

La construcción robotizada: un futuro en curso (*)

Por PABLO RUBIO PEREZ

Dr. Ingeniero de Caminos.
Dragados y Construcciones, S.A.

Algunas experiencias del autor en la utilización de metodologías informáticas avanzadas, han sido expuestas en tres artículos publicados anteriormente en esta Revista, relativos a aplicaciones específicas de la Inteligencia Artificial (IA) y las técnicas de la Ingeniería del Conocimiento (IC) y Sistemas Expertos (SSEE), en el área de la Construcción. En el contexto afín, más amplio, de la futura innovación tecnológica de la actividad constructora, la asistencia al 7.º Simposio sobre la Aplicación de la Automación y la Robótica en la Construcción, celebrado en Bristol (UK), del 5 al 7 de junio de 1990, en representación de Dragados y Construcciones, se ha reflejado en sendos trabajos informativos publicados en SYGMA, revista interna editada por la Dirección Técnica de esta Empresa [Refs. (1) y (2)]. El convencimiento de la previsible trascendencia del tema para la futura competitividad del sector en un ámbito cada vez más internacionalizado, ha inducido al autor a solicitar la autorización de la Empresa para la publicación de este resumen divulgativo, por la que manifiesta su reconocimiento, en la confianza de que será de interés común para la profesión.

1. INTRODUCCION

A pesar de la creciente mecanización de las obras y del perfeccionamiento progresivo de los equipos mecánicos, basado en ocasiones en la incorporación de automatismos y/o sistemas informáticos automatizados, se están acentuando las diferencias entre los incrementos de productividad de la Construcción, en general poco relevantes e incluso negativos en algunos países, en relación con los incrementos, sustancialmente significativos, de las industrias manufactureras, estos últimos derivados de una automatización cuasi integral del proceso productivo completo, y no simplemente de los medios instrumentales utilizados. El gráfico 1, tomado de la Ref. (3), relativo a la situación japonesa anterior a 1985, cuya tendencia es igualmente extensiva a otros países, es sumamente significativo al respecto.

La Industria de la Construcción exige hoy día, todavía, una utilización intensiva de mano de obra, y mantiene un grado elevado de su componente artesanal o de oficio. Se sigue hablando, en efecto, del arte de construir, y, en particular, los oficios, en el argot de la actividad, siguen consti-

tuyendo elementos básicos esenciales en el ámbito de la edificación.

Las dificultades derivadas de la creciente escasez de mano de obra calificada y del encauzamiento hacia el sector de las nuevas generaciones, junto a exigencias progresivas de la seguridad de ejecución y de la calidad final de la obra, y la

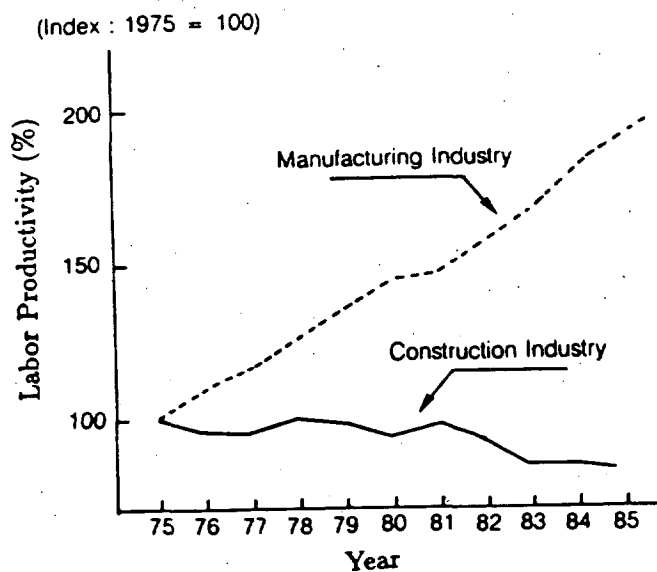


Gráfico 1: Evolución de índices de productividad de la mano de obra en Japón.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de diciembre de 1990.

comparación antes citada con los rendimientos superiores de las industrias manufactureras, en los países más avanzados, han determinado intentos de **industrialización** eficaz de la actividad constructora, polarizados en las tres áreas de principal incidencia tecnológica que representan Japón, USA y Europa. Esta previsible evolución del sector significa, sin duda, una vía difícil, ya emprendida, aunque con muy distintos grados de dedicación, por la mayoría de los países más desarrollados.

A semejanza del desarrollo conseguido en los sectores más industrializados, la aplicación de la Robótica se ha considerado un componente esencial de la innovación tecnológica, en unos casos simplemente sustitutiva de mano de obra, o bien orientada a la minoración de riesgos en medios hostiles o de acceso dificultoso, y en otros, por ejemplo inspecciones y controles de calidad, como elementos eficaces de ayuda de altas especializaciones. La incorporación de la Robótica, disciplina en la que confluyen la mecánica, la informática (incluyendo en ésta dimensiones avanzadas, como son la aplicación de la IA y las técnicas de la IC y SSEE, citadas en la presentación), y la automática, se encuadra así en el proceso general evolutivo hacia la consecución del más alto grado posible de simulación de actividades humanas, incluidas actividades inteligentes.

Las tendencias de última hora se orientan en el marco de las ideas cognitivistas. En este contexto moderno, la integración con las técnicas antes mencionadas, de disciplinas adicionales en el área de la biotecnología, tales como la psicología conexionista y las neurociencias, constituye, asimismo, una nueva realidad emergente de imprevisible futuro. Como ilustración de esta situación, el gráfico 2, tomado de la Ref. (4), en el que figuran los principales investigadores en las distintas áreas de estudio, es una representación polar, paradigmática de la evolución y fronteras actuales de las llamadas Ciencias y Tecnologías de la Cognición (CTC). El lugar indicado por la flecha destaca la posición de su autor, el Prof. F. J. Varela.

Hasta el momento, las realizaciones experimentales de la Robótica y tecnologías afines han estado dirigidas, básicamente, al desarrollo del robot industrial. La diferencia principal con los sectores manufactureros, en perjuicio de la Construcción, que no ha posibilitado todavía una dedicación y logros proporcionados a los allí conse-

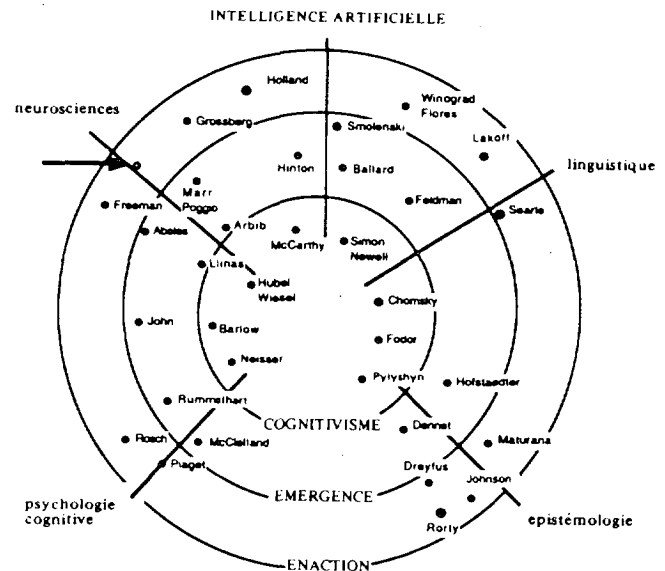


Gráfico 2: Esquema polar de las CTC.

guidos, es la escasa normalización del producto y sus componentes, y la, en muchas ocasiones, débil integración entre las diferentes fases del proyecto constructivo completo, es decir, las etapas de diseño, proyecto y ejecución, incluyendo en la última las de planificación, suministro de materiales y equipos, métodos constructivos y gestión y control de la producción.

En consecuencia, las estrategias de todos los países interesados en este difícil empeño, han sido centradas en un doble objetivo. De un lado, el desarrollo de las tecnologías básicas que permitan la normalización y la integración del proceso de construcción en todas sus fases, hasta llegar a una denominada construcción por componentes o mediante ensamblaje, más experimentada, por ahora, en el sector de edificación que en el de las obras civiles, con la eventual excepción, común a ambos sectores, de la creciente utilización de elementos prefabricados; y del otro lado, la creación y experimentación de tecnologías aplicadas mediante prototipos (**robots**), orientados a la realización de actividades concretas.

La aplicación intensiva de la automatización y la robótica a la construcción, vienen siendo el objeto específico de los Simposios ISARC (International Symposium on Automation and Robotics in Construction), inaugurados en 1984 por iniciativa de la Carnegie Mellon University, y ya por su 7.ª edición. Es obvio que los resultados de los trabajos presentados hasta el momento están todavía lejos de suponer una realidad presente en

la actividad cotidiana normal de la industria. Hay, sin embargo, la opinión generalizada de muchos expertos, de que este tipo de investigaciones y experiencias para automatización de la construcción, serán realmente determinantes de su transformación tecnológica, en una perspectiva futura. El principal interés actual de estas dedicaciones, radica, por tanto, en su incidencia estratégica, por cuya razón, la disponibilidad de información permanentemente actualizada sobre este tipo de desarrollos, deberá ser ya, en adelante, una premisa imprescindible para cualquier prospección fundamentada de la evolución del sector.

El esfuerzo inversor necesario, sin expectativas de rentabilidad inmediata, es, naturalmente, importante. Las actividades se han canalizado, en general, a través de la constitución de organismos semipúblicos de I+D, bajo coordinación y control estatales, con participación de instituciones académicas, laboratorios, constructores y fabricantes de materiales y equipos. Las participaciones relativas de cada estamento varían según los distintos países. Por ejemplo, en el Japón, pionero desde hace una década, las cinco principales empresas constructoras constituyen un núcleo esencial, aunque la financiación cuenta con un soporte entusiasta del MITI.

Las valoraciones de los expertos señalan una modificación sustancial del sector en un plazo medio, que los más optimistas han cifrado en diez años. Las expectativas técnicas, muchas ya realizadas como prototipos, si pasan al estadio de producción, y los elevados intereses puestos en juego, representarán, desde luego, una verdadera revolución tecnológica de la actividad. Un vídeo proyectado durante el 7.º ISARC, sobre experiencias inglesas en curso, terminaba con la secuencia de una obra importante de edificación, en la que se hacía una trasposición del personal de la obra a robots. Lo que era en la película un simple truco cinematográfico, se concebía también, en el marco de elevado nivel científico del Simposio, como futurible no descartable.

En el marco motivador y contexto general indicados, se efectúa, en las Secciones posteriores, una revisión del estado del arte del uso de la robótica en la construcción, extendida al ámbito mundial, versión abreviada de la incluida en la Ref. (2). Insistiremos aquí, sobre todo, en la filosofía y estrategias adoptadas por los distintos países, remitiéndonos, principalmente, a la mencionada Ref. (2) y demás referencias bibliográficas,

cas, en relación con trabajos y realizaciones concretas. Antecedentes de consideración pública de esta problemática en nuestro país, también tomados en cuenta, son sendas conferencias, la primera pronunciada por Mr. Georges Mihaies el 4 de mayo de 1989 sobre la estrategia de la industria japonesa de la construcción en el desarrollo, la utilización y la comercialización de las nuevas tecnologías, promovida por el SEOPAN [Ref. (5)], y la segunda por Mr. P. Teicholz, Director del CIFE (Center for Integrated Facility in Engineering, Stanford University), que tuvo lugar el 5 de junio de 1989 en el Instituto Torroja, por iniciativa de la Dirección de Dragados y Construcciones, S.A. Asimismo, el curso sobre Nuevas Tecnologías e Ingeniería Civil, organizado en octubre de 1990 por el Colegio de Ingenieros de Caminos, ofreció diversas ponencias relacionadas con esta misma temática.

Además de hacer uso de las referencias anteriores, la metodología expositiva se basará en el propio desarrollo del 7.º ISARC, que representa, por el momento, la información disponible más actualizada del tema. Con el objetivo fijado, de síntesis, haremos igualmente mención de las dos convocatorias anteriores más próximas, que tuvieron lugar en San Francisco (USA), en 1989, y en Tokio (Japón), en 1988. Nos referiremos también al International Symposium on the Automation of Construction Process and Construction Machines, celebrado en Magdebourg, antigua RDA, en junio de 1989, con participación mayoritaria de países de la Europa oriental, y a la exposición BAUMA'89, Múnich, último resumen de avances en la RFA.

Finalizamos esta introducción destacando el carácter divulgativo y propagandístico de la casi totalidad de las informaciones gráficas y documentales disponibles, que son ya numerosas. La bibliografía incluida, necesariamente autolimitada, es ilustrativa de las realizaciones más destacadas. Es cierto que existe, todavía, un contraste significativo entre la profusión de publicaciones técnicas, de interés principal para investigadores y expertos, y la reducida información existente sobre implementaciones efectivas en obra y ofertas comerciales. En realidad, exceptuando la incorporación de automatismos a máquinas, no se han ofrecido prácticamente, todavía, productos robotizados comercializados de alta sofisticación (**robótica avanzada**) en el área de la construcción, signo de la aún incipiente situación del mercado.

2. TERMINOLOGIA BASICA

Debido al carácter novedoso de la aplicación de estas tecnologías en la actividad de la construcción, se incluyen a continuación definiciones someras de algunos términos, en general ya consolidados a través de la implantación de la robótica en el área industrial, y otros de nuevo cuño, específicos de la actividad constructora, que se utilizarán en la exposición.

Robótica: integración de disciplinas diversas, como la Mecánica, la Automática, la Informática y otras, como la Biotecnología y la Ingeniería del Conocimiento, para construir máquinas que puedan simular o reproducir actividades propias del hombre. Se plantea su estructuración como ciencia unificada en un futuro próximo.

Prodúctica: estadio avanzado de la automatización de la producción industrial, mediante aplicación intensiva de la Robótica.

Robot: denominación común generalizada aplicada a las máquinas que simulan actividades humanas. El concepto único de robot, excesivamente amplio, que se utiliza, por ejemplo, sin matizaciones, en la elaboración de estadísticas universales de unidades instaladas, puede precisarse mediante la siguiente clasificación de la AFRI (Association Francaise de Robotique Industriel), en cuatro grupos distintos, según orden creciente de sofisticación:

— **Manipulador telemandado:** es una máquina de mando manual automatizado, que reproduce a distancia los movimientos del operador.

— **Manipulador automático:** son máquinas automatizadas programables de secuencia fija o variable.

— **Robot programable:** manipulador automático, mandado por ordenador.

— **Robot inteligente, Robot autónomo, Robot cognitivo:** manipulador automático programable, dotado de movilidad y mecanimos sensores, capaz de analizar el entorno y de actuar en consecuencia. En una interpretación rigurosa el concepto de robot, correspondería, realmente, a este último estadio.

Robot industrial: máquinas automatizadas, correspondientes a los dos últimos grupos, normalizadas según prestaciones, que han pasado al estadio de producción. Existen, ya, numerosos robots industriales, ampliamente consolidados en las industrias manufactureras. En la última

estadística mundial hecha pública, de 1986, se estimaba en el orden de 160.000, el número total de equipos automatizados y robots instalados [ver gráfico 3, tomado de la Ref. (6)]. Algunos autores apuntan la cifra de 30.000 para la población universal actual de robots exclusiva.

Movilidad: facultad de desplazamiento de un robot en un entorno determinado o desconocido, mediante un procedimiento teledirigido o autónomo.

Navegación: definición de la trayectoria de un robot en entornos geoméricamente determinados o desconocidos.

Pilotaje: operación de seguimiento de la trayectoria en el desplazamiento de un robot móvil.

Localización absoluta: posicionamiento de un robot en un sistema fijo de coordenadas.

Localización relativa: posicionamiento de un robot con relación a una posición anterior.

Sistema de locomoción: dispositivo mecánico que permite el desplazamiento del robot en el área de trabajo.

Base móvil: parte de un robot móvil formada

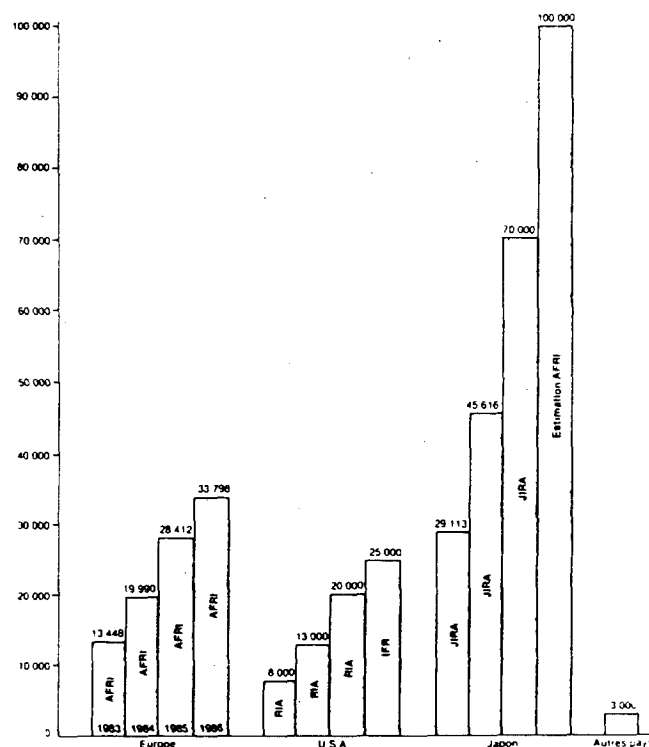


Gráfico 3: Evolución de la población mundial de robots (Fuente: AFRI).

por el conjunto del sistema mecánico de desplazamiento y los dispositivos para localización y navegación.

Sensor: dispositivo incorporado a un robot para adquisición de información y/o interacción respecto de su entorno inmediato exterior. Los elementos más utilizados se basan en transmisiones láser, sistemas de telemetría mediante ultrasonidos, cámaras ópticas, etc., a veces con apoyo en señalizaciones externas (balizas), activas y/o pasivas.

Manipulador: parte de un robot, fijo o móvil, que permite el control adecuado de la operación específica a realizar, integrada por un dispositivo mecánico y el sistema de automatización.

Herramienta: útil terminal para ejecución de la operación, mandado por el manipulador.

Prensor: sistema mecánico para aprehensión y manipulación de objetos o útiles.

Prototipo: modelo experimental para desarrollo de un nuevo producto, a través de un proceso de investigación/creación.

Constructibility/Constructabilité: términos acuñados en inglés/francés (¿constructibilidad en español?), para significar la factibilidad/capacidad del arte de construir con robots. Una exigencia sine qua non es la previa integración del diseño, la normalización de materiales empleados y los procedimientos de ejecución.

Construcción por componentes, construcción por ensamblaje: sinónimos relativos a la normalización del proceso constructivo integrado, orientada a la ejecución con medios robotizados.

3. MARCO DE LA INNOVACION TECNOLÓGICA

En la introducción se han enunciado ya, de forma precisa, los principales factores básicos motivadores de la innovación tecnológica emergente de la actividad constructora. Enumerados nuevamente aquí de forma esquemática, habría que citar: los estancamientos de **productividad** derivados de los límites de la mecanización, frente a los incrementos significativos de las industrias manufactureras basados en la automatización integral del proceso; las dificultades de **disponibilidad** de la **mano de obra** calificada y del encauzamiento hacia el sector de las nuevas generaciones; y los crecientes requerimientos en las áreas

de la **calidad** del producto y la **seguridad** del trabajo. En definitiva, determinantes todos ellos de la **competitividad** que representa el leit motiv de un entorno económico universal cada vez más integrado y abierto.

Por el momento, la incidencia de los factores apuntados, y su repercusión en la inversión en actividades I+D, orientadas a la innovación basada en la robotización, sería distinta en cada una de las tres áreas principales de incidencia tecnológica que representan Europa, USA y Japón.

En todo caso, es evidente la posición preponderante actual del Japón, derivada de actuaciones pioneras iniciadas desde hace una década. Su omnipresente y temida agresividad tecnológico-comercial ha supuesto además un activador de la iniciación de actividades paralelas en otras áreas geográficas. La intensificación de esta competencia se hará, sin duda, más visible en los próximos años, si no se llega a una improbable cooperación universal en este terreno, que ha sido ya tímidamente propuesta, precisamente por parte japonesa, justificándola en base a la entidad de los desarrollos y las desmesuradas inversiones necesarias involucradas.

Refiriéndonos a nuestro entorno geográfico y económico próximo, estas actividades son ya importantes en países como la RFA, Inglaterra, Francia y Finlandia, y significativas en Italia, Suiza, Holanda, Dinamarca, Suecia y Noruega. El 7.º Simposio ha traído la novedad de incorporación de la URSS, también sede de desarrollos considerables, debiendo mencionarse asimismo las realizaciones en la anterior RDA, Polonia, Hungría y Checoslovaquia, en la Europa oriental. Por último, otros países con actividades de prestigio en el área son Israel, que asimilamos al entorno americano, y Singapur, en el entorno japonés. La participación hasta el momento del mundo hispánico, y en concreto de España, es muy escasa, y, en todo caso, corresponde a intervenciones puntuales aisladas, sin integración en ninguna estrategia sectorial ni institucional al nivel nacional.

En segundo lugar, hay que destacar que la distribución del esfuerzo investigador, por un lado, entre centros institucionales, de investigación y académicos, con incidencia principal del sector público, y de empresas privadas, por otro, está polarizada preferentemente en los primeros en casi todos los países, con la excepción significada de la RFA, en la que estas iniciativas se llevan a cabo directamente en el área empresarial, sin

ninguna intervención estatal. En Japón se mantiene una fuerte orientación experimental iniciada en paralelo, desde hace una década, por las cinco principales empresas constructoras, con un fuerte apoyo oficial de distintos organismos públicos, encabezados por el MITI, y de las instituciones académicas. En Inglaterra hay, igualmente, una gran involucración de algunas empresas punteras de la ingeniería y la construcción, bajo la coordinación gubernamental, como veremos después.

Pasando ya a la consideración de las temáticas específicas, objeto de los trabajos actuales, podemos clasificarlos en dos grupos distintos, en correspondencia con los dos objetivos básicos que señalábamos en la descripción preliminar del marco general, como requisitos asociados a las motivaciones y finalidades de la innovación tecnológica.

Los trabajos del grupo primero están relacionados con la filosofía y prospectiva comentadas, de integración de las etapas de diseño, proyecto de obra y proyecto de ejecución. Se incluyen, pues, en ellos, los estudios y análisis de normalización de materiales, equipos y métodos de trabajo, atendiendo a la simplificación y tipificación del proceso constructivo completo, que debe hacerse expresable en forma informatizada y comprensible por medios robotizados, así como el desarrollo de tecnologías básicas para la automatización, y de los correspondientes sistemas integrados de información. Todos estos desarrollos son una base necesaria para la viabilidad de la construcción mediante robots, que hemos denominado constructibilidad.

Las actividades del grupo segundo serían las relativas a la implementación de tecnologías aplicadas, incluyendo investigaciones teóricas y experimentales sobre componentes y/o automatismos,

entre ellos diversos tipos de sensores; sistemas de visión artificial; sistemas de locomoción y posicionamiento; manipuladores y sistemas prensos; y, finalmente, sobre la creación de prototipos, orientados a la ejecución de tareas específicas determinadas en distintos tipos de obras.

Con la excepción de Japón, se puede anticipar la prioridad que en los ámbitos europeo y norteamericano tienen todavía, en este momento, los estudios normativos, sobre la propia experimentación con robots.

Entre las principales técnicas concretas, actualmente en estudio, correspondientes al grupo primero, debemos destacar: los estudios prospectivos y de oportunidad; la selección de actividades específicas de la construcción susceptibles de robotización, a partir de los análisis funcional y metodológico; el diseño de sistemas modulares y sistemas de construcción por componentes en edificación; la implantación de sistemas flexibles de producción y el desarrollo del software relativo a los sistemas de información integrada conexos; la ejecución automatizada integral de proyectos con desarrollo de modelos 3-D mediante aplicación de sistemas CAE (Computer Aided Engineering), entre los cuales las Figs. 2 y 3 son dos ejemplos ilustrativos, de ellos, la solución japonesa, con incorporación de inteligencia informatizada en el sentido moderno del término en la IC; el amplio uso de la simulación en ordenador de los procesos de construcción o de explotación, con apoyo en técnicas CAD/CAM y técnicas gráficas 3-D y de animación por un lado, en las técnicas del conocimiento y de construcción de Sistemas Expertos, principalmente, la programación y bases de datos orientados a objetos y los modelos de redes neurales, por otro, o mediante utilización conjunta de ambas. La Fig. 1 tomada de A. Oloufa, Universidad de

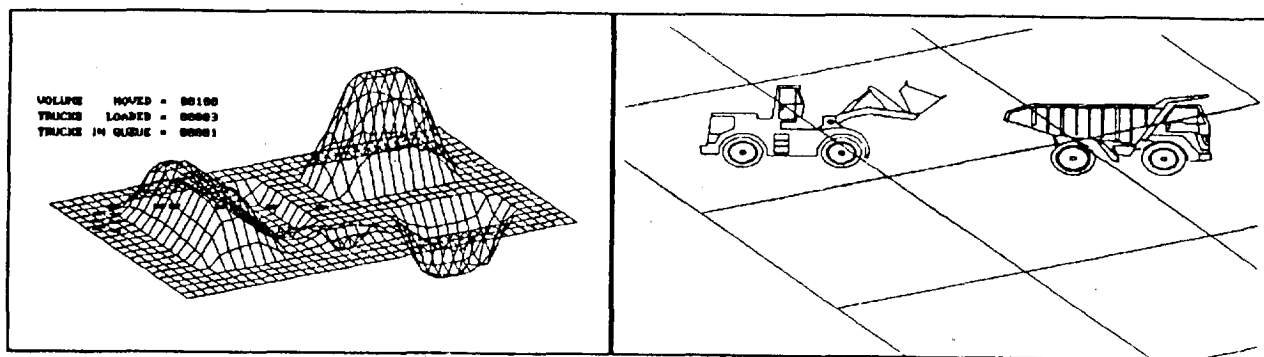


Fig. 1: Simulación animada de operaciones de movimiento de tierras.

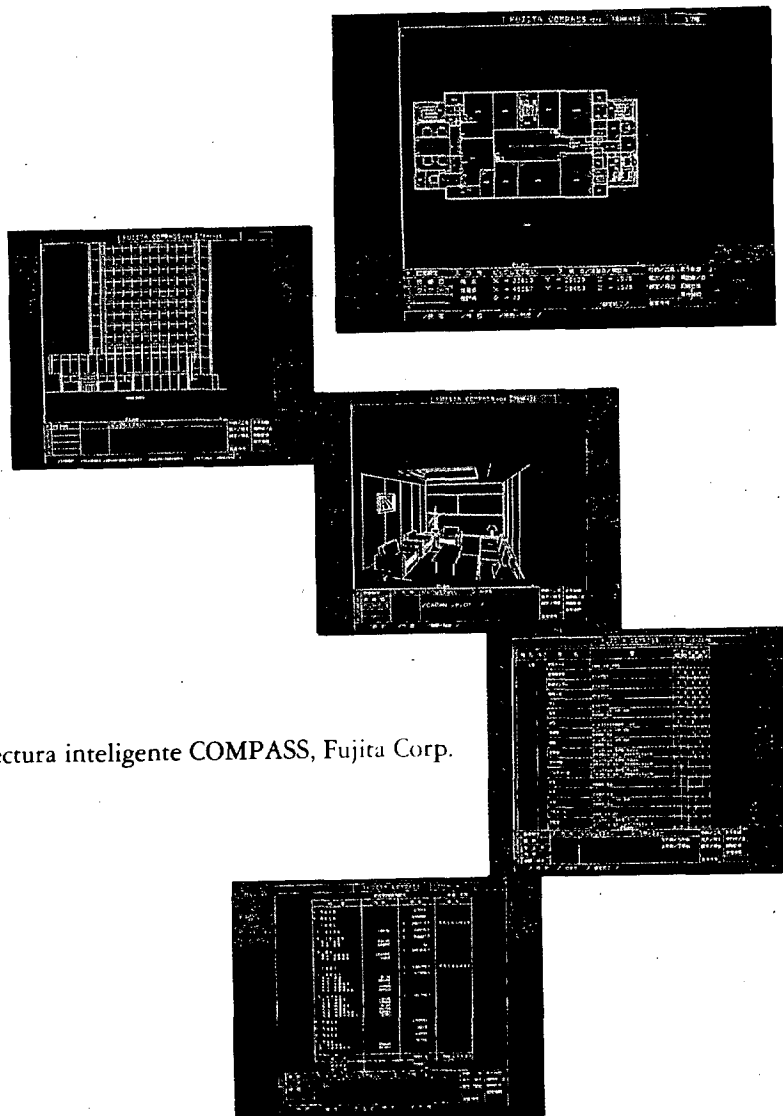
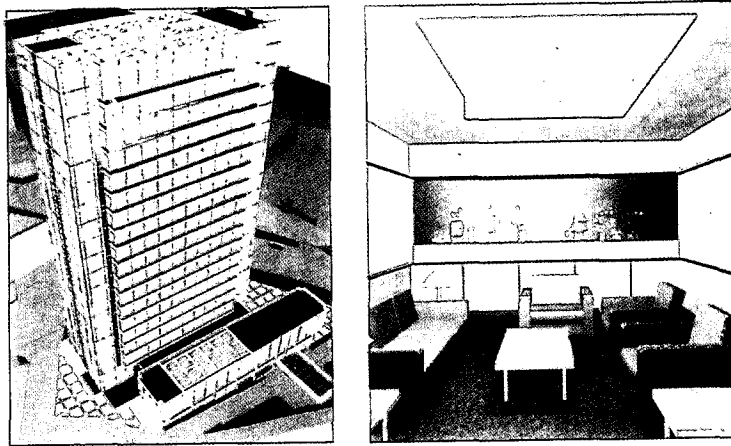


FIG. 2. Sistema de arquitectura inteligente COMPASS, Fujita Corp.

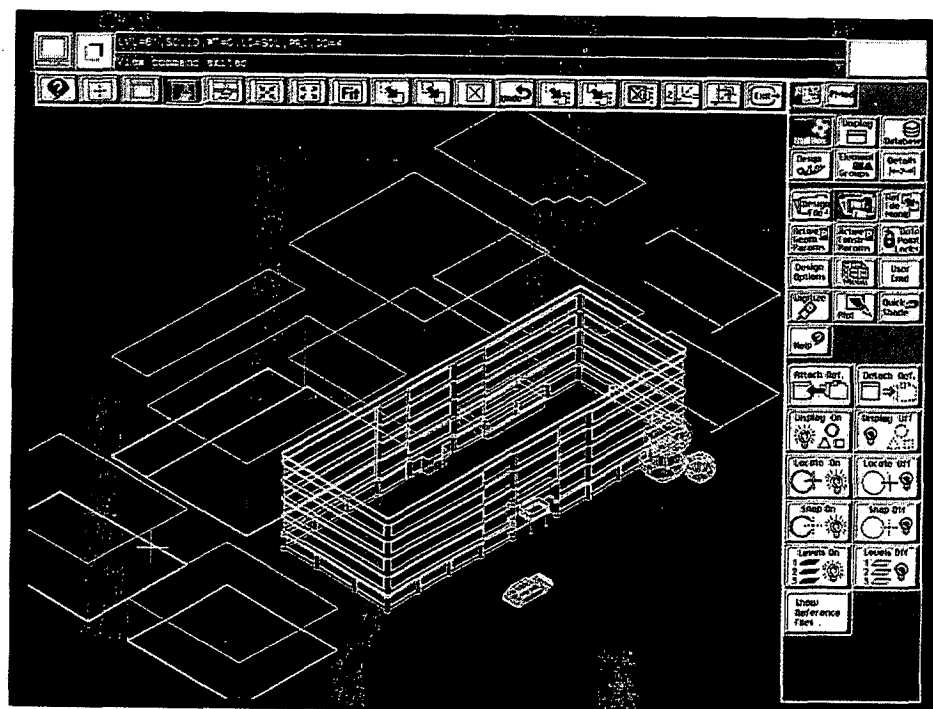
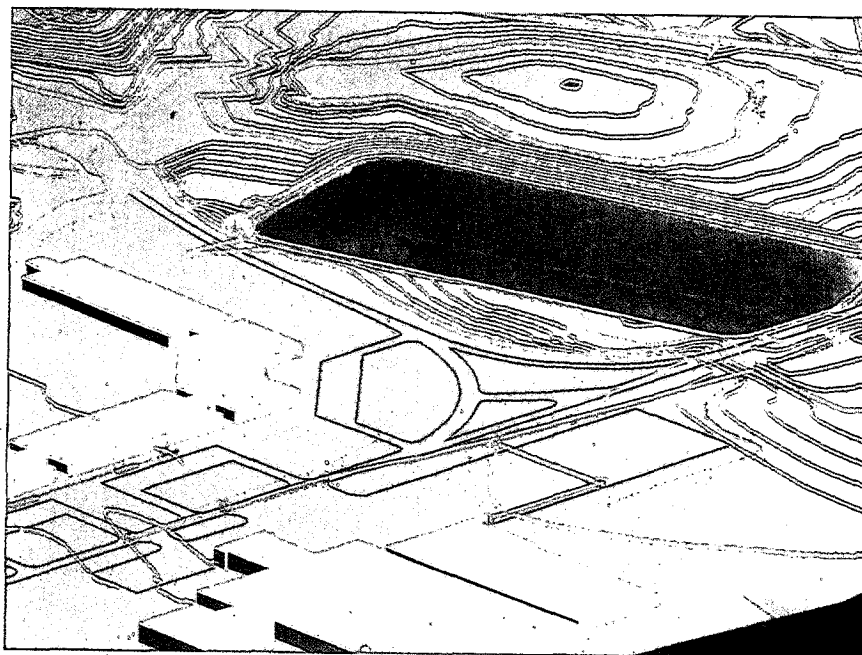


FIG. 3. Sistemas CAE/3D para diseño arquitectónico de Intergraph

Hawaii, Ref (7), pp. 55-62, es una representación icónica de simulación animada de operaciones de movimientos de tierras.

En relación con las áreas del grupo segundo, por el momento, el interés principal de los participantes activos y de los constructores de equipos, de nuevo quizá con la posible excepción japonesa, estaría centrado todavía, sobre los importantes trabajos de laboratorio relativos a las componentes integrantes de los equipos robotizados (nuevas soluciones de los problemas de percepciones visual y táctil; de facultades motrices y prensoras; problemas de adherencia a superficies; etc.), que constituirán la base de sucesivas patentes tecnológicas.

Desde la posición observadora, la atención debe estar dirigida, preferentemente, a la información sobre prospectivas y tendencias, y sobre implementaciones efectivas en la automatización de las obras. A lo largo del texto se incluyen, a efectos ilustrativos, diversas informaciones gráficas sobre robots y/o equipos automatizados, tomadas de las Refs. (6), (7), (8) y (9), que, según imágenes divulgadas (fotografías, vídeos), habrían alcanzado ya el estadio de implementación en laboratorio o en obra. Sin entrar en el detalle específico que remitimos a la Ref. (2), o bien, directamente, a las referencias antes citadas, separaremos estas realizaciones en los dos grupos siguientes:

a) Automatismos y robots en obras de edificación, destinados, básicamente, a operaciones llamadas de segunda obra y de conservación. Existe amplia variedad de robots fijos, robots móviles sobre superficie horizontal, y robots trepantes sobre pared vertical o inclinada, de tipo araña y otros, para acabados diversos en interiores y/o exteriores: soldaduras, pintura de paredes y techos, colocación de tabiques y revestimientos de piezas cerámicas, extendido de revestimientos multicapa, limpieza, mantenimiento, inspecciones, etc. (ver Figs. 4, 6, 7, 8, 18, 20 y 22); así como equipos automatizados para prefabricación de armaduras de grandes diámetros, incluido su diseño mediante sistemas CAD/CAM; para nivelación y acabado de superficies de hormigón, etc. (Figs. 5 y 23).

b) Las realizaciones de automatismos y robots en obras civiles, corresponden, principalmente, a automatización de equipos de maquinaria pesada o vehículos para inspecciones (Figs. 9 y 19); automatización de instalaciones, como plantas de hor-

migonado, sistemas de encofrados móviles o manipulación de tuberías (Figs. 10, 11 y 21); destinados a trabajos en medios hostiles o penosos, como túneles y obras submarinas (Figs. 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 24), o en entornos arriesgados, como el nuclear.

Otros equipos y/o robots operativos, no incluidos en las ilustraciones anteriores, aparecen en las Refs. (10), (11), (12) y (13). A la situación actual del mercado, todavía expectante, nos hemos referido con anterioridad, al final de la introducción.

4. EL ESTADO DEL ARTE EN LA APLICACION DE LA ROBOTICA A LA CONSTRUCCION

En la introducción y en la sección precedente, hemos establecido ya el marco general en el que se viene desarrollando la aplicación de la robótica a la construcción, como venimos comentando, posiblemente orientadora de la innovación de la industria. En esta sección pasaremos revista a las situaciones, actual y prospectiva, de la innovación en el ámbito mundial en cada una de las tres grandes áreas de influencia tecnológica y económica: Europa, USA y Japón. Para reducir en lo posible la extensión del artículo, prescindiremos, nuevamente, en general, del detalle de realizaciones concretas, que remitiremos a la Ref. (2) y/o bibliografía incluida.

4.1. Desarrollo en Europa

En primer lugar, en cuanto a la referencia europea, una novedad significativa del último Simposio, en relación con las edificaciones anteriores, que sigue la línea presente de distensión universal, ha sido la presentación de sendas exposiciones respectivamente correspondientes a los desarrollos en las Europas occidental y del este.

4.1.1. Desarrollos en Europa occidental

Siguiendo al ponente inglés, Prof. Garas [Ref. (14)], destacaremos primero algunos datos sectoriales importantes que servirán de referencia común: el valor del producto global de la construcción en la Europa occidental puede cifrarse en 6×10^5 millones de dólares, que representa más del 11 por 100 del PBI. La industria emplea

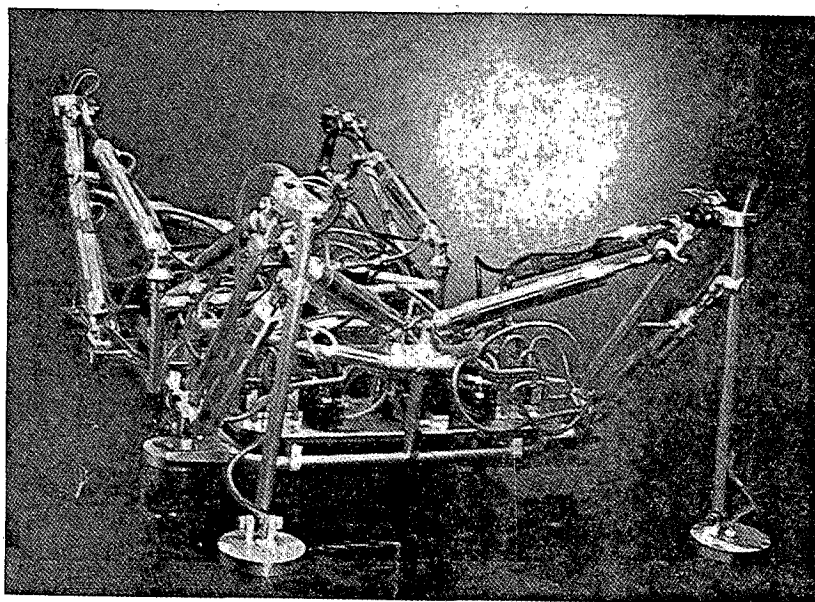


FIG. 4. Robot trepante ROBUG 2
(Portsmouth Polytechnic, UK)

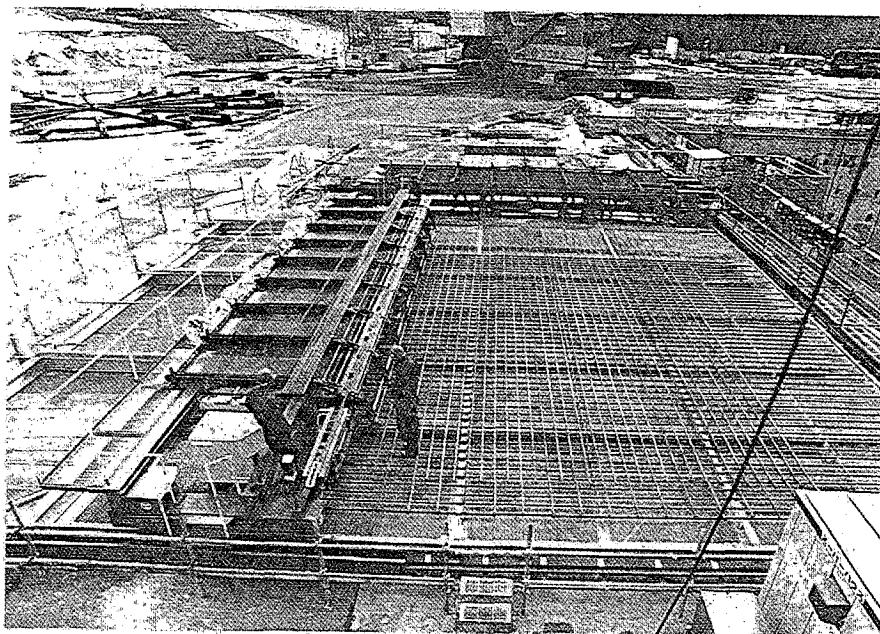


FIG. 5. Sistema automatizado de prefabricación y colocación de armaduras
(Ohbayashi Corp., Japón)

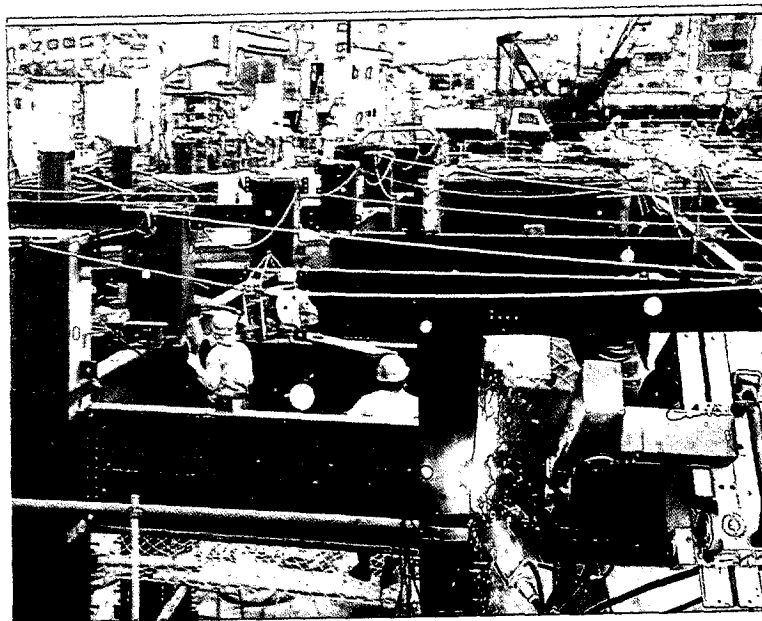


FIG. 6. Robot soldador (Fujita Corp., Japón)

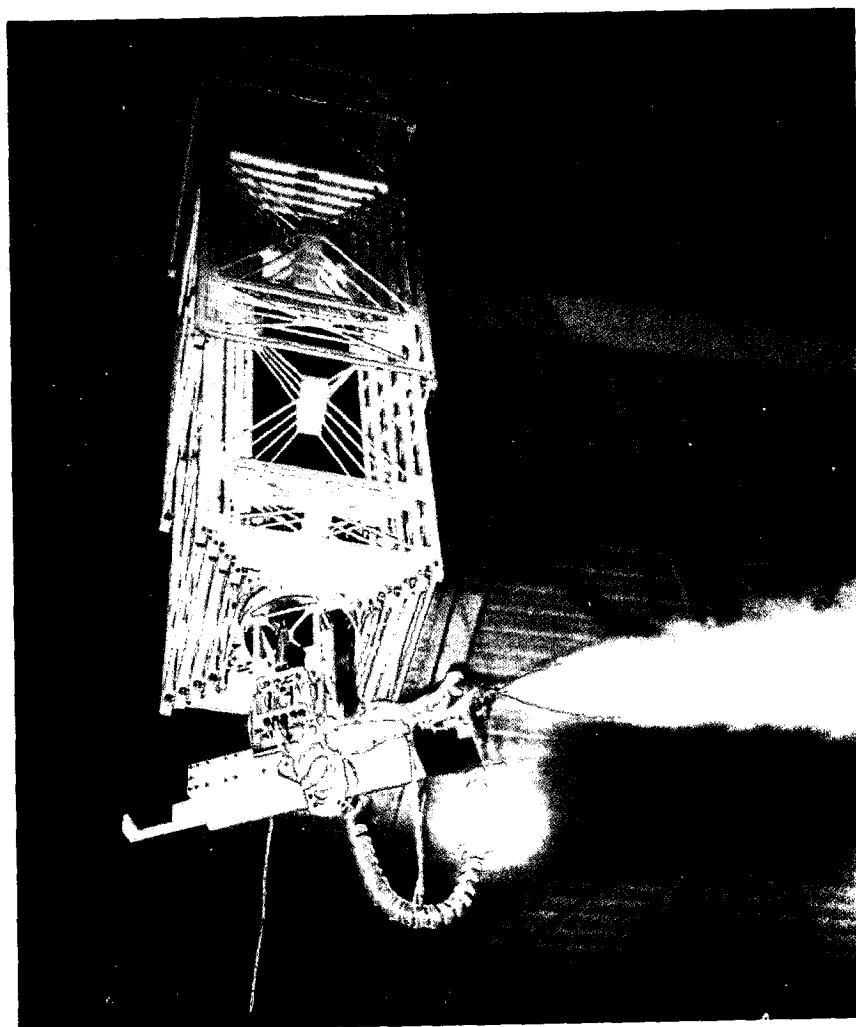


FIG. 7. Robót para pintura en lugares elevados (Fujita Corp., Japón)

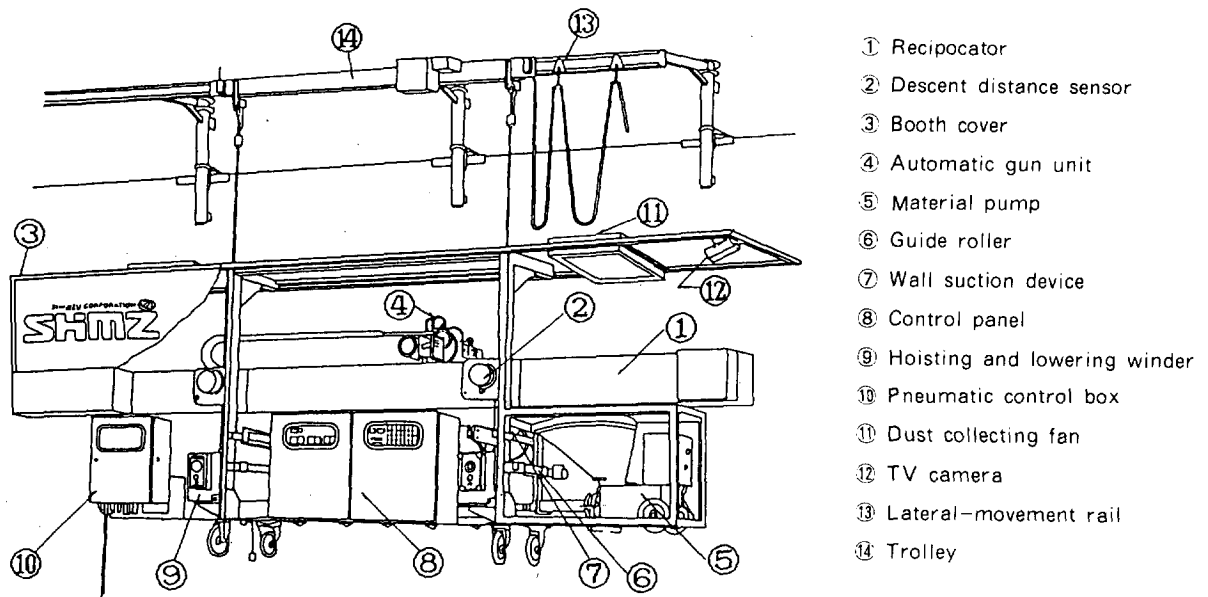


FIG. 8. Robot para revestimientos exteriores
(Shimizu Corp., Japón)

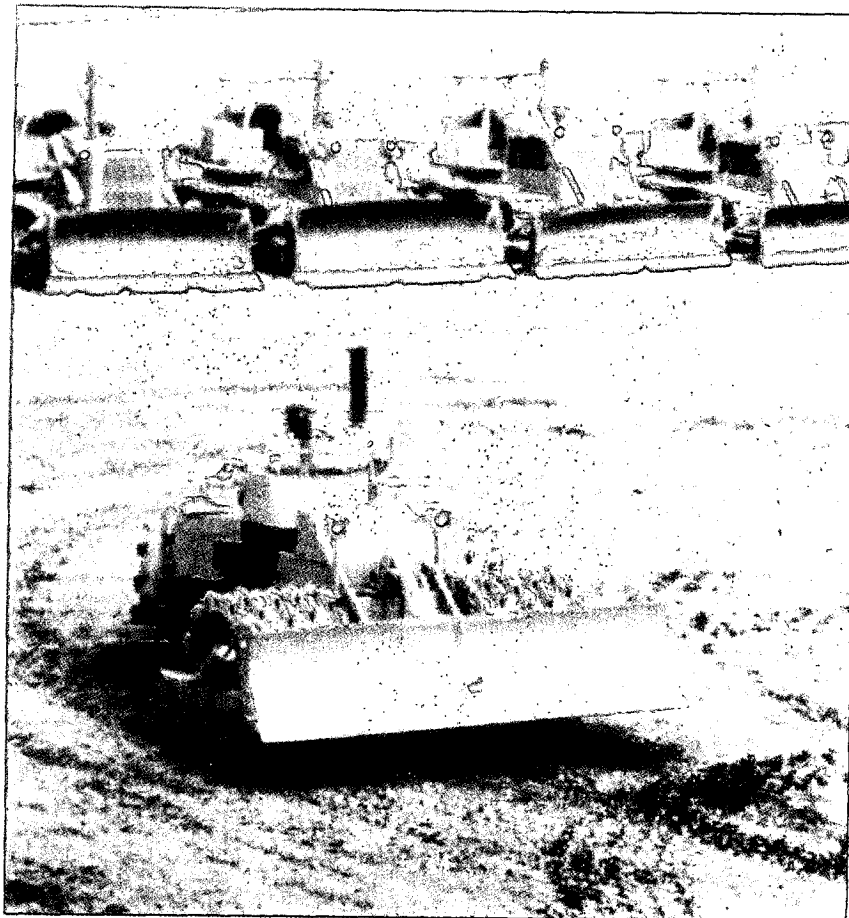


FIG. 9. Movimiento de tierras con máquinas sin operador
(Fujita Corp., Japón)

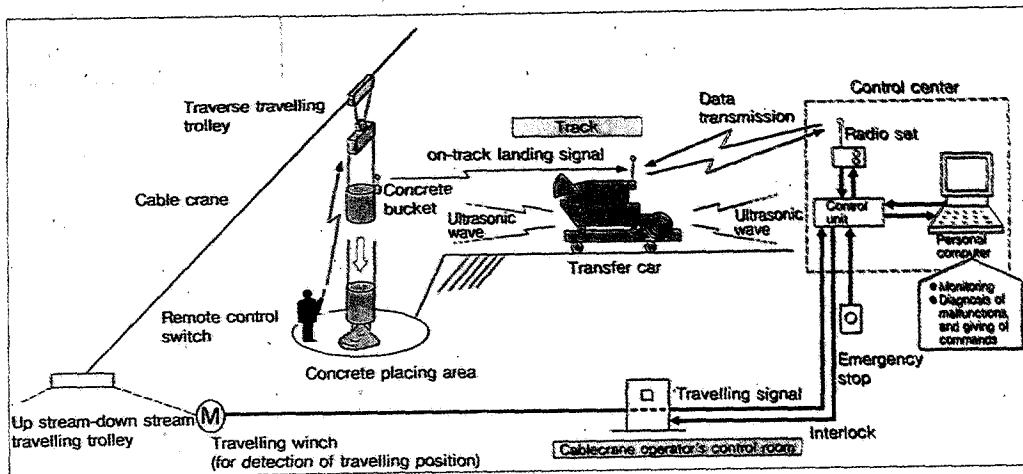


FIG. 10. Sistema automatizado de hormigonado
(Fujita Corp., Japón)

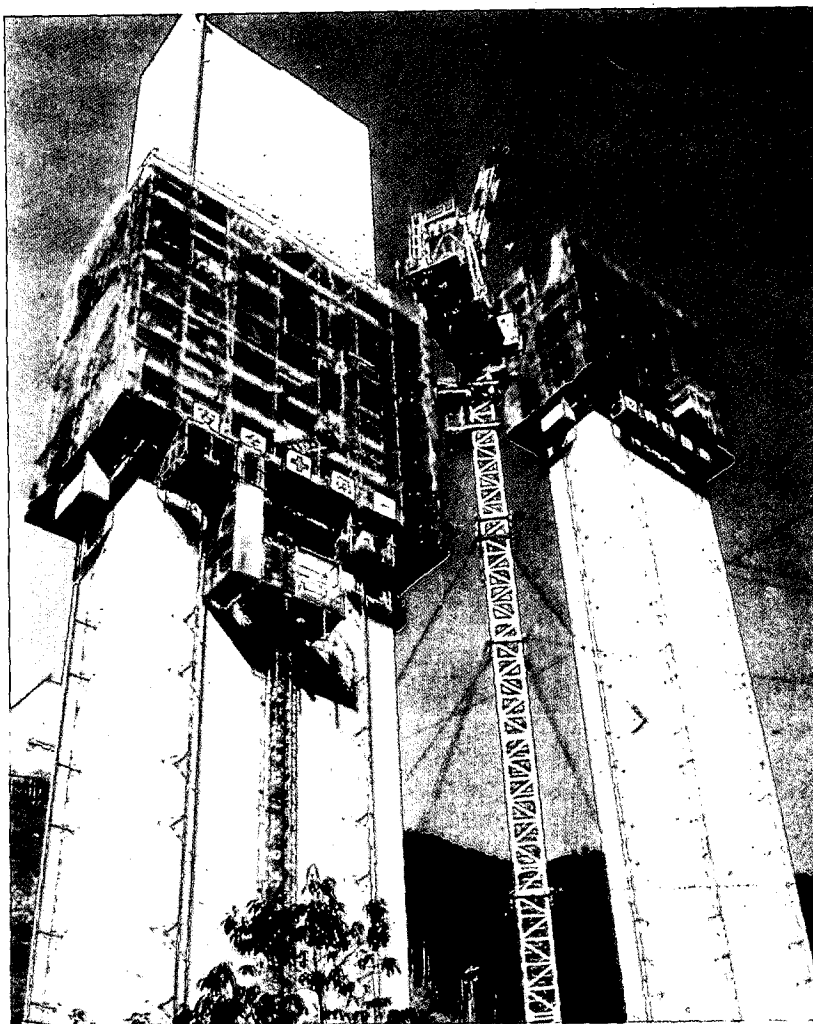


FIG. 11. Robot para elevación de encofrados trepantes
(Fujita Corp. Japón)

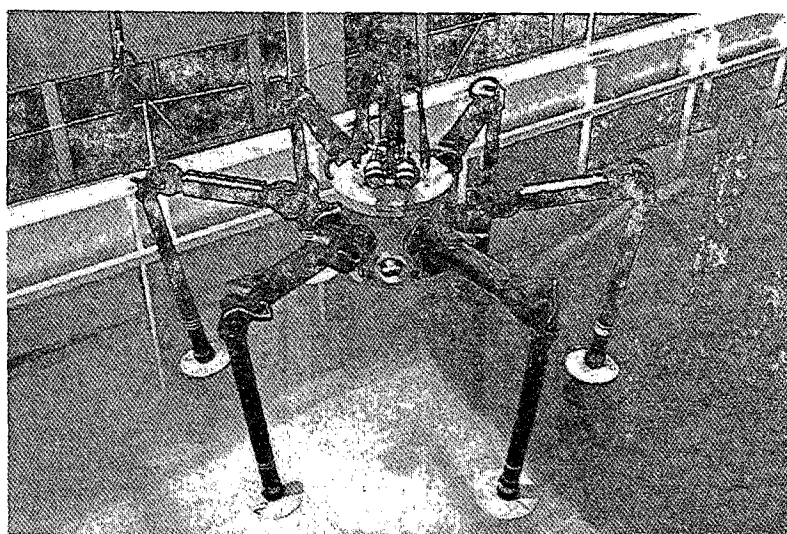
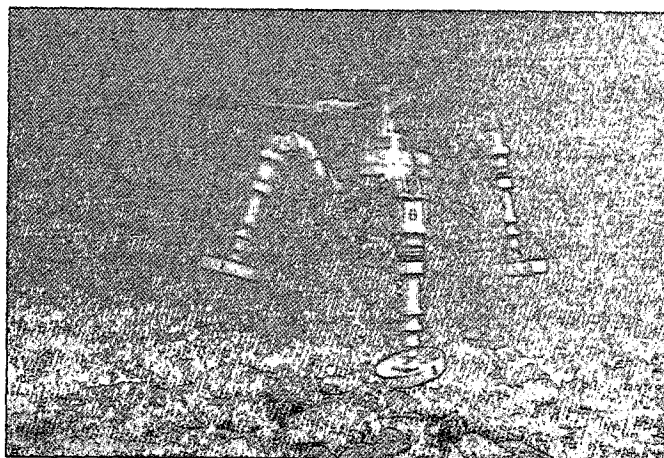
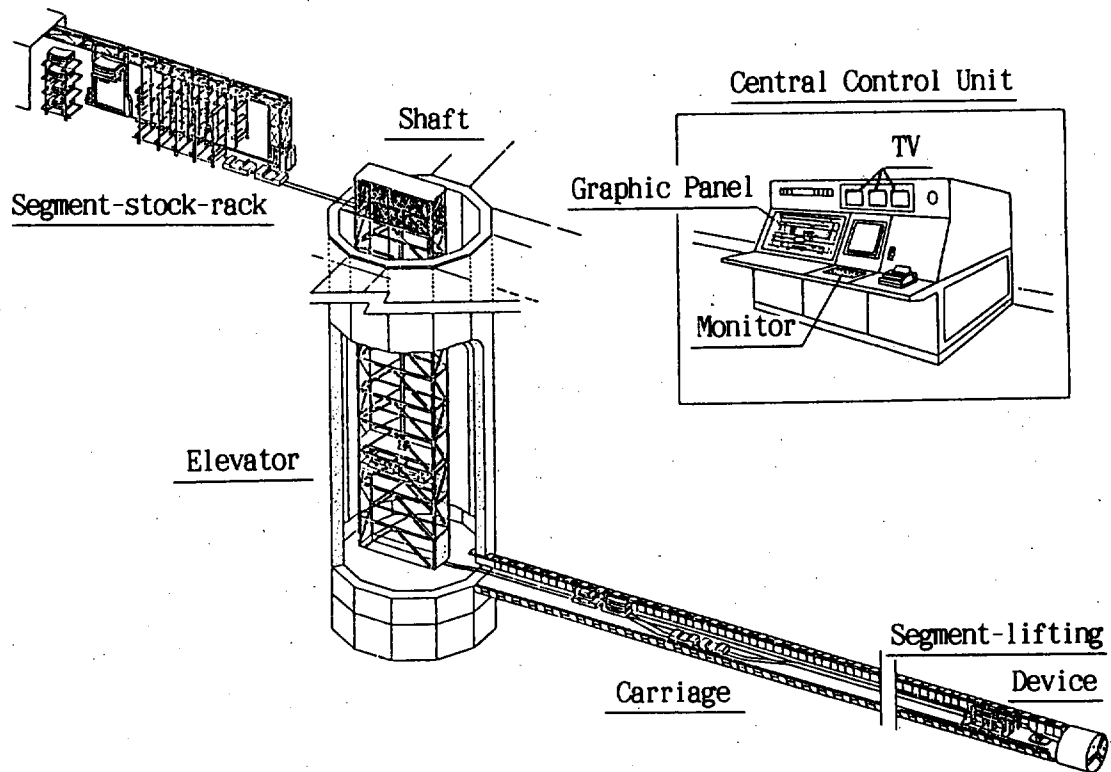
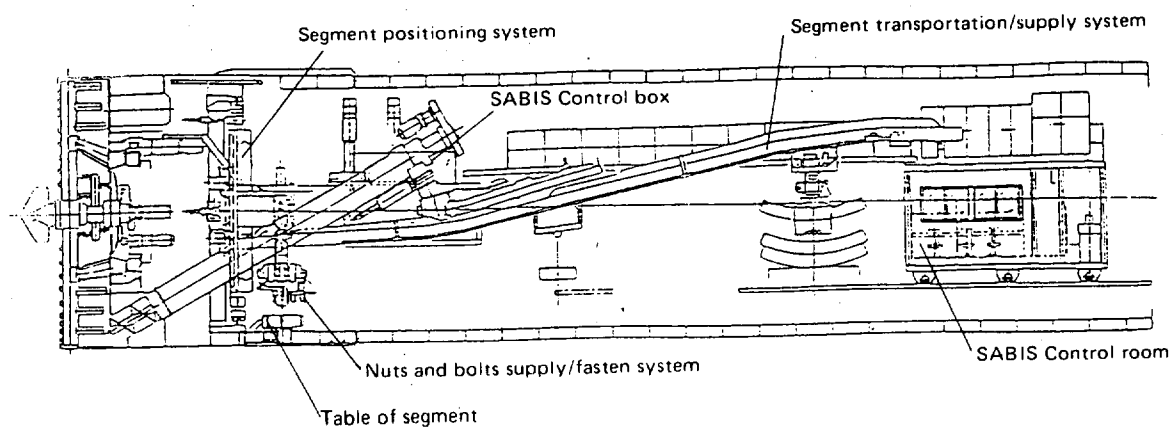


FIG. 12. Robots submarinos
(Robotics Laboratory, Japón)



FIGS. 13.a y b. Robots para colocación de escudos en túneles
(Shimizu Corp./NEE Corp. Hazama Gumi Ltd., Japón)



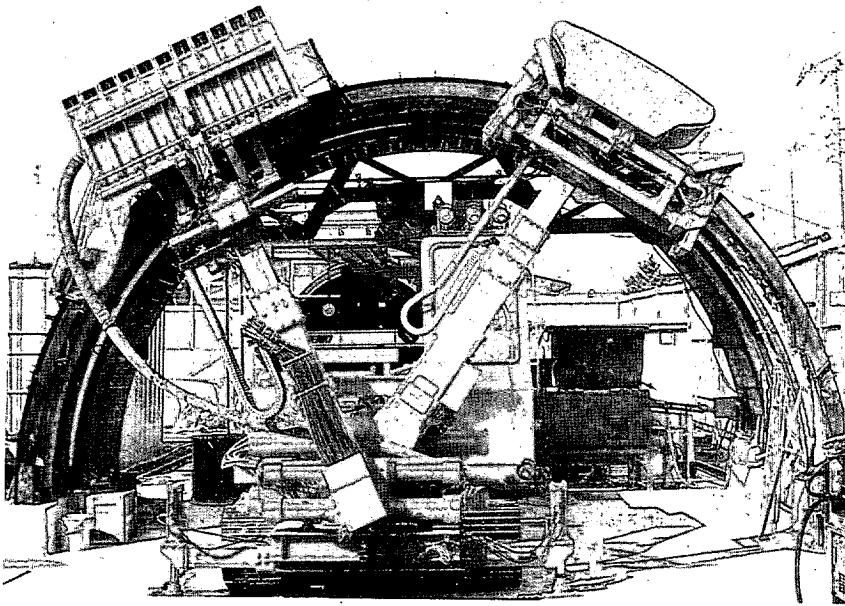


FIG. 14. Sistema robot para revestimiento en túneles (Fujita Corp., Japón)

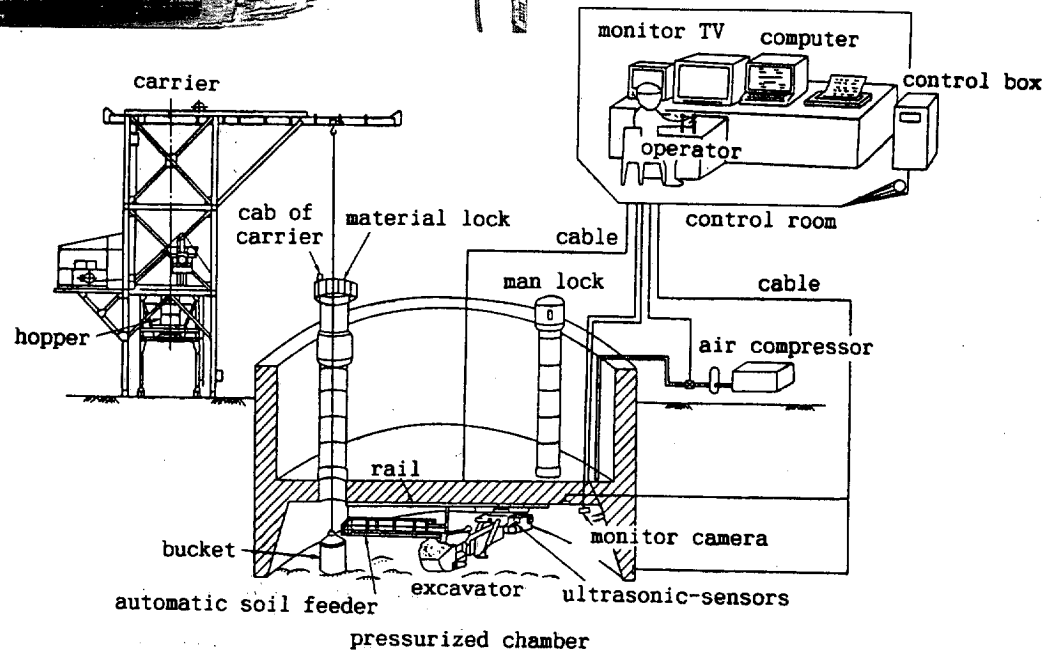


Fig. 1 Ground-level remote control system for pneumatic caisson

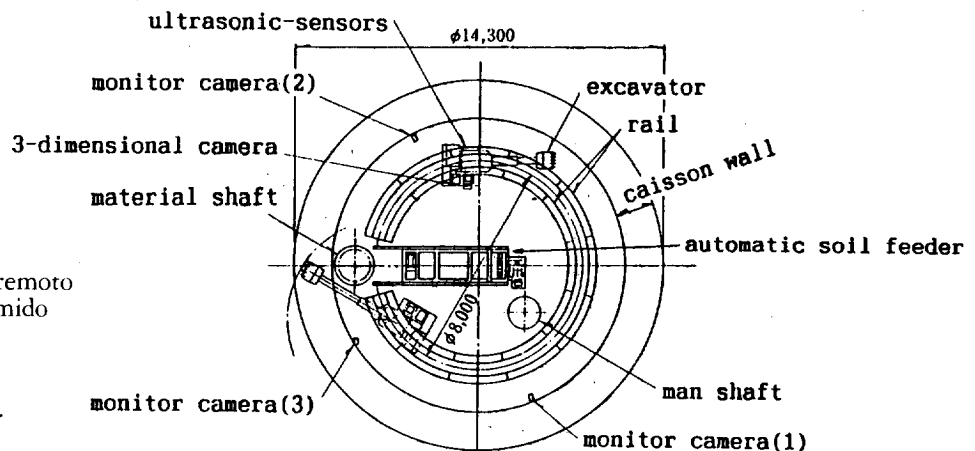


FIG. 15. Sistema de control remoto en cajones de aire comprimido (Kajina Corp., Japón)

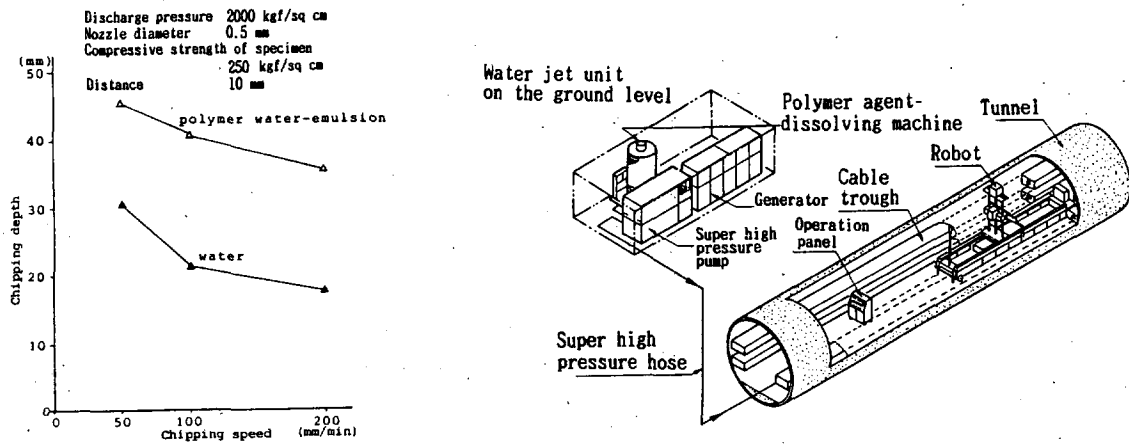


FIG. 16. Robot para reparación de galerías de servicios electrónicos (Tokio Electric Company, Japón)

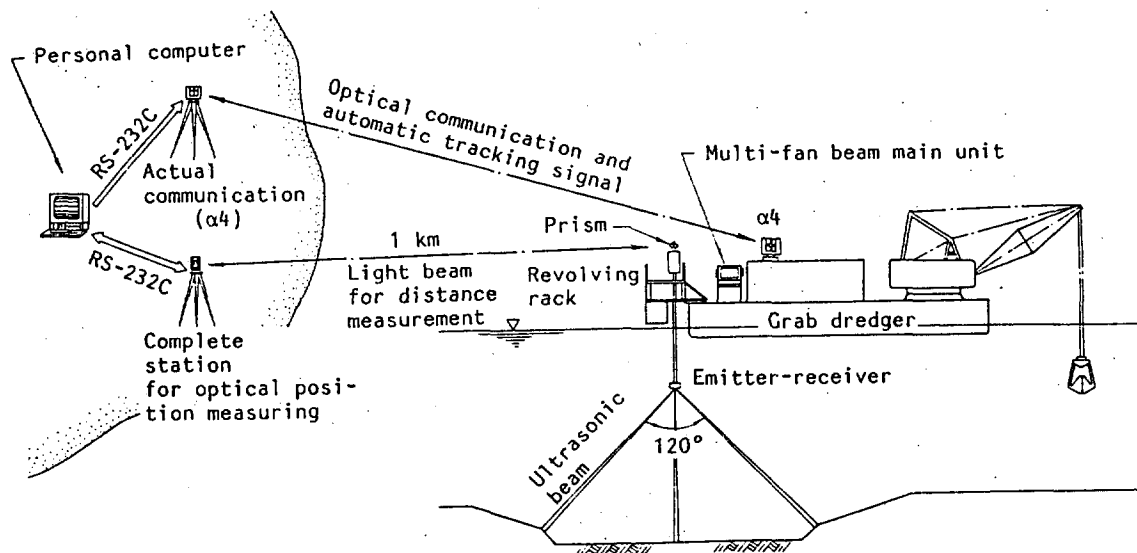


FIG. 17. Sistema automatizado de reconocimientos submarinos (Taisei Corp., Japón)

12 millones de personas, aproximadamente el 10 por 100 de la población activa total. El origen de los desarrollos emprendidos para la intensificación del proceso de automatización y robotización de la actividad constructora, en distintos países, se justifica, primero, en la reducción y envejecimiento progresivos de la población especializada, y las dificultades de incorporación de nuevas generaciones, más atraídas por sectores como las industrias de altas tecnologías, instituciones financieras y servicios; y, en segundo lugar, en la necesidad de extender a este campo los beneficios contrastados, derivados de la automatización, en los sectores más industrializados, por razones de economía y de calidad competitivas. Estas mismas preocupaciones serán también comunes en otras áreas geográficas de referencia posterior. En el marco general descrito del sector de la construcción en la Europa occidental, destacaremos los aspectos siguientes de la situación de las actividades de innovación en distintos países, que se completarán con la mención de las principales actuaciones cooperativas:

En Inglaterra:

Las actividades en centros académicos se iniciaron en 1985 en el Bristol Polytechnic, anfitrión y organizador del Simposio, en las Universidades de Reading, Leeds y Manchester. Los estudios iniciales analizaron el impacto de introducir la automación y la robótica en el diseño y construcción de edificios, y la viabilidad de implementación de sistemas flexibles de fabricación mediante incorporación de la robótica y sistemas expertos y sistemas basados en el conocimiento.

En paralelo con estos trabajos, despertaron, también en 1985, las primeras inquietudes sobre la necesidad de establecer un programa nacional coordinado para el desarrollo de la robótica avanzada (AR, Advanced Robotics) aplicada a la construcción. En esta misma época, el Departamento de Industria y Comercio (DTI, Department of Trade & Industry) impulsó la formación de grupos de colaboración nacional (NCG, National Collaborative Groups), para desarrollar la investigación en las cuatro áreas siguientes: túneles, edificación, ingeniería submarina e ingeniería nuclear. Para las cuatro áreas se formuló un programa común, que incluía las tres etapas siguientes: un estudio de factibilidad (FS, Feasibility Study), para identificación de actividades y proyectos concretos; un estudio de definición de proyectos (PDS, Project Definition Stage), orientado a definir un proyecto detallado de desarrollo

industrial (IDP, Industrial Development Project), con especificación de los requerimientos en I + D, y, en tercer término, la realización del IDP para ejecución de robots avanzados en una o más etapas. Actúa como coordinador general del programa el NCG de Túneles. Las participaciones activas de empresas y organismos, y el estado del programa, en cada uno de los grupos, es el siguiente:

En el NCG de Túneles, el FS fue realizado por la British Coal durante 1985-1986, señalando un mercado potencial de 10.000 kms./año justificativo del interés del proyecto. Se creó un NCG integrado por ocho organizaciones para la realización del PDS durante 1987-1988. Las directrices de las conclusiones del PDS se orientaron a la ejecución de túneles para minería y proyectos de obra civil, con énfasis en una aproximación sistemática y de **operación continua**. En las fechas del 7.º ISARC se había formulado una propuesta para el desarrollo de un sistema AR mediante integración de subsistemas automatizados.

El NCG de Edificación concentró los esfuerzos más importantes. El FS fue llevado a cabo por la Construction Industry Research & Information Association (CIRIA), y se sigue trabajando en el desarrollo del PDS contando con múltiples colaboraciones empresariales y académicas.

Las áreas concretas de desarrollo seleccionadas como más prometedoras en función de criterios técnicos y de mercado, han sido las de mantenimiento y rehabilitación de edificios, consideradas en primera aproximación más asequibles que la construcción inicial desde planta, y las de inspección, control y reparación de estructuras de edificios y obras civiles. El objetivo del PDS es la construcción de un robot trepante, concebido de forma modular, para adaptación a destrezas diversas. La próxima etapa será la construcción del prototipo así definido.

El trabajo del NCG de Ingeniería Submarina se ha canalizado a través de un proyecto EUREKA (EU 191), mediante un programa conjunto de Inglaterra e Italia. El objetivo del proyecto es la construcción de dos robots submarinos móviles. La ejecución del proyecto cuenta con diez participantes en Inglaterra y ocho en Italia.

Finalmente, el trabajo del NCG de Ingeniería Nuclear se realiza a través del programa EEC Telemán, bajo dirección del Advanced Robotics Research Center (ARRL). Se trata de un programa en cinco años sobre actuación en un en-

torno de riesgo nuclear que incluye la construcción de una grúa robotizada, una estación de telemando con interface hombre/máquina y un robot móvil para intervención en situación de emergencia.

El ARRL es una pieza básica en la estrategia inglesa sobre aplicaciones futuras de la robótica avanzada. Tiene su sede en Salford y se creó en 1988, con una financiación del DTI, cubriendo un período de cinco años, por un importe de cinco millones de libras y una aportación análoga procedente de un grupo de empresas y la Universidad de Salford. El objetivo es alcanzar la autofinanciación en ese período a partir de la investigación en tecnologías básicas para ulterior desarrollo de sistemas robotizados semiautónomos como los arriba citados.

Además de las realizaciones indicadas, cuyos detalles de ejecución y entidades participativas figuran en la Ref. (14), se comentan allí otros trabajos en curso, en el Portsmouth Polytechnic, Universidad de Lancaster, City University (London), Southbank Polytechnic (London) y Universidad de Wales (Cardiff).

En Francia:

Existe un amplio campo de programas y actividades, a cargo de muy diversas instituciones, entre ellos:

Los esfuerzos del INRIA relativos a aspectos básicos de la aplicación de la IA a la construcción de robots se han concentrado en las instalaciones del centro Sophia-Antipolis, a través del desarrollo de proyectos tales como visión computerizada, proceso y reconocimiento de imágenes, programación de robots y razonamiento geométrico.

Los trabajos más divulgados, dirigidos a la automatización de la construcción, son los correspondientes al área de edificación, llevados a cabo por el Centre Scientifique et Technique du Batiment (CSTB), en particular, los del Service Informatique et Batiment (SIB) [Ref. (15)]. Otros centros y asociaciones también impulsores de trabajos afines son el Centre d'Etudes du Batiment et des Travaux Publics (CEBTP), el Groupe d'Etudes pour l'Application des Méthodes Scientifiques à l'Architecture et à l'Urbanisme (GAMSAU) y el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC). Todos ellos mantienen asimismo relaciones estrechas con otros organismos y equipos de investigación en robótica industrial como el Institute International de Robotique et

d'Intelligence Artificielle de Marseille (IIRIAM), la Association Française de Robotique Industrielle (AFRI), o el CEA.

Como directriz general del enfoque de la automatización futura de la edificación, en la actualidad se estudia en concreto la reorientación de los sistemas tradicionales de construcción mediante elementos prefabricados pesados (paneles de hormigón), utilizados ampliamente en los años 60 que adolecían de ser excesivamente rígidos, y de los usuales de los años 70, mediante fábricas de ladrillo o bloques ligeros, más flexibles pero con aplicación intensiva de mano de obra, para tratar de conseguir el mejor aprovechamiento de las respectivas características positivas de uno y otro sistema.

Existe un programa nacional que tiene como objetivo el diseño de sistemas abiertos de construcción con un alto grado de compatibilidad entre componentes procedentes de distintos suministradores. Una herramienta software, específica para diseño de edificios con estructura de hormigón, deberá permitir la selección de componentes entre catálogos facilitados por los fabricantes. El desarrollo futuro incluirá la oportuna comunicación a los fabricantes y las informaciones necesarias para dirigir el proceso de fabricación automatizada.

En el momento actual existen ya en Francia realizaciones para la fabricación automatizada en taller de diversos componentes como paneles de hormigón pretensado, elementos metálicos o de madera (piezas estructurales, puertas, ventanas, etc.), elementos de redes eléctricas y sistemas de calefacción por agua caliente, armaduras, etc.

En lo sucesivo se trata de lograr una mayor intercomunicación entre los diferentes participantes y actores del proceso constructivo integral, con base en la tecnología informática. Para conseguir este objetivo se están desarrollando diversos proyectos concretos por parte del CSTB, contando con el apoyo oficial y del sector privado, y en algunos casos en el marco de los programas de ayuda a la investigación de la CEE (por ejemplo, los proyectos FARTEC, CIBAO, COMBINE y CICERO). La asociación EDICONSTRUCT aglutina miembros que desean promover el intercambio mutuo de datos informatizados.

El desarrollo de las anteriores tecnologías básicas se completa con la experimentación fructífera de prototipos [Refs. (6) y (11)], algunos de los

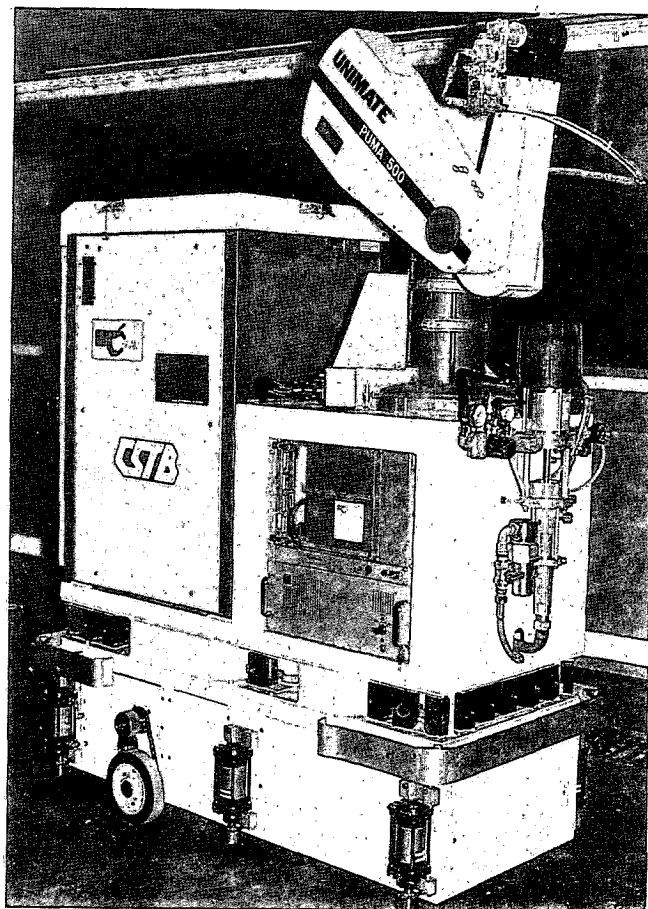


FIG. 18. Robot SOFFITO para pintura de interiores
(CSTB, Francia)

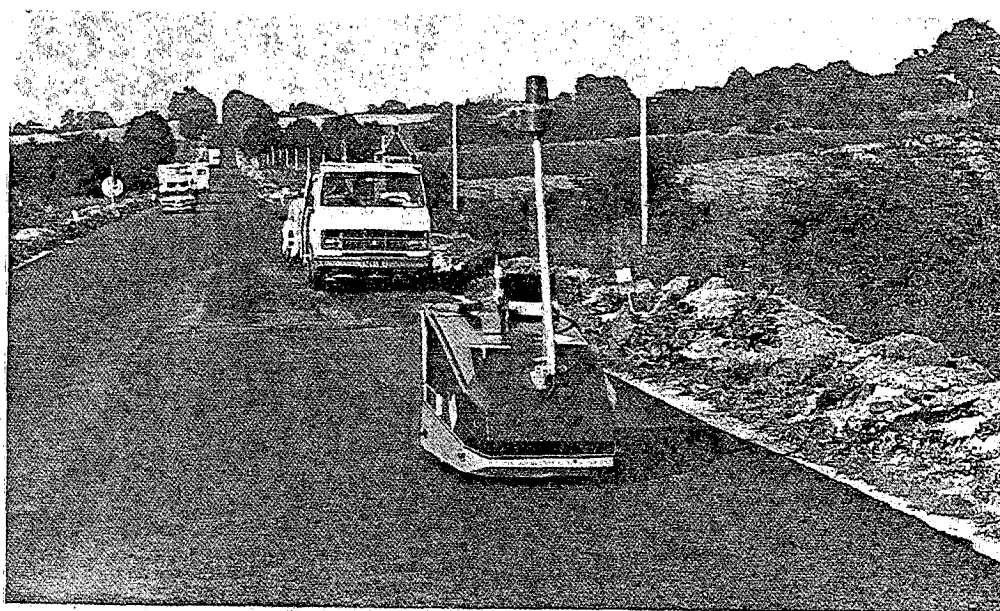


FIG. 19. Vehículo teledirigido para medición de densidad de pavimentos
(Centre d'Etudes de Normandie, Francia)

cuales se han recogido en la Ref. (2). Es merecedor de mención especial, el conocido robot para pintura de techos, llamado SOFFITO (Fig. 18), construido en el CSTB, que fue la realización más relevante presentada por países de Europa occidental en el 5.º ISARC.

La continuación y profundización actual del SOFFITO es un nuevo programa, financiado por el Ministerio de Investigación y Tecnología, cuyas líneas maestras serán el análisis de tareas idóneas para ejecución por robots móviles y el desarrollo de los sistemas mecánicos e informáticos, para el desplazamiento y control del robot multitarea adecuado. Como base de este programa, el CSTB también lleva a cabo, conjuntamente con el CEBTP, un estudio general, financiado por el Ministerio de la Construcción, para la determinación de robotización potencial de operaciones de construcción, mediante su análisis funcional. Estos estudios se encuadran en el programa IN.PRO.BAT del Plan Construcción y Arquitectura y sus resultados se presentan regularmente en el Club Robotique et BTP. Otras acciones conjuntas del CSTB y del CEBTP producidas en el marco del programa europeo SPRINT, están orientadas a la creación de participaciones comunes con otros países.

La implementación efectiva de los robots en las obras de edificación en Francia se considera, todavía, un objetivo lejano, en palabras de expertos responsables de desarrollos en curso.

La automatización potencial de operaciones específicas en obras civiles se ha considerado en el marco de un programa nacional prospectivo financiado por el Ministerio de Investigación. Las obras de carreteras son las que apuntan en Francia mayor vocación innovadora para el desarrollo de un proceso integrado dirigido a la automación. Se desarrollan trabajos en esta dirección por parte del Laboratoire des Ponts et Chaussées de Nantes y del Centro de Estudios de Normandía (ver, por ejemplo, la Fig. 19). Un proyecto del Laboratorio de Nantes es la automatización de las instalaciones de producción de áridos, objeto de un programa BRITE, con financiación de la CEE, en el que participa Dragados y Construcciones.

En el área de ingeniería nuclear se desarrolla un programa quinquenal (1988-1992), similar al inglés ya citado, para el desarrollo de tecnologías de robots telemandados por ordenador para inspección y reparaciones.

El proyecto ATLAS, de desarrollo conjunto, se refiere a la construcción de grúas robot para manipulación automatizada de cargas en obras.

Por último, un dominio con posición de vanguardia de Francia, es la automatización de la limpieza industrial, destacando, principalmente, la importante experiencia obtenida por la RATP en la limpieza de estaciones de transportes urbanos.

En Alemania (RFA):

Como se comentó con anterioridad, las actividades de I+D en el área de la robotización en la RFA se realizan directamente por la industria privada, sin coordinación ni financiación estatales. Sin embargo, la German Research Society (DFG) ha instalado un Centro en la Universidad Técnica de Múnich, para investigaciones básicas relativas a robots autónomos.

En el GKSS (Geestacht) y en IPK (Berlín) se trabaja en aplicaciones submarinas y offshore, y en el Instituto para Sistemas Computerizados en Tiempo Real y Robótica (IPR) de Karlsruhe, se construye un robot con facultades prensoras.

La exposición BAUMA representa la exhibición más completa de las innovaciones en la actividad de la construcción en la RFA, y, de hecho, el ponente por Europa en el 6.º Simposio ISARC en San Francisco, alemán en aquella ocasión, se limitó a la revisión de las presentaciones en la BAUMA 89, según su propia exposición, descartando referencias a las realizaciones en otros países. La participación alemana en el 7.º ISARC ha sido muy limitada. Sin embargo, la celebración del próximo Simposio ISARC en 1991, en Stuttgart, será, seguramente, ocasión idónea para el conocimiento directo de los nuevos avances alemanes.

En Italia:

Además de la participación ya mencionada en el proyecto EUREKA 191 y en otros proyectos colectivos que se describen después, los trabajos de investigación se centran en estudios de tecnologías básicas y de interfaces hombre/máquina.

En cuanto a tecnologías aplicadas se realiza un estudio sobre un robot para colocación de revestimientos de piezas cerámicas mediante colaboración del Instituto Cooperativo per l'Innovazione y Aitek SRL.

En Holanda:

Las investigaciones se centran en el Institute of Building Materials (TNO) e incluyen: un prototipo para instalación de elementos de cubierta, sistemas basados en el conocimiento y standards para intercambio de datos del modelo producto, además de diversas participaciones en desarrollos comunes.

En Finlandia:

En un contexto general de elevado nivel tecnológico de los países del norte de Europa, la decidida apuesta finlandesa a favor de la automatización de la construcción en general, y de la edificación en particular, es, realmente, singular. En efecto, los intentos de industrialización de la edificación en Finlandia han venido condicionados por el alto grado de prefabricación, ya iniciada en los años 60, que se sitúa actualmente en uno de los niveles mundiales más elevados. Desde aquella época se ha impuesto un sistema común de construcción en la industria y se ha aceptado también una infraestructura informativa común. Sobre estos antecedentes favorables para la automatización, en los años 80 se ha relanzado un programa estatal que incluye como objetivos la creación de un sistema abierto de edificación, basado en componentes prefabricados, y un marco, a nivel nacional, para el diseño mediante tecnología CAD. Los principales trabajos de I+D se llevan a cabo en el Technical Research Centre (TRC) of Finland, que cuenta con un Laboratory for Urban Planning and Building Design.

El programa de índole nacional se estructura en varios proyectos. Se actúa sobre una base informática común, disponible con anterioridad, utilizada con profusión para el diseño integrado de edificación. El proyecto RATA 2000 (Construction Method 2000) representa el marco global en el que se analizan los requerimientos básicos de proyecto para la utilización de sistemas de componentes. Existen, además, proyectos específicos correspondientes al uso de distintos tipos de materiales, en particular para construcciones con prefabricados de hormigón, de ladrillo, de madera y con estructura metálica. El primer proyecto, relativo a la construcción de viviendas y edificios de oficinas mediante empleo de piezas prefabricadas de hormigón, se inició en 1986 y finalizará en 1991.

Un programa de investigación, a más largo plazo, a cargo del TRC, estará orientado al des-

arrollo de tecnologías básicas relacionadas con la aplicación de la ingeniería del conocimiento, la robótica y los sistemas integrados de información a la construcción. Los trabajos se desarrollan en estrecha colaboración con el CSTB francés que, como hemos visto anteriormente, mantiene líneas de investigación similares.

La construcción de robots para obras de edificación está todavía en una fase incipiente, iniciada con la inclusión de la construcción de un prototipo en el programa anterior. Existe amplia investigación sobre la aplicación de automatismos en plantas de prefabricados de hormigón.

En el área de obras civiles existen diversos sistemas automatizados ya comercializados para perforaciones durante la excavación y para proyección del hormigón en la construcción de túneles. En la Universidad de Oulu se desarrolla un sistema de posicionamiento en 3-D, mediante rayos laser, para navegación y control de bulldozers y otros equipos pesados.

En Dinamarca, Suecia y Noruega:

Con independencia de la existencia de empresas fabricantes de equipos automatizados, algunas de implantación común en estos países, se están desarrollando las siguientes actividades de interés.

En la Universidad Técnica de Dinamarca, trabajos de software orientados a la creación de un sistema basado en el conocimiento en las áreas de edificación e ingeniería.

Colaboración entre Noruega y Finlandia en una serie de proyectos que incluyen la automatización de plantas de prefabricados de hormigón, y de la operación con grúas y sistemas de manipulación de materiales en obra.

En Suecia se estudian, principalmente, equipos robotizados para construcción de túneles y trabajos de demolición. Se investiga, también, una máquina de mezcla automática para fabricación de morteros en obras de edificación.

Programas cooperativos:

En la comunidad europea occidental se está imponiendo progresivamente la idea de que la entidad de los desarrollos en I+D y la inversión de los recursos necesarios para la automatización de una industria que representa más del 11 por 100 del PBI global, exige acciones coordinadas de los distintos países. Además de la participación

económica común, estas acciones deben producirse en el marco de una aproximación interdisciplinaria, aprovechando las mayores especializaciones existentes en las diferentes tecnologías nacionales.

Dentro del alcance del programa ESPRIT, la CEE está financiando trabajos de I+D en ambos campos de la fabricación asistida por ordenador (CIM, Computer Integrated Manufacturing) y de la robótica avanzada. En particular, los siguientes proyectos comunitarios en curso, orientados, en principio a la actividad industrial, podrían ser también aplicables, en el futuro, a la automatización de la construcción: control operacional para integración de sistemas robotizados en entornos CIM, construcción de un robot móvil autónomo en un ambiente industrial, desarrollo de un sistema de navegación para aplicaciones de robots móviles, sistemas de manipulación mediante robótica avanzada.

Se ha comentado anteriormente el programa binacional entre Inglaterra e Italia, dirigido a la creación de vehículos robotizados para inspecciones submarinas, en el marco del programa EUREKA.

Otro proyecto conjunto Eureka (EU 40), con participaciones francesa, italiana y española, denominado **ROBUR**, se refiere a la creación de un robot destinado a reparaciones de averías de servicios alojados en galerías de infraestructuras urbanas. La construcción de este robot móvil es complementaria del desarrollo del nuevo concepto de Ingeniería Urbana Industrializada (IUI), cuyo objetivo es la agrupación de diversas canalizaciones de servicios urbanos (fluidos, energía, comunicaciones, etc.) en una misma estructura prefabricada de hormigón, y la automatización del control, vigilancia y gestión asimismo unificados. La participación española corresponde a las empresas Sociedad Española Tubo Fabrega, Equipos Nucleares, Initec y Setel, además del Instituto de Automática Industrial (IAI) del CSIC. Aunque marginal al sector, la intervención del IAI en este proyecto, es la única información de que disponemos sobre actividades nacionales de fabricación de robots relacionados con la construcción.

Uno de los proyectos cooperativos más ambiciosos, también en el marco comunitario, es EUREKA 130, un proyecto de creación de un sistema CIM para la construcción de estructuras metálicas, que puede suponer la integración de

esta actividad en los países participantes. El proyecto cuenta con la colaboración de cerca de 40 organizaciones de los seis países siguientes: UK, Francia, Italia, Dinamarca, Finlandia y Holanda. El programa de cuatro años, que supone una inversión de 50 millones de ECUS, comprenderá la normalización e integración de todas las actividades relativas al diseño, fabricación, construcción y gestión de la obra. El proyecto incluye, también, la construcción de equipos robotizados para la realización de las soldaduras, y el desarrollo de sistemas informáticos MIS (Manufacturing Information Systems) para la gestión integrada.

4.1.2. *Desarrollos en la Europa oriental*

La información sobre desarrollos en la Europa oriental en el 7.º ISARC, ha estado limitada a las realizaciones en la URSS, a cargo del Instituto de Investigación sobre Maquinaria para la Construcción de Carreteras y Edificación, y coordinadas, todas ellas, por la prestigiosa Academia de Ciencias y Tecnología. La exposición principal fue llevada a cabo por el Prof. Chernousko, miembro de la Academia. La omisión de referencias a los desarrollos en los restantes países del área, destacada por el propio orador, es un signo de cierta opacidad en las respectivas relaciones científicas y tecnológicas, que intentamos paliar con la información disponible sobre el Simposio Internacional sobre la Automación de Procesos de Construcción y Maquinaria de Construcción, que tuvo lugar en Magdebourg (RDA), en mayo 1989, al que nos referiremos más adelante.

En la URSS:

La población actualmente ocupada en el sector de la construcción en la URSS se cifra en cinco millones de personas, y, como en los países de Europa occidental, la implementación de la robótica se justifica principalmente por la progresiva disminución del potencial humano disponible. Las realizaciones en curso, evidencian la avanzada puesta a punto de la mecánica de robots en la URSS, con claras connotaciones de los logros de la tecnología espacial.

Los prototipos operativos corresponden a dos áreas principales: máquinas para grandes excavaciones y manipulación de cargas en obras civiles, y robots para trabajos de mantenimiento e inspección de edificios y otras obras arquitectónicas,

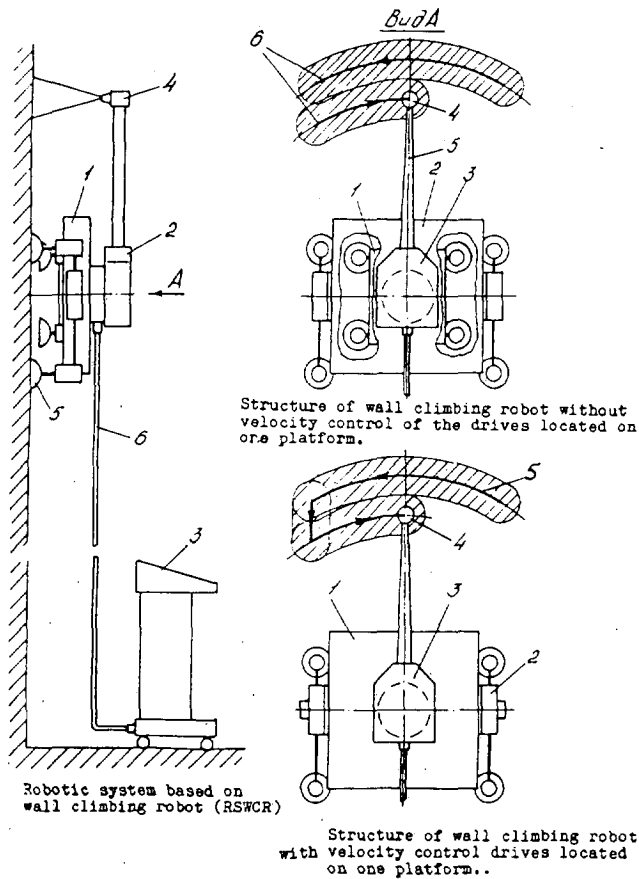


Fig. 20: Esquema de robot trepante móvil sobre pared vertical (URSS).

como depósitos. Algunos robots de edificación, orientados a la conservación y colocación de piezas, pinturas o a inspecciones en zonas de difícil acceso y/o trabajos peligrosos, que tuvimos ocasión de contemplar en diapositivas, no facilitadas a los asistentes, fueron ciertamente espectaculares por su variedad. Los dispositivos de locomoción presentados incluían sistemas de dos patas (el único robot antropomorfo visto en el Simposio), de cuatro patas (de tipo insecto o artropomorfo) o ventosas. Mereció atención especial el robot trepante para intervenciones de mantenimiento, operaciones en lugares de acceso difícil, en incendios, etc. El prototipo incluye dos sistemas de control posicional que permiten cambios autónomos de dirección (Fig. 20).

El trabajo realizado en la URSS incluye modelizaciones y algoritmos matemáticos complejos sobre control de trayectorias óptimas, dinámica de deflexiones, simulación de robots flexibles, etc., indicativos del perfeccionamiento alcanzado en estas realizaciones técnicas.

Existe también una colaboración directa entre las experiencias rusa y occidental, a través de la participación conjunta de la Academia de Ciencias y el Southbank Polytechnic de Londres, para la investigación de mecanismos de control de un robot trepante.

En la RDA, Polonia, Hungría y Checoslovaquia:

La información de que disponemos corresponde a la celebración del Simposio antes citado en la antigua RDA. El Simposio fue organizado por la Bauakademie de la RDA y la Universidad Otto von Guericke de Magdebourg, con el patrocinio y colaboración del CIB francés, y los participantes procedían en su mayor parte de los países socialistas.

Las aportaciones principales correspondieron a la RDA, y se manifestó una cierta dinámica por parte de países como Polonia y Hungría, dentro de la notoria penuria de medios. La Universidad Politécnica de Praga mantiene un prestigio importante en el área de los robots industriales, motivo de su selección como sede organizadora del próximo congreso mundial de IFTOMM (International Federation for the Theory of Machines and Mechanisms) en 1991.

En particular, se manifestó un interés generalizado por parte de distintos países hacia la automatización de la producción flexible de componentes prefabricados. En Brannenbourg, en la RDA, hay una fábrica piloto para producción automatizada de paneles de hormigón pretensado, ya operativa. Dispone de pórticos robots que afectan la colocación de armaduras y el acabado del hormigón, según estudios de la Bauakademie.

En el nuevo contexto de la Alemania unificada asistiremos en el futuro inmediato a la consolidación de los potenciales tecnológicos de las dos anteriores naciones.

4.2. Desarrollo en USA

La descripción de la situación actual de la aplicación de la robótica a la construcción en USA, fue referida por el Prof. R. Tucker [Ref. (16)], a los seis aspectos siguientes: panorámica de la industria de la construcción en USA, factores impulsores de la automatización, categorías de automatización, organizaciones de investigación, des-

arrollo de la automación y actividades en curso. Completaremos, además, esta revisión con una referencia de interés a la prospección realizada recientemente por el Institute of Technology de Illinois.

a) *La construcción en USA*

En cuanto a la situación general de la construcción, los expertos convienen en que se ha producido un desfase con otros sectores en relación con los acelerados cambios tecnológicos producidos en lo que va de siglo, y en la necesidad de acortar esta distancia en la última década. La importancia histórica relativa del sector en la economía estadounidense se cifra en el 10 por 100 del PBI y su volumen absoluto ocupa el segundo rango mundial, después del Japón. En relación con la diversificación de la industria, el 40 por 100 del volumen total corresponde a edificación residencial, principalmente viviendas unifamiliares, asociadas a organizaciones pequeñas; porcentajes similares, del 25 por 100 cada uno, corresponden a edificaciones no residenciales y proyectos industriales, mientras el 10 por 100 restante se asigna a construcciones de obras civiles, como presas, carreteras, etc. El carácter de cada grupo es distinto, de manera que el análisis del desarrollo de los respectivos procesos de automatización debe considerarse por separado. Una característica adicional de la industria es su fragmentación, basada en la existencia de un millón de firmas constructoras, 50.000 empresas de ingeniería, 180 asociaciones empresariales, 10.000 códigos de edificación, y 15 sindicatos de implantación nacional. Tal fragmentación, junto a las diferencias básicas entre los cuatro tipos citados de construcciones, impiden un desarrollo coordinado de la automación.

Otro obstáculo primordial estaría en el tradicional clima competitivo de la actividad en los EE.UU. Para mantener esta filosofía competitiva, la posición estatal es pasiva, no existiendo un Ministerio de la Construcción, ni una directiva nacional de la industria. Los proyectos se llevan a cabo en un marco de separación estricta de las figuras del propietario-proyectista-constructor. El sistema usual de contratación es el de tanto alzado en favor de la oferta más económica, que determina márgenes reducidos de los agentes ejecutores, proyectista y constructor. El marco conformado por todos estos factores es poco idóneo para la innovación, de manera que

la industria viene careciendo históricamente de incentivos para promover el desarrollo del proceso de automatización.

A pesar del cuadro general indicado, poco propicio, la competencia en el mercado internacional y la amenaza de irrupción de compañías extranjeras en el propio mercado interior, junto a otros factores, como el interés creciente por la aminoración del impacto ambiental, que implica factores tecnológicos, y la mentalización sobre el necesario incremento de la seguridad en las obras, están determinando cambios de actitud y un clima más motivador para el desarrollo de la automación.

b) *Factores renovadores*

Los principales elementos impulsores de la automatización de la construcción son, naturalmente en USA, las investigaciones para la mejora del conocimiento de ambientes hostiles, que incluyen los programas espacial, submarino, nuclear y militar, que han financiado todos los desarrollos sobre construcción robotizada efectuados hasta el momento. Las nuevas preocupaciones legislativas en materia de seguridad, serán seguramente, un nuevo elemento motivador.

En el marco general del sector antes descrito, parece difícil por ahora que las alegaciones de constructores, proyectistas y propietarios sobre los conceptos de productividad y calidad, pudieran constituir por sí solas estímulos efectivos en el camino a la automatización. Por el contrario un factor decisivo para la exigencia de orientaciones hacia la automación, estaría en la previsible reducción de efectivos humanos especializados que se producirá en el futuro, circunstancia ésta común, como vemos, a muy distintos países.

El último elemento impulsor señalado sería el de la disponibilidad tecnológica derivada de los importantes avances en medios informáticos, sensores, dispositivos de control, materiales y sistemas de comunicación. Se estima también que la evolución de la automación en los sectores industriales de USA, ha alcanzado ya el grado de conocimiento suficiente para su trasposición exitosa al medio de la construcción.

c) *Categorías de automatización*

Los desarrollos a efectuar, o en curso, corresponderían a los siguientes diferentes niveles posi-

bles de automatización, coincidentes con los aspectos objeto de investigación en otros países:

- Automatización del diseño.
- Sistemas de gestión.
- Sistemas integrados.
- Mejoras de equipos mecánicos.
- Sustitución de mano de obra.
- Simulación.

En primer lugar, la automación del diseño se basa en el desarrollo de los ordenadores, en general, y, en particular, de disciplinas concretas como el CAD, el dibujo automatizado y la producción y control de documentación informatizada, empleando las técnicas de **autoedición**. Tales desarrollos son promovidos en USA por los vendedores de equipos informáticos, antes que por usuarios.

Los sistemas de gestión, en particular, los relativos a control de costes y programación, mantienen desarrollos análogos. La reciente aplicación de los **códigos de barras** y otros sistemas rápidos de identificación contribuye al avance en áreas como la gestión de materiales, control de documentos y desarrollo de planos **as-built**.

Existe también una atención creciente hacia la creación de sistemas integrados de diseño y construcción, facilitada por el perfeccionamiento del software de Bases de Datos que permite la transferencia de información entre las múltiples áreas del proyecto. El desarrollo de tales sistemas integrados puede representar impactos significativos en la calidad y productividad de la ejecución, cuyos problemas están siempre asociados a deficiencias en la transferencia de información.

Los trabajos de I+D para el perfeccionamiento de los equipos mecánicos empleados en la construcción, vienen siendo realizados, tradicionalmente en USA, por los propios fabricantes-suministradores. En particular, los esfuerzos mayores son los dedicados a maquinaria de movimiento de tierras y otros equipos pesados, asociados a volúmenes de ejecución importantes. Las investigaciones para mejora de la productividad de estos equipos no representan incidencia sobre la sustitución de mano de obra especializada, que sería el objetivo de una segunda categoría de automatización, referida, esta última a la construcción de robots específicos.

La última categoría en el proceso de automatización correspondería a la simulación tridimensional en ordenador. El potencial de esta posibi-

lidad rebasa la propia línea del CAD, en cuanto afecta a la planificación inicial del diseño, planificación de la ejecución, y adiestramiento de operarios. Existen diversos sistemas comerciales competitivos, alguno ya mencionado. Un requisito común de estos tipos de software avanzado, es su implementación en estaciones de trabajo de altas capacidades gráficas y de procesamiento (**workstations**, o el concepto más reciente, más amplio, de **servicestations**). Las instalaciones se potencian, aún más, mediante intercomunicación de varias estaciones de trabajo, y su integración en redes locales.

d) *Organizaciones de investigación*

En correspondencia con la fragmentación de la industria, ya comentada, la investigación sobre la automatización de la construcción en USA, está también muy diversificada. Actividades de este tipo están siendo llevadas a cabo, de forma independiente, por los grupos siguientes:

- Grandes constructores.
- Sub-contratistas.
- Vendedores de equipos.
- Laboratorios estatales/privados.
- Universidades.

En contraste con el modelo japonés, donde los constructores principales invierten aproximadamente el 1 por 100 de las ventas en actividades de I+D, las grandes compañías americanas dedican esfuerzos muy limitados a la investigación. Las razones principales de esta modesta dedicación son los estrechos márgenes de beneficio y fragmentación de la industria, ya señalados. La dedicación principal se produce en el terreno informático, reducida al diseño y desarrollo de sistemas de gestión computerizados, mediante la adaptación de software básico procedente de compañías especializadas. En el área de la aplicación de la robótica, están apareciendo últimamente algunas compañías especializadas.

Como se indicaba anteriormente, los vendedores tradicionales de maquinaria pesada desarrollan actividades significativas para mejorar el automatismo de los equipos, que resultan efectivas en el momento de incorporación al mercado. Las principales realizaciones son las correspondientes a grúas, cribas y equipos de movimiento de tierras.

Las actividades en los laboratorios estatales y privados crecen con lentitud. En los primeros, la

existencia de los propios Comités de Gobierno dificulta la dedicación de mayores esfuerzos al desarrollo de la automatización. En el momento actual, no se dispone prácticamente de financiación de trabajos de investigación, salvo los correspondientes a ambientes hostiles.

Las Universidades han representado, tradicionalmente, centros importantes en el desarrollo de investigación relativa a la construcción. La dedicación principal está orientada a los materiales y las fuentes principales de financiación, como la procedente de la National Science Foundation se han centrado en este área. La Universidad Cargenie Mellon, impulsora de ISARC, es excepción, arropada por su dedicación a la investigación en ambientes hostiles para el Departamento de Energía. El trabajo de la mayoría de las restantes Universidades está dirigido, únicamente, al software, como viene siendo, hasta ahora, el caso del CIFE en la Universidad de Stanford. En el futuro se espera que podrán dedicarse esfuerzos mucho más considerables en el área de las tecnologías aplicadas (robótica), si se llega a disponer de financiación adecuada.

e) *Desarrollo de la automatización*

A partir de la débil situación presente, es de prever que estas actividades se incrementarán en el futuro, siguiendo el ejemplo de otros países, según un modelo de desarrollo previsible, definido por las tres etapas sucesivas siguientes: automatización de actividades actuales, integración de actividades automatizadas y nueva concepción radical de la industria.

La aproximación inmediata consistiría en la automatización de actividades realizadas, en la actualidad, de forma manual, a semejanza de la orientación inicialmente enfocada para el desarrollo de los ordenadores. Las actividades potenciales para este objetivo serían las mismas experimentadas en otras áreas geográficas, como son la puesta en obra y acabado del hormigón, colocación de piezas cerámicas o bloques ligeros, y soldaduras. Los desarrollos posteriores, basados en estas experiencias más simples, corresponderían a la integración en actividades más complejas. Finalmente, las innovaciones trascendentales de la automatización se producirían por la combinación de la ejecución mediante robots y el empleo de nuevos materiales, como materiales compuestos (**composite**), materiales de alta resistencia, adhesivos, hormigones sumergidos, etc.

La limitación de los recursos disponibles en USA exigirá su aplicación de la forma más eficiente, por lo que deben realizarse estudios de identificación de oportunidad, sobre los que existen algunos antecedentes. En particular, el grupo denominado Advanced Technological Systems Task Force del Construction Industry Institute (CII) ha enfocado esta cuestión, centrada en el área de instalación de tuberías. En el análisis orientado a la identificación de las actividades específicas más idóneas para su automatización, se combinan los diversos factores típicos que venimos señalando repetidamente, como son, el impacto económico y los de seguridad, productividad, calidad, reducción de mano de obra y equipos. En la fase posterior, está siendo llevado a cabo por la Universidad de Austin, un proyecto de manipulador, ya en estado de prototipo (Fig. 21).

Existe gran dificultad para una recopilación adecuada de los esfuerzos actuales en USA, relacionados con la automatización de la construcción, por la fragmentación de los mismos y la ausencia de coordinación. Los esfuerzos principales de los constructores se realizan en las áreas del desarrollo del software y de simulación, con intervenciones en equipos robotizados limitadas a los campos nuclear y de tratamiento de residuos peligrosos. Algunas compañías especializadas desarrollan robots específicos. Las empresas fabricantes de equipos suscriben contratos estatales para la operación de robots en medios hostiles. El trabajo de los laboratorios oficiales y privados se refiere también a aplicaciones especializadas. Finalmente, la dedicación de las universidades, es relativamente baja, por el momento, aunque sus representantes manifiestan su esperanza en que se produzca un incremento sensible en el futuro inmediato. En la Ref. (16) se incluyó un cuadro resumen, recogido también en la Ref. (2), con veintidós desarrollos significativos en curso.

Para completar esta exposición de la situación estadounidense, nos referiremos de forma sucinta a las conclusiones de una encuesta sobre el futuro de la automatización y la robótica en la construcción en USA, abordada por el Illinois Institute of Technology, dirigida a los 400 constructores más importantes. La tasa de respuesta ha sido el 11 por 100, expresiva de una débil mentalización actual sobre el tema por parte de las empresas. Los demás resultados deducidos de los cuestionarios contestados coinciden, también, en líneas generales, con las apreciaciones ya comentadas.

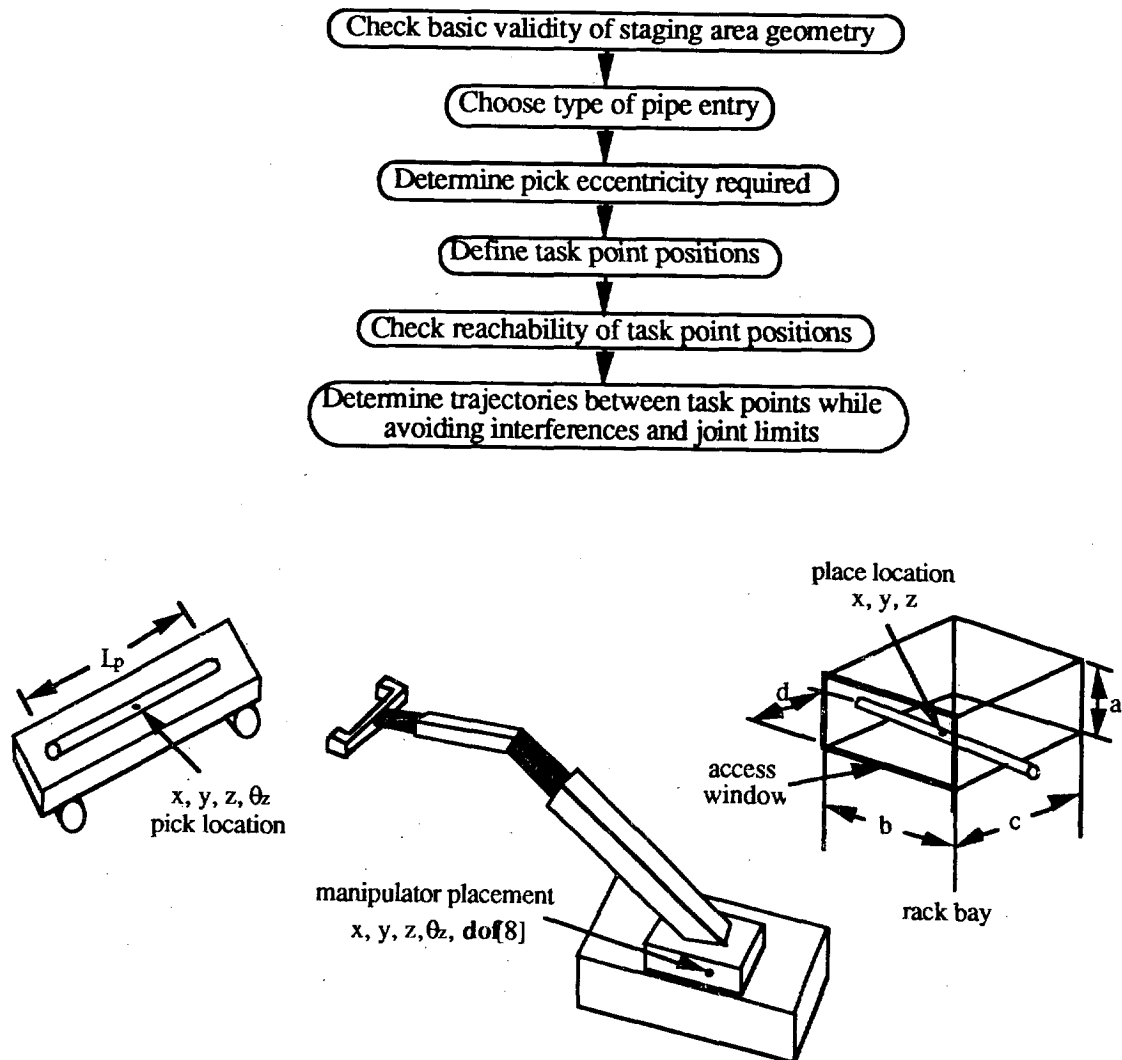


Fig. 21: Manipulador automático de tuberías (University of Austin, USA).

Como filosofía general se estima que la futura aplicación de la robótica en la construcción en USA es prometedora. El desarrollo de la actividad en la próxima década supondrá un incremento de la mecanización de las operaciones actuales, pero los aumentos de la robotización de las mismas no superarían los niveles actuales. Las innovaciones principales se prevén del tipo telemandado, y quizás programado, pero no se considera ningún impacto significativo de los robots cognitivos durante este período. La automatización de las operaciones estaría orientada a conseguir incrementos de la productividad y de la rapidez de ejecución, así como mejoras de la calidad y seguridad de las obras. Además, el proceso de automatización debería mejorar la gestión de los materiales, en tanto que la introducción de la robotización se considera principalmente factible, en instalaciones fijas para producción de pre-

fabricados. En general, los constructores mantienen una cierta actitud de reserva hacia la automatización y robotización de las operaciones in situ.

Como resumen cabe resaltar la entrada tardía de USA en actividades de I+D relacionadas con la automatización de la construcción. La situación actual de retraso sigue manteniendo todavía una línea de lentitud y prudencia. La investigación permanece en el área académica, y, pese a la creación del Construction Industry Institute (CII), que aglutina empresas constructoras, fabricantes y universidades, las empresas continúan siendo poco receptivas de cara a inversiones que puedan representar un riesgo económico, en tanto el interés de la robótica en la obra no se manifieste más diáfano. Existen algunos polos académicos de investigación, en los que se busca con interés la integración de ingenieros y arquitectos, de un

lado, con ingenieros del conocimiento e informáticos de vanguardia, por otro, que se sitúan, principalmente, en las Universidades de Carnegie Mellon, California, Maryland, Austin, Stanford y el MIT. Las investigaciones se producen, principalmente, en el área informática (simulaciones, aplicación de Sistemas Expertos, estudios de integración y normalización de actividades de construcción, etc.), facilitadas por la disponibilidad de medios sofisticados potentes. En particular, la orientación general de los trabajos del CIFE (Stanford University), sigue esta vía de preparación de tecnologías teóricas básicas, como paso previo para el desarrollo de las tecnologías aplicadas (robots), que serían el objetivo final. La filosofía y ambición subyacentes en la creación de este centro, tales como fueron expresadas en la conferencia del Dr. P. Teicholz en el Instituto Torroja, dan un sentido de orientación unitaria a trabajos actuales del centro con un elevado componente especulativo. Se trata, realmente, de canalizar la evolución integral de la actividad constructora, mediante una integración del proyecto, los sistemas de información y la ejecución que permita la aplicación del concepto denominado **constructibility**. Sin embargo, aunque la integración y normalización previa de los distintos procesos de la actividad constructora sean premisas obligadas, las dedicaciones actuales de la mayoría de los centros citados, parecen insuficientes por sí solas, en un contexto tan sumamente complejo, sobre todo si no se complementan con el desarrollo de prototipos. Por el momento, la experimentación práctica con robots ha alcanzado únicamente al estadio de prototipo en los trabajos que se efectúan en las Universidades de Austin y Maryland, mientras los trabajos en la Universidad de Stanford y el MIT se encuentran aún en la fase previa de desarrollo. El diagnóstico final que puede hacerse de la situación americana es, en suma, el del despertar de una inquietud apenas incipiente, a reserva de que su poderosa industria se decida a poner realmente en juego, todo su enorme potencial. Parece muy posible que las exigencias derivadas de las reducciones en la mano de obra y los restantes factores motivadores determinarán su impulso y dedicación crecientes a estos trabajos en los próximos años.

4.2.1. En Israel

Las investigaciones sobre la aplicación de la robótica a la edificación se llevan a cabo por el

National Building Research Institute (NBRI) en Haifa, por expertos procedentes de la Carnegie-Mellon University.

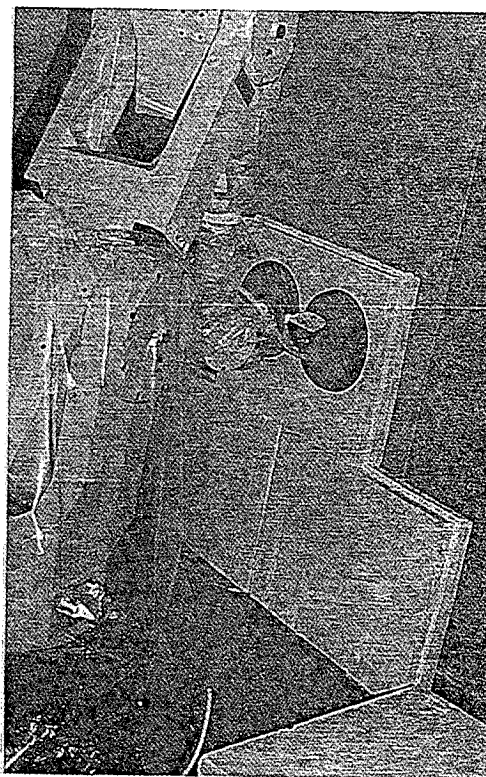
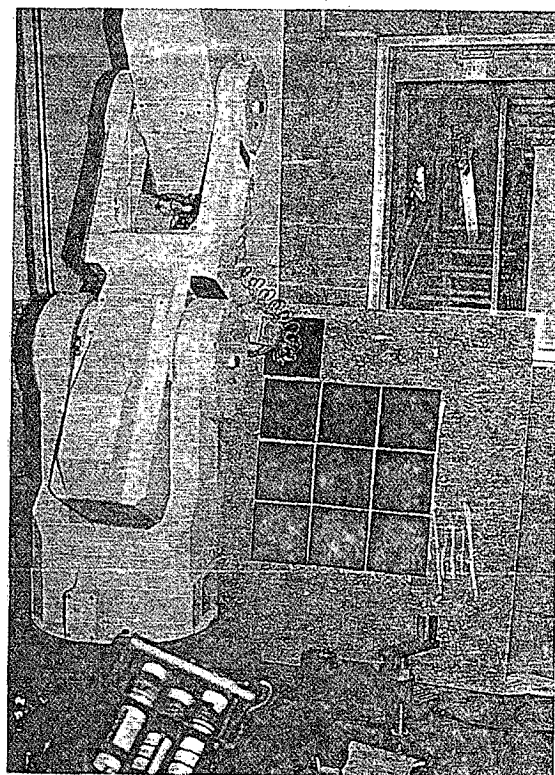
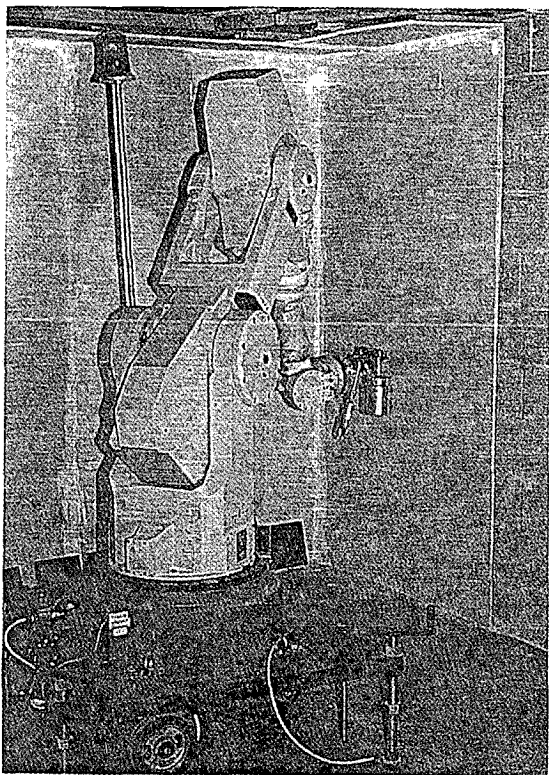
Los trabajos principales del NBRI se han centrado en la construcción de un prototipo de robot autónomo multitarea, sobre base móvil, con un brazo articulado de seis grados de libertad, capacitado para tres tipos de actividades de segunda obra en interiores: pintura de paredes y techos, ejecución de recubrimientos de paredes con piezas cerámicas y construcción de tabiquería y particiones con bloques ligeros (Fig. 22). Superada satisfactoriamente la etapa de prototipo experimental, se trabaja ya en su conversión en robot industrial.

4.3. Desarrollo en Japón

La exposiciones sobre la situación en Japón, en los últimos años, están a cargo del Prof. Y. Hasegawa del System Science Institute, Waseda University [Ref. (17)]. La industria de la construcción en Japón se encuentra en un momento de plena ocupación, como consecuencia de la política de expansión decidida por el Gobierno para aplicación de los excedentes económicos. Existe, sin embargo, una disminución progresiva de la mano de obra disponible, derivada de la reluctancia de las generaciones más jóvenes para incorporación al sector, que el ponente fundamenta en los cinco factores principales siguientes, característicos de la actividad: suciedad, penosidad, peligrosidad, reducción del período de vacaciones, retribuciones menores que en otras industrias avanzadas. Esta sería la principal motivación de las tendencias y esfuerzos actuales, orientados a la automatización de la actividad, por parte de las principales empresas constructoras.

En el marco general de estímulo hacia la intensificación de la robótica, por parte de la sociedad industrial japonesa, la Japan Industrial Robot Association (JIRA) realizó una encuesta en los últimos meses de 1989, sobre las posibilidades de implementación en 19 sectores no manufactureros. El resultado de la encuesta era inequívoco en destacar el sector de la construcción como el que ofrecía mayor número de expectativas, con 163 actividades potenciales, entre un total de 918 para los 19 sectores.

Por otro lado, buen número de estas posibilidades están siendo objeto de trabajos de I+D



FIGS. 22.a,b,c y d. Robot multitarea para operaciones de interior (NBRI, Israel).
a) Pintando. b) Colocando piezas cerámicos para revestimiento de pared. c) y d) Ejecutando una pared de bloques ligeros.

desde 1970, a través de una estrecha colaboración entre gobierno, universidades, instituciones académicas y asociaciones empresariales, que participen a través de especialistas representantes en los distintos proyectos de investigación. Existe asimismo una amplia y abierta divulgación de los resultados de estos trabajos, que se traduce en la competencia permanente entre desarrollos similares de diversas empresas.

Los comentarios siguientes sobre actividades y proyectos en curso e instituciones involucradas, son expresivos del complejo entramado de esfuerzos, que se dedican en el ámbito de la construcción japonesa:

La Japan Society of Civil Engineers (JSCE) tiene constituidos desde 1983 y 1984 sendos Computer Application Committee y Construction Robot Committee que elaboran informes sobre la investigación en el área. La JSCE organiza también, desde 1986, los llamados Technical Seminar of Construction Robot.

Otra institución similar, el Architectural Institute of Japan (AIJ) tiene constituido desde 1979 el Material and Construction Method Committee, y organiza, desde 1987, el Construction Robot Symposium.

En el ámbito de organismos gubernamentales e instituciones oficiales, deben destacarse las intervenciones y actuaciones siguientes:

— En primer lugar, la del Ministry of Construction, que editó, entre 1985 y 1988, informes de investigación relativos a un Development of Advanced System for Construction Technologies with Proper Use of Electronics. Desde 1989, estas actividades se han canalizado mediante el diseño de un plan quinquenal que está siendo llevado a cabo a través del Advanced Construction Technology Development Center.

— El importante Ministry of Trade and Industry (MITI) ha llevado a cabo un programa de ocho años, iniciado en 1982, denominado Advanced Robot Technology Project.

— El Bureau of Labor ha realizado investigaciones y producido reglamentos sobre los aspectos de sanidad y seguridad asociados a la introducción de robots, entre 1983 y 1986.

— La Building Construction Society tiene constituido, desde 1986, un Building Construction Robot Research Committee.

— La Japan Industrial Robot Association

(JIRA), antes mencionada, realiza estudios generales sobre la aplicación de la robótica en la construcción.

— Entre las actividades de centros académicos, habría que destacar el trabajo en la Universidad de Waseda, a través del proyecto WASCOR, iniciado en 1979, orientado a la creación de sistemas de edificación integrados.

Las investigaciones en tecnologías aplicadas y realizaciones en construcción de prototipos, se efectúan, sobre todo, por parte de los propios departamentos de I+D de las empresas constructoras más importantes que vienen realizando estas actividades desde los años 70. En la Ref. (17), el Prof. Hasegawa facilitó una detallada relación de proyectos en curso, actualizada a febrero de 1990, también reproducida en la Ref. (2).

El número de robots, en curso de realización, o en estado de prototipo, sería superior a 50, entre los cuales un número reducido podría haber alcanzado el estadio de implementación en la obra, como son, por ejemplo, los incluidos en las Figs. 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 23 y 24.

La competencia y el grado de información mutua, entre las propias compañías, son tan acentuados, que el mismo prototipo sería objeto de desarrollos paralelos por parte de diversas empresas o grupos (ver, por ejemplo, Figs. 13.a, 13.b y 24).

Sin embargo, la envergadura del problema podría determinar la necesidad de coordinar, en adelante, todos estos esfuerzos aislados, ya que la diversificación de las investigaciones precisas para implementar lo que, en palabras del Prof. Hasegawa, sería la flota de robots necesaria, no puede ser llevada a cabo por una compañía única. Como en otros ámbitos geográficos, pero con sentido de actuación más potenciado, se han señalado las siguientes etapas precisas en esta acción coordinada: detección de actividades que reclamen la introducción de robots y determinación de las condiciones de ejecución que permitan la misma, desarrollo de las tecnologías básicas de diseño y análisis de sistemas para automatización de la construcción, diseño de robots para actividades concretas, evaluación de robots mediante simulación y experimentación de prototipos, uso de robots individuales, uso integrado de grupos de robots, comercialización de robots y tecnologías asociadas (software). La maduración de las etapas técnicas intermedias llevaría a una rápida

difusión en el ámbito comercial, que es un objetivo básico de la industria japonesa, por ahora pospuesto, a pesar de su posición ventajosa.

De forma similar al resumen anteriormente efectuado sobre la situación americana, que permitirá contrastar, además, las profundas diferencias de las actitudes ante el problema de la automatización futura de la construcción en ambas culturas, completamos la exposición sobre la situación japonesa con referencias sucintas a sendas encuestas realizadas por la Building Contractors Society (BCS) y el Robotics Committee in Construction de la Japan Society of Civil Engineers. La primera encuesta ha sido dirigida a 552 subcontratistas de edificación, recabándose su opinión en relación con las expectativas de automatización de seis tipos de actividades. La tasa de respuesta fue del 44,4 por 100. Se ha detectado una mentalización común positiva hacia las posibilidades de introducción de robots, inclinándose al uso de las tecnologías programables multitareas bajo supervisión del operador. La segunda encuesta del RCC ha contado con 862 participantes, distribuidos entre organismos públicos y asociaciones (741) y empresas privadas (121). El cuestionario de la investigación se refirió expresamente a ocho tipos de actividades relativas a edificación y obras civiles. Hubo 111 contestaciones que manifestaron contar con experiencia real en el uso de la robótica. Entre otros resultados más elaborados, se han deducido del análisis las siguientes conclusiones básicas: la velocidad actual del desarrollo de robots para la construcción es lenta, aunque este proceso iniciado de innovación se considera irreversible, una vez hayan sido resueltos los problemas tecnológicos y de organización, todavía bajo consideración. El 82 por 100 de los participantes convienen en un período prospectivo para implementación de la robótica entre 10 y 20 años (el 54 por 100 se sitúa en un plazo no superior a 10 años). El 88 por 100 conviene asimismo en un período de desarrollo, para solución de los problemas arriba indicados, entre tres y cinco años. Superada esta etapa inicial, parece existir un consenso común frente al desafío importante que representa esta innovación tecnológica, en la que se ha empeñado decididamente la industria.

Podemos concluir, en definitiva, que la actitud y filosofía tradicionales del Japón, realmente pionero y vanguardia en el campo, están siendo radicalmente distintos de las seguidas en USA. Sobre la base de su generalizada agresividad

tecnológico-comercial y económica, y el fuerte arropamiento de las instituciones oficiales, el desarrollo japonés viene siguiendo, desde el primer momento, la vía decidida de la implementación de prototipos experimentales orientados a actividades de construcción específicas. La justificación de esta estrategia se basa, sin duda, en la tradición derivada de la lograda consolidación de los robots industriales, y en la agudización de los problemas de disponibilidad laboral. El cénit de este lanzamiento fueron las presentaciones de robots efectuadas en el 5.º Simposio, en Tokio (1988). Pese a la espectacularidad de tales presentaciones y su innegable valor de primicias, algunas calificaciones críticas allí recibidas de simples juguetes (*Japanese toils*), han dejado paso, en las reuniones posteriores, a actitudes de consideración más profunda del problema en el contexto *sistémico* global de la gestión integrada, en el cual deberán operar, según el consenso común, las sucesivas realizaciones futuras.

4.3.1. En Singapur

En paralelo con el desarrollo japonés, Singapur, junto a Taiwan y Corea del Sur, se sitúa entre los países del Asia del Pacífico de economías emergentes, con previsión de muy altos niveles de expansión en la próxima década. El valor actual de la industria de la construcción en Singapur es del orden de 2.500 millones de dólares, con una previsión de 3.000 millones en 1991, y representa actualmente el 10 por 100 del PIB, con una ocupación de 11 por 100 de la población activa global. El CIBD (Construction Industry Development Board), creado en 1984 para la planificación a largo plazo del sector, tiene registradas 2.900 firmas constructoras y suministra doras de materiales. La cifra de exportación en 1989, superior a 400 millones de dólares, es significativa de la madurez y alta competitividad de la industria. Las razones de las estrategias actuales para automatización de la actividad son coincidentes con las indicadas de otros países, es decir, la competencia de los sectores manufactureros y de servicios en la captación de mano de obra, los aspectos desfavorables de seguridad y salubridad, y las mejoras de la productividad y la calidad, necesarias para mantener la competitividad.

Para canalizar la innovación de la industria se ha constituido el grupo de trabajo NCAT (National Construction Automation Task), presidido por el CIBD e integrado por cinco principales

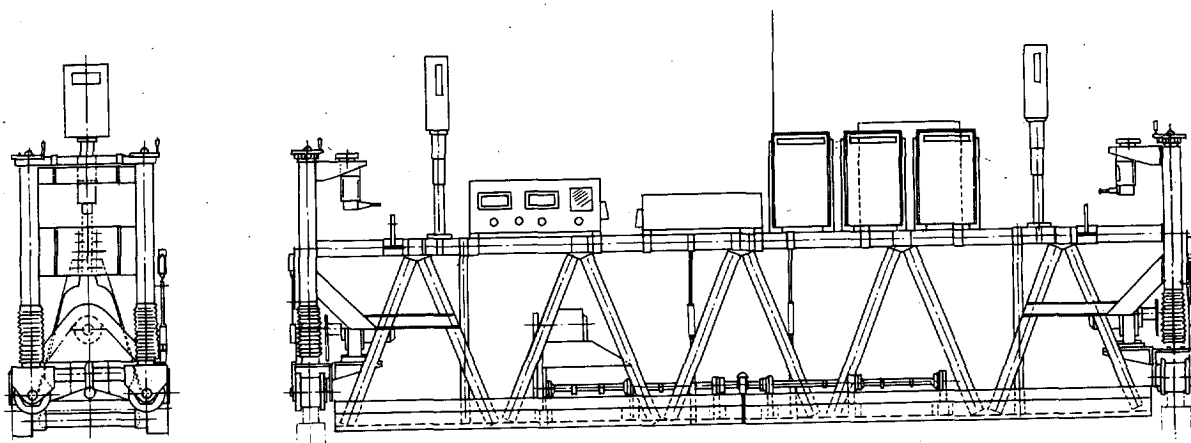


FIG. 23. Robot para nivelación de hormigón
(Fujita Corp., Japón)

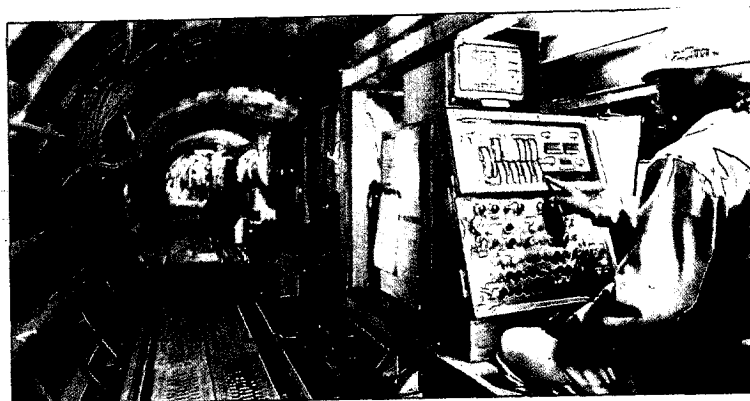
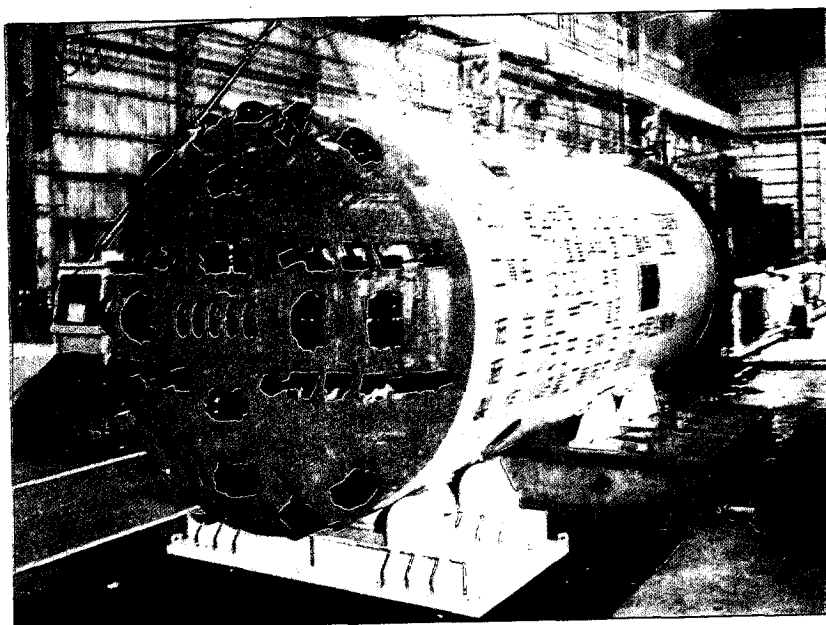


FIG. 24. Robot para colocación de escudos en túneles
(Fujita Corp., Japón)

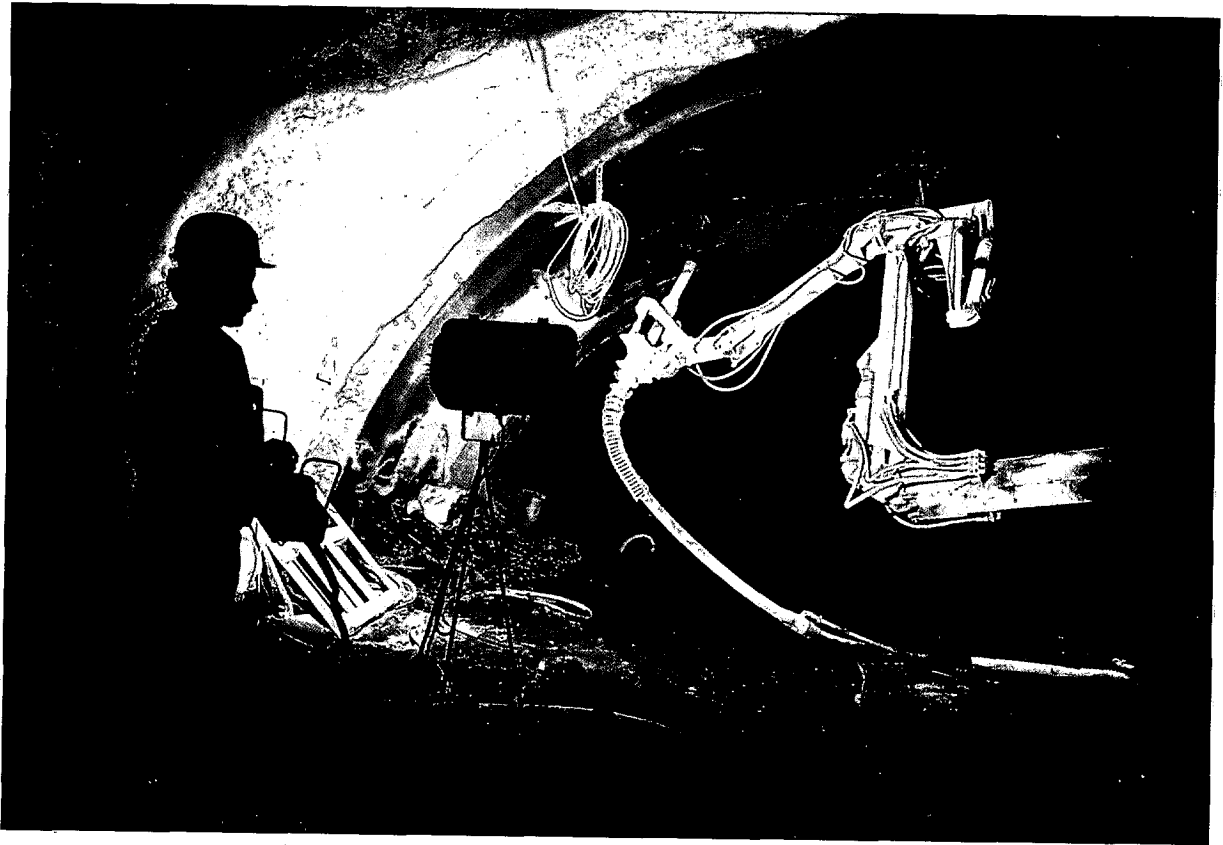


FIG. 25. Gunitado de túnel con brazo robotizado telemandado

constructores y fabricantes de productos prefabricados, por tres constructores importantes japoneses, representantes académicos, un consultor especialista en automatización y una compañía de leasing, con el objetivo inmediato de elaboración del Construction Automation Masterplan (CAM). Las estrategias y programas definidos en el CAM, asumidos conjuntamente por el CIDB y la Singapore Contractors Association Limited (SCAL), incluyen la identificación de actividades susceptibles de automatización, la realización de los estudios de factibilidad y el desarrollo de proyectos de automatización específicos. Para lograr la activación del proceso de automatización, se plantea, además, la formación de profesionales especializados y un fuerte apoyo estatal mediante incentivos fiscales y financieros que ayuden a superar las inercias.

Como en otros países, el programa a desarrollar incluye, por un lado, la realización de sistemas de información, en el área del software avanzado, como son, un proyecto conjunto, desarrollado por el CIDB y la Universidad de Singapur, orientado a la automatización del proyecto

mediante creación de un sistema experto para modelización del coste de construcción, y un sistema de gestión para seguimiento y revisión de proyectos. De otro lado, la construcción de equipos robotizados, en concreto, una máquina telemandada para hincas de micropilotes en espacios reducidos y de acceso difícil, utilizable en los trabajos de sostenimiento o recalces, ya en un estadio comercial. Los proyectos de desarrollos futuros, corresponden a un robot trepador para pintura de muros, y un robot para acabado del hormigón.

El decidido apoyo oficial a la apuesta de la automatización podría reforzarse aún más, a partir de la aceptación de la propuesta presentada por el NCAT, de creación de un fondo financiero de 25 millones de dólares para un programa quinquenal de investigación.

5. AUTOMATIZACION DE LA CONSTRUCCION EN ESPAÑA

En primer lugar, es obvio que existe, desde

siempre, una permanente inquietud y atención de los profesionales españoles por la máxima racionalización de la actividad, dentro de las posibilidades de las tecnologías y medios al uso. Las preocupaciones por la incidencia de las limitaciones de estos medios, en orden a una mayor industrialización de los procesos constructivos, no son tampoco de ahora. Como referencia significativa, ya antigua, un artículo del Ingeniero de Caminos M. Barragán, publicado en 1963 en esta revista [Ref. (18)], destacaba frustraciones derivadas de la ineficiencia de algunos materiales y procedimientos aplicados en la edificación y propugnaba las correspondientes acciones, que requerían ser llevadas a cabo en un contexto global. En el contenido del artículo, bajo el sugerente título "El ladrillo anacrónico", de forma sucinta, pero densa, y de una excelente factura expresiva, se incluían prácticamente todos los temas más actuales del debate moderno. Sin duda, el entorno tecnológico de la época no permitía, entonces, abordar en toda su dimensión el problema.

Sin embargo, nuestro compañero, que ha sabido dar cumplimiento a muchas de sus inquietudes a través de la mecanización exitosa de construcciones hidráulicas, podrá contar hoy día, también, con la satisfacción de que aquellas ideas y proposiciones sobre la racionalidad de la edificación, esbozadas en 1963, en cierto modo premonitorias, han despertado esa misma inquietud en numerosos países, y están hoy siendo objeto de intensas y costosísimas investigaciones y experimentaciones en muchos de los Politécnicos más avanzados del ámbito internacional.

Las mismas inquietudes han motivado la reciente organización por el Colegio de Ingenieros de Caminos del Curso denominado Nuevas Tecnologías e Ingeniería Civil (23 al 25-10-90), en el que se han planteado muchas de las cuestiones aquí comentadas, como la aplicación de tecnologías avanzadas de nuevos materiales y equipos en ingeniería civil y obras públicas, marco nacional e internacional de colaboración y papel de los centros públicos, y papel de la Universidad y centros de investigación en el desarrollo de estas tecnologías.

A pesar de esta evidencia del interés por parte de personas y de entidades y empresas individualizadas en las innovaciones tecnológicas, la reducida asistencia española a los Simposios ISARC (entre los participantes de la última edición figuraba únicamente un delegado del Instituto de la Construcción del CSIC en Barcelona, además del

autor en representación de Dragados), y la inexistencia de acciones coordinadas con participación conjunta de organismos institucionales y empresas, son indicativas de la aún débil preocupación colectiva, y a los niveles sectorial y nacional, por la incidencia de la automatización y robotización de las obras, y por el complejo entramado implicado, de la integración del proceso constructivo, al menos en un futuro inmediato. La participación comentada de un instituto especializado del CSIC en un desarrollo Eureka, tangencial a la construcción, con otras empresas, aunque científicamente valiosa, es una actuación aislada, que no se inserta en ninguna definición estratégica de nuestra industria.

Las inquietudes y actuaciones mencionadas son, pues, claramente insuficientes en relación con los importantes esfuerzos y dedicación de recursos reseñados en otros países. En una comparación objetiva con las actuaciones en países de desarrollo similar, la vigencia del viejo sarcasmo unamuniano, superada en otros múltiples aspectos del desarrollo nacional, parece que no haya sido, todavía, erradicada del todo.

Aunque en este contexto puede parecer excesiva la dedicación de esta sección a la automatización de la construcción en España, existen, sin embargo, diversas experiencias en el empleo de equipos automatizados que constituyen una primera aproximación al campo más complejo de la automatización cuasi integral de las obras, y cuya mención en la revisión que efectuamos, pudiera ser, por ello, oportuna.

En general, estas utilizaciones se mantienen, como decimos, en el nivel primario, único que ofrece por el momento el mercado, de la incorporación de automatismos a los equipos mecánicos, con algún caso de manipulador manual, que representaría otro paso adelante. Con la información a nuestro alcance, limitándonos, por ello, al ámbito de actividad de Dragados y Construcciones, hemos elaborado una primera relación, no exhaustiva, del empleo y/o instalación de equipos automáticos, que se pretende sea simplemente indicativa del interés real de estas implementaciones en obra y/o proyecto:

— Máquinas de accionamiento hidráulico para acabado de canales de hormigón a sección completa, con inclusión de un sistema automatizado mediante sensores para elevación y dirección.

— Rotopalas para manejo de acopios, apilado y recogida, con sistema de mando automático,

mediante relés y/o PLC, programable desde el puesto de mando.

— Bateadoras para operaciones de bateo, nivelación y alineación de vías y aparatos. El sistema de mando incluye una computadora con implementación de programas que permiten el funcionamiento en modalidad automatizada.

— Instalación de redes automáticas de información hidrológica en cuencas fluviales, con inclusión de sensores para captación de datos, y su transmisión, en etapas sucesivas, a un sistema central de procesamiento.

— Regulación de instalaciones de ventilación en túneles mediante sistemas automáticos de detección y control de niveles de contaminación y flujo del viento exterior.

— Refino de explanadas mediante acoplamiento a motoniveladoras de equipos automáticos por ultrasonidos.

— Utilización del brazo hidráulico robotizado telemandado, de patente alemana, Putzmeister, para distribución de hormigón.

— Empleo de un brazo articulado con mando a distancia para la proyección del hormigón en revestimientos de túneles (Fig. 25). Se ha utilizado un equipo Aliva de patente suiza, existiendo en el mercado otras patentes alemana, americana, etc.

Otra experiencia de interés será la participación de Dragados y Construcciones en un proyecto BRITE-EURAM, con financiación de la CEE, ya mencionado en las actividades francesas, para automatización de instalaciones de producción de áridos, dirigido por el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) de Nantes.

Animamos, en definitiva, a que se vayan produciendo en lo sucesivo las máximas divulgaciones posibles de estas experiencias, cuyo conocimiento pueda contribuir a motivar un mayor interés general orientado a la evolución nacional de nuestra industria.

6. RESUMEN

En primer lugar, conviene resaltar la opinión generalizada de numerosos expertos sobre la trascendencia estratégica de los esquemas tecnológicos expuestos, que cuentan ya con cierto historial, y que han movilizado investigaciones propias

de autodefensa en casi todos los países del entorno europeo avanzado.

Las conclusiones básicas, en este momento, podemos decir que se mantienen, también, en la tónica señalada por comentaristas calificados como resumen del simposio anterior. Continuidad de la limitación de las novedades y avances tecnológicos, en relación con el despliegue, calificado por algunos como fuegos de artificio, realizado por los japoneses en el 5.º Simposio celebrado en Tokio en 1988, y como contrapartida, reforzamiento del interés por la integración de la planificación, organización y gestión y control de las obras, utilizando herramientas y medios informáticos avanzados, así como por la previa definición de procedimientos integrados de diseño y construcción, con incidencia inclusive en la fabricación de nuevos tipos de materiales normalizados, materiales compuestos, de alta resistencia, adhesivos, etc. En esta misma línea, los instrumentos y metodologías aplicados en la actualidad en la ejecución de proyectos, deben orientarse al desarrollo y uso intensivos de sistemas informáticos integrados con apoyo en técnicas CAE/3D. Las dificultades y posibilidades de evolución del proceso constructivo hacia los llamados sistemas de ensamble o de construcción por componentes, idóneos para una robotización semi-industrializada, están siendo objeto de amplia consideración, de la que, por ejemplo, los desarrollos franceses y finlandés en el sector de la edificación, serían exponentes destacados en vanguardia.

La impresión de conjunto es, pues, la de un cierto estado de reflexión, desde el momento en que el interés inmediato, técnico y económico, de la robótica en la construcción, en el momento actual, no resulta, todavía, evidente, que se traduce en un avance prudente, en tanto se van consolidando las entidades asociativas y centros de investigación dedicados a estos desarrollos por parte de los países más avanzados, que mantienen, en todo caso, participaciones interesadas activas. Asimismo, la omisión de anuncios decididos de comercialización de productos contrastados, anticipada desde hace tiempo por los grandes constructores japoneses, y la reducida participación alemana comentada en el 7.º ISARC, pudieran hacer pensar en actitudes de reserva estratégica, en espera de alcanzar una consolidación más definitiva de los equipos objeto de investigaciones en curso. Existen, además, problemas técnicos complejos en el área cibernética, todavía sin resolver de forma enteramente satis-

factoria, como son los de **localización** y **movilidad** del robot en medios desconocidos o inciertos.

En resumen, y puesto que son obvias las dificultades de cualesquiera actividades de investigación individualizadas, es, al menos, recomendable, mantener una actitud interesada e informada de las posibles evoluciones tecnológico-estructurales de la actividad y de las novedades de equipos automatizados que vaya ofreciendo el mercado para cada tipo de obra. En el ámbito sectorial, sería oportuna, sin duda, la promoción de una reflexión colectiva, con participación institucional, sobre las posibles futuras implicaciones tecnológicas y comerciales al nivel nacional. Conviene, finalmente, aprovechar y fomentar cualesquiera oportunidades potenciales de participación en proyectos internacionales de investigación, por ejemplo, en el marco de los programas europeos con ayudas de la CEE, que están siendo ya objeto de explotación intensiva por distintos países.

REFERENCIAS

- (1) RUBIO, P.: "7.º Simposio sobre robótica en la construcción", SYGMA, n.º 2, págs. 69-72, 1990, Revista de la Dirección Técnica de Dragados y Construcciones, S. A.
- (2) RUBIO, P.: "Automación y robótica en la construcción: una revisión prospectiva", SYGMA, n.º 3, págs. 7-47, 1990, id. id.
- (3) ISHII, T. et. al.: "CIM Implementation in the Japanese Construction Industry", Technical Report núm. 25, CIFE, Stanford University, march 1990.
- (4) VARELA, F. J.: "Connaitre, les sciences cognitives,

tendances et perspectives", janvier 1989, Editions du Seuil (París).

(5) Circular n.º 123/25/89 de SEOPAN: Resumen de la conferencia pronunciada por Mr. Georges Mihailles el 4-5-89 (Madrid).

(6) SALAGNAC, J. L.: "Robotisation des opérations de construction", Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, cahier 2249, juin 1988.

(7) "Proceedings of 7th Symposium ISARC" (volumes 1 and 2).

(8) "Integrated Marine Survey System", Technical Report, TAISEI Corporation, 1990.

(9) "Robots for Construction", Technical Report, FUJITA Corporation, 1990.

(10) "Apuntes sobre las posibilidades de la robótica en la construcción", Cuadernos Tecnológicos de los Servicios Técnicos de Edificación de Dragados y Construcciones, S.A., n.º 2, junio 1989.

(11) SALAGNAC, J. L.: "Le projet SOFFITO", Plan Construction Actualités, Paris, février 1988.

(12) "Robotique au CSTB", Service Informatique et Batiment, Division Robotique et Construction, décembre 1989.

(13) HISATOMI, Y.: "Introduction of Construction Robotics in Japan", IABSE Journal, J-40/90, january 1990.

(14) GARAS, F. K.: "Development in Construction automation and Robotics in Western Europe", 7th ISARC, june 1990.

(15) "Robotique dans la Construction. Projets et perspectives", Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, cahier 2412, mai 1990.

(16) TUCKER, R. L.: "Construction Automation in the United States, 7th ISARC, june 1990.

(17) HASEHAWA, Y.: "Current Status and Future Direction of Construction Robots in Japan", 7th ISARC, june 1990.

(18) BARRAGAN, M.: "El ladrillo anacrónico", Revista de Obras Públicas, julio 1963, n.º 7, págs. 469-470.

