariales de ámbito nacional y europeo, como acciones impulsoras del I+D+I.
- Realización de seminarios específicos y ofertas de formación profesional adaptada, en el ámbito de la formación empresarial.
- Mayor influencia en Comités de Normalización Internacionales, promoción de un Congreso Internacional de Maquinaria de Construcción en el ámbito Tecnológico, la realización de proyectos de buenas prácticas con otras regiones europeas o la creación de cátedras de investigación en las universidades, como acciones para aumentar la presencia pública e influencia del sector.
- Ampliación de servicios de internacionalización y diversificación.

La segunda iniciativa se podría asemejar a una continuación del Proyecto Innpulsa, y es el **Proyecto Diversa**, con el cual se pretende que las empresas puedan ampliar su gama de productos, utilizando sus conocimientos en las tecnologías que actualmente dominan, para poder realizar desarrollos nuevos orientados a nuevos mercados. Este proyecto se ha presentado a la primera convocatoria de proyectos suprarregionales del Programa Innoempresa.

Ambos proyectos están en estos momentos en fase de valoración, pero tengan o no apoyo financiero por parte de la administración, se consideran fundamentales para poder continuar apoyando a las empresas para que alcancen la excelencia competitiva.

Anexo A.

PANEL DE EXPERTOS

EXPERTO	ORGANIZACIÓN	ACTIVIDAD
D. Juan Antonio Muro. Director de maquinaria		Empresa Constructora
D. Francisco Ballester. Catedrático de Ingeniería de la Construcción		Universidad de Cantabria
D. Fernando Baillet. Gerente		Fundación de investigación en maquina herramienta
D. Enrique Cano. Profesor e investigador		Universidad de Zaragoza
D. Manuel Isasa. Director Industrial		Fabricantes hormigoneras sobre camión
D. Jose María Pozos. Consejero Delegado		Fabricante equipos elevación y para hormigón
D. Roberto Ovejero. Jefe Producto Excavadoras		Distribuidora Carterpillar
D. Joaquín Roldán. Gerente		Desarrollo TICs
D. Jesús Paniagua. Jefe del departamento de electrónica y automático		Centro Tecnológico
D. Miguel Angel García. Jefe del departamento de Calidad		Centro Tecnológico
D. Alfredo Gómez. Coordinador de clientes		Centro Tecnológico
D. Carlos Millán Ibor. Doctor Ingeniero Industrial. Dpto. de Mercado		Centro Tecnológico
D. Jorge Cuartero. Director Gerente		Asociación de fabricantes
D. Benjamín Ventura. Director Técnico		Asociación de fabricantes

Anexo B.

Tendencias tecnológicas en el sector de maquinaria de obras públicas y construcción

TABLA DE HIPÓTESIS Y VARIABLES

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras				
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicas	Tecnológicas	Dificultades aplicación	Sociales
1. NUEVOS MODELOS EMPRESARIALES																				
1. La totalidad de las empresas manufactureras centrarán sus actividades exclusivamente en su negocio o habilidad principal, y acudirán a la subcontratación del resto de operaciones.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
2. En la relación con países emergentes, predominará la subcontratación y compra (con participación en empresas del país) sobre la inversión directa o joint ventures.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
3. Se creará un marco legal que favorezca la cooperación entre empresas. Se explotarán las posibilidades de colaboración entre empresas a través de redes y de mecanismos para compartir información.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
4. La flexibilidad, la orientación total a la satisfacción de necesidades del cliente, la rapidez en la respuesta y la experiencia en el mercado, se convertirán en factores clave de la ventaja competitiva.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
5. El aumento de la calidad demandada en la construcción en los países en vías de desarrollo traerá consigo un aumento de las importaciones de equipos de mayor nivel tecnológico.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia			Amplitud del campo de aplicación				Barreras					
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicos	Tecnológicos	Dificultades aplicación	Sociales
6. Los nuevos desarrollos en tecnologías de la información y comunicaciones se orientarán principalmente hacia la gestión del conocimiento y servicio al cliente.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7. Nuevas leyes en cuestiones relativas a propiedad industrial y a protección de la información obligará a las empresas a dedicar recursos específicos a estas cuestiones.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2. SEGURIDAD Y SALUD																				
8. Se producirá la definitiva armonización de las reglamentaciones existentes entre las principales potencias fabricantes y usuarias de maquinaria de construcción (EE.UU., Unión Europea, Japón, China, etc.).	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9. Las responsabilidades del empresario en cuanto al cumplimiento de la legislación sobre Prevención de Riesgos Laborales provocará una mayor necesidad de integrar los aspectos de seguridad y salud en la fase de diseño de la máquina.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
10. Las máquinas dispondrán de dispositivos que permitirán informar in situ o almacenar los valores de los principales parámetros que son objeto de regulación en materia de Prevención de Riesgos Laborales (emisiones sonoras, vibraciones, emisiones gaseosas, etc.).	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

	Nivel de conocimiento	Horizonte temporal	Grado de importancia	Amplitud del campo de aplicación	Barreras
	Alto Medio Bajo	2006 - 2010 2011 - 2015 2016 - 2020 Más allá	Alto Medio Bajo Irrelevante	No se aplicará Testimonial Medio A gran escala	Económicas Tecnológicas Dificultades aplicación Sociales
3. SOSTENIBILIDAD					
11. Se generalizará el Eco-diseño, como medio de minimización de los impactos ambientales generados por los productos en todas las fases de su ciclo de vida.	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
12. Las máquinas que alcancen unos menores niveles de emisión de ruido, vibraciones y gases-partículas contaminantes adquirirán una ventaja competitiva clara.	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
13. Se aplicarán conceptos de Eco-eficiencia. Por un lado, se racionalizará el uso de las tecnologías actuales (reducción de consumo y utilización de combustibles menos contaminantes). Por otro lado, la aplicación de nuevos sistemas de generación de energía.	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
14. Se estandarizarán los criterios y herramientas utilizados para modelizar, planificar o cuantificar los impactos medioambientales derivados de la construcción, lo que obligará a las fabricantes de maquinaria a dar información suficiente en este sentido.	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
4. PROCESOS, TÉCNICAS Y MATERIALES PARA A CONSTRUCCIÓN					
15. La construcción se industrializará en base a elementos prefabricados y estandarizados lo que significará que la mayoría de la fabricación se realizará fuera de la obra y se automatizará el montaje.	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia			Amplitud del campo de aplicación				Barreras					
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicos	Tecnológicos	Dificultades aplicación	Sociales
16. El aumento de las actividades de rehabilitación y mantenimiento, así como las actividades de bricolaje y reparación casera, requerirá de nuevas máquinas adaptadas a estas necesidades.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
17. Se generalizará el pre-procesado y reciclado de materiales en la propia obra a partir de máquinas especialmente diseñadas para esta función.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
18. Las máquinas integrarán diferentes operaciones del proceso y podrán adaptarse fácilmente con variaciones sencillas de su configuración.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5. TECNOLOGÍAS	5.1. PROCESO																			
19. El uso generalizado de técnicas avanzadas de fabricación concurrente, integrando software de diseño colaborativo, herramientas CAD/CAM/CAE, prototipado virtual y prototipado rápido, agilizará el diseño y desarrollo de nuevos productos.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
20. El uso de nuevas tecnologías, como láser y nano-recubrimientos, dará lugar a nuevos tratamientos superficiales con mayores prestaciones en cuanto a resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y desgaste.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
21. Se generalizará la sustitución de sistemas mecánicos de unión convencionales (soldadura, remaches, tornillos, etc) en favor de adhesivos o sistemas de montaje rápidos.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia			Amplitud del campo de aplicación			Barreras						
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicos	Tecnológicos	Dificultades aplicación	Sociales
22. Aparecerán procesos de fundición, forja y estampación que permitirán mejorar las tolerancias dimensionales de las piezas, permitiendo tener piezas listas para montaje.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
23. Existirán procesos de inyección y procesamiento de metales análogos a los utilizados con materiales plásticos.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
24. La utilización de sensores inteligentes, sensores ópticos, visión artificial y sistemas de control integrados en la maquinaria de fabricación tendrán funciones de monitorización, autodiagnóstico y registro de indicadores de proceso.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
25. Se extenderán los sistemas de fabricación y montaje modulares para procesos de fabricación continua en pequeñas series y con alta variabilidad.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5. TECNOLOGÍAS	5.2. PRODUCTO																			
26. Se extenderán los sistemas de prototipado rápido capaces de trabajar con distintos materiales y ligados a los sistemas de desarrollo para la fabricación de pequeñas series de piezas.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
27. Se extenderá el uso de equipos operados por control remoto utilizando nuevas tecnologías de redes de comunicación y sistemas de posicionamiento global.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

	Nivel de conocimiento			Horizonte temporal				Grado de importancia				Amplitud del campo de aplicación				Barreras				
	Alto	Medio	Bajo	2006 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020	Más allá	Nunca	Alto	Medio	Bajo	Irrelevante	No se aplicará	Testimonial	Medio	A gran escala	Económicos	Tecnológicos	Dificultades aplicación	Sociales
28. La incorporación de materiales inteligentes y dispositivos avanzados para la reducción de ruido y vibraciones sustituirán progresivamente a los elementos convencionales.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
29. La incorporación de tecnologías electrónicas y de sensores en las máquinas permitirá el desarrollo de sistemas que evalúen la calidad y productividad del trabajo realizado, así como monitorizar los parámetros de funcionamiento de la máquina para prever, identificar y solucionar averías.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
30. Se generalizará el uso de materiales compuestos en las máquinas y aceros de alta resistencia estructural y al desgaste.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
31. La incorporación de las TIC facilitará la formación del operario de las máquinas.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
32. Existirán máquinas con microsistemas integrando sensores, actuadores y procesado digital de señal en un único chip.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
33. Se desarrollarán interfaces amigables entre máquina y operario.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

