

Informes de la Construcción
Vol. 58, 501, 57-70,
enero-marzo 2006
ISSN: 0020-0883

Las empresas de ingeniería en la construcción industrial: evolución y futuro

Industrial plants engineering companies: evolution and future

A. del Caño^(*), M. P. de la Cruz^(**)

RESUMEN

El presente artículo expone, en primer lugar, un breve análisis sobre la evolución del sub-sector español de la construcción de plantas industriales y sistemas similares. Tras ello se incluye un repaso de las principales características actuales de las empresas más importantes del mundo en el campo de la construcción industrial, siguiendo el ciclo de vida del proyecto de construcción, desde la ingeniería conceptual hasta la construcción, transferencia y explotación de la planta; se incluyen ejemplos y datos reales de algunas de las empresas de mayor importancia en el panorama internacional, como es el caso de Bechtel y Fluor. Finalmente, por un lado, y en función de este análisis de las grandes empresas de ingeniería en este campo, se han resumido los principales aspectos de estas organizaciones que suponen ventajas competitivas a analizar y seguir por otras empresas de este tipo; y por otro, se han tratado de anticipar los posibles aspectos esenciales de la evolución futura de este sub-sector, en función de la evolución del mismo hasta la fecha.

953-1

Palabras clave: plantas industriales, construcción industrial, ingeniería.

SUMMARY

Firstly, this paper sets out a short analysis on the evolution of the spanish industrial plants construction sub-sector. Then, the current main characteristics of the most important companies in the world, working in this sub-sector, are presented. This part of the paper is structured following the life-cycle of the construction project, from the plant's conceptual engineering to its construction, transfer and operation; examples and real data of some of the most relevant international engineering firms, as can be Bechtel and Fluor, are included. Finally, on the one hand, and based in the previous analysis, the paper summarizes the main issues of these companies that constitute competitive advantages to analyze and follow or adapt by other firms of the same type; and, on the other hand, the main potential issues of the future evolution of the industrial plants construction sub-sector are included.

Keywords: industrial plants, engineering, construction.

Escuela Politécnica Superior, Universidad de La Coruña, ESPAÑA

^(*)Dr. ingeniero industrial

^(**)Dra. ingeniero industrial

Persona de contacto/Corresponding author : [A. del Caño](mailto:A.delCaño@unla.es)

Fecha de recepción: 6-VI-05
Fecha de aceptación: 22-II-06

1. INTRODUCCIÓN

Con motivo del 150 aniversario de la ingeniería industrial, el Grupo de Ingeniería y Dirección de Proyectos del Departamento de Ingeniería Industrial II de la Universidad de La Coruña desarrolló un proyecto preliminar para analizar la evolución y futuro de la construcción y arquitectura industriales, fundamentalmente en el entorno de los países occidentales. Dicho trabajo, que constituía la primera fase de un proyecto de mayor alcance, se desarrolló desde finales del año 2000 hasta julio de 2001 y sus principales conclusiones fueron publicadas en esta misma revista en 2001 (1), recogiendo aspectos relacionados con todas las facetas del diseño y construcción de plantas industriales (su entorno; la dirección / gestión del proyecto; las herramientas de dibujo y diseño; los materiales; las estructuras; los cerramientos y particiones; las instalaciones; el respeto al medio ambiente; y los procesos constructivos; entre otros aspectos). Este escrito amplía y actualiza aquel análisis, para una de las partes que allí se estudiaban: el sub-sector de la construcción industrial y las empresas de ingeniería en dicho sub-sector.

2. ASPECTOS GENERALES DEL ENTORNO: EL SECTOR ESPAÑOL DE LA CONSTRUCCIÓN Y EL SUB-SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIAL

El sector de la construcción ha tenido muchas variaciones en su estructura, a lo largo de la historia. Desde la existencia de proyectos de construcción a gran escala en las antiguas civilizaciones (Egipto, Mesopotamia, Grecia, Roma) ha sido un sector con mayor complejidad que otros, en el que se necesitaban grandes cantidades de mano de obra e infraestructuras de apoyo a la ejecución (cimbras o andamiajes, entre otras) de cierta relevancia. Aun así, conceptualmente era de cierta simplicidad (en comparación con su estructura actual), con la concurrencia de maestros / arquitectos que se encargaban de la práctica totalidad del proceso de diseño y ejecución. Desde sus inicios hasta la actualidad ha ido aumentando su complejidad y eficiencia, sobre todo a raíz de las dos guerras mundiales, y, en especial, a partir de la segunda. Resumidamente, hoy en día su estructura incluye:

- Clientes: públicos, privados, empresas mixtas
- Empresas de diseño y de apoyo al cliente o al diseñador
 - Ingenierías, estudios de arquitectura y profesionales libres que realizan el diseño y

supervisan la ejecución; en proyectos industriales complejos puede suceder que haya varias de estas empresas trabajando en paralelo, cada una en diferentes partes del diseño; y, por otro lado, es frecuente que las empresas contratadas directamente por el cliente sub-contraten parte de su cometido, pudiendo llegar a haber varios niveles de sub-contratación, con la consiguiente complejidad.

- Servicios técnicos complementarios a la tarea del diseñador (topografía, geotecnia, laboratorios, etc.)

- Consultorías de otros tipos, para apoyo al cliente o a la dirección facultativa (control de calidad, o dirección de proyectos, entre otros).

Contratistas: con gran diversidad de sistemas de contratación, incluyendo el contrato tradicional, el de ingeniería y obra / llave en mano, los sistemas de gestión (management contracting, construction management), o los que incluyen la financiación (Construir-Operar-Transferir; concesiones), entre otros.

- Subcontratistas, con la posibilidad de existencia de diferentes posibles niveles de sub-contratación. En particular, en la construcción industrial, al contar con los proyectos de mayor tamaño (centrales térmicas, centrales nucleares, plantas químicas y petroquímicas, entre otras), se pueden dar muchos niveles, lo que hace muy compleja la gestión del proyecto, y aumenta mucho la incertidumbre.

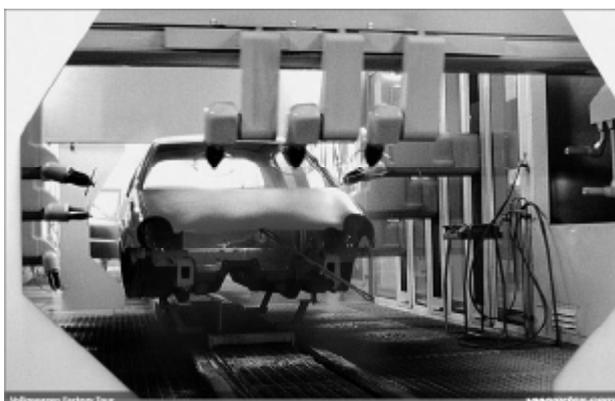
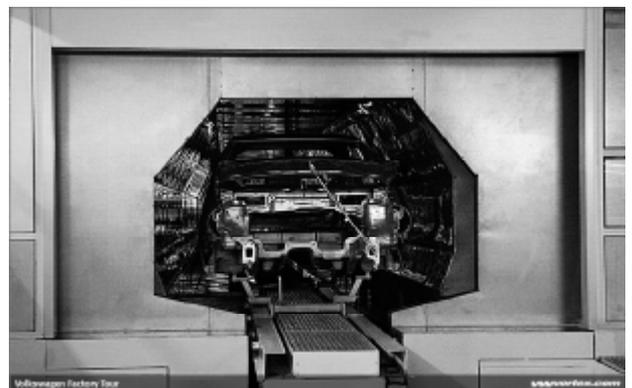
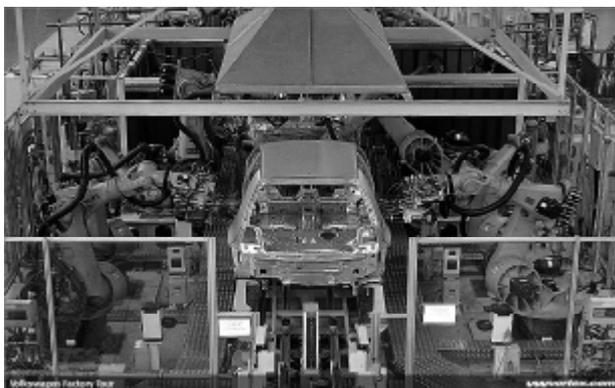
- Fabricantes y otros suministradores.

2.1. Evolución reciente del sub-sector de la construcción industrial

El sector de la construcción tiene diferentes sub-sectores que han tenido evoluciones diferentes en el pasado reciente; así por ejemplo, la evolución del sub-sector de la obra pública ha seguido una trayectoria diferente de la del de construcciones industriales. Con respecto a la evolución reciente en el sub-sector de construcción industrial (2, 3, 4):

- Los 60 y los 70 (salvo los dos últimos años de dicha década) acogen un gran proceso de industrialización de España, suponiendo un auge especial para este subsector.

- El período 1978-1983 supone una importante recesión, a pesar de la existencia de algunos grandes proyectos, como la planta de General Motors en Zaragoza (construida entre 1979 y 1981). En general, el volumen



Figuras 1.1 a 1.8. Imágenes de diversas zonas de un proceso industrial complejo como es el de fabricación de automóviles. Fábrica del Grupo Volkswagen (Fuente: <http://www.vwvortex.com/artman/publish/vortex-news/printer-329.shtml>).

del mercado ha sido muy reducido desde 1978 hasta ahora en comparación con los 60 y los 70, si bien 1978-1983 es el peor momento ya que, por un lado, llega a España la crisis mundial del 74; y, por otro, el nivel de industrialización española habría llegado a ser ya lo suficientemente importante, tras el proceso de industrialización de los 60 y los 70, como para que la demanda bajase mucho con respecto a dichas décadas. El período 1970-1985 supuso un proceso de progresiva saturación industrial, desde 1985 España ha tenido un desarrollo industrial suficiente como para competir en Europa y en otros países industrializados, y desde entonces ha sido imposible volver a los tamaños de mercado de los 70; en un futuro quizá también lo sea internamente, debido a los fenómenos actuales de deslocalización, aunque ello no resta al sector español la posibilidad de ejecutar algunas de esas plantas a construir o trasladar fuera de España, fundamentalmente en el caso de clientes multinacionales de matriz española.

- El período 1983-1985 supone una ligera recuperación. En 1983, con el Plan Energético Nacional, se congela la construcción de centrales nucleares y se origina la necesidad de construcción de centrales de producción de energía convencionales (carbón), lo que supone un corto momento de recuperación.
- Desde 1985 hasta 1995 (y a pesar de que, en general, el período 1987-1992 supuso un auge global del sector de la construcción) el mercado se mantuvo o decreció, según momentos, basándose en los gasoductos (gas natural); instalaciones de cogeneración y trigeneración; ampliación y reforma de plantas existentes; minicentrales hidráulicas; centrales de ciclo combinado; y energía eólica.
- A partir de 1995 la construcción de una docena de centrales térmicas de ciclo combinado, promovidas por Gas Natural, Endesa, Iberdrola, Unión-Fenosa e Hidroeléctrica del Cantábrico, y todas ellas de gran inversión (por encima de 300 millones de dólares USA cada una), han revitalizado el sector industrial, continuando en la actualidad dicho programa. Sin embargo, y a pesar de todo, esto no ha supuesto la vuelta a los volúmenes de mercado de los años 70.

2.2. Contratistas tradicionales

En otros subsectores (obra pública, residencial, oficinas, comercial) ha habido también momentos de recesión muy importantes y lo suficientemente largos como para provocar problemas relevantes a las empresas del

sector, a pesar de haber habido también períodos de bonanza (como el habido entre 1987 y 1992 para el sub-sector de la obra pública). Aunque los contratistas tradicionales (Dragados, FCC, Ferrovial, etc.) nunca han tenido una orientación importante hacia la construcción industrial, los más grandes casi siempre han tenido una división industrial que ha participado en este tipo de proyectos, frecuentemente en *joint venture* con empresas de ingeniería o subcontratados por aquéllas. En un entorno general de sucesión de diferentes períodos de crisis en el sector de la construcción, las PYMES han tenido problemas muy importantes para sobrevivir; el sector se ha hecho muy competitivo y agresivo; con todo ello la estrategia general de las empresas contratistas ha cambiado mucho. Por un lado, y en primer lugar, las antiguas constructoras tradicionales, que ejecutaban obras con sus propios medios



Figura 2. Cada vez más el cliente industrial exige una estética adecuada a su imagen corporativa. Fábrica Mahou en El Prat, Barcelona (Ingeniero: Josep Torrella).

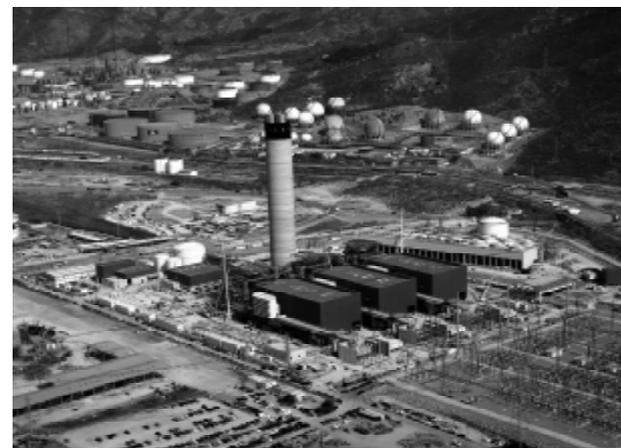


Figura 3. La ejecución de obras industriales es también compleja, incluso en proyectos de volumen económico reducido. Obras de una central de producción de energía de ciclo combinado en Cartagena (Gas Natural).

materiales y humanos, se convirtieron en contratistas, minimizando su personal y subcontratando la totalidad de los trabajos, disponiendo en obra solamente el personal de plantilla mínimo para poder gestionar el contrato con su cliente. Por otro lado, al no ser eso suficiente para sobrevivir con los beneficios deseados, las empresas han tenido que diversificarse introduciéndose en otros sectores. En resumen, se ha pasado de constructoras a contratistas, y de contratistas a empresas de gestión de múltiples tipos de servicios (promoción inmobiliaria, gestión de residuos y agua, concesiones de carreteras, de telefonía o de otros medios de comunicación, entre otros). Además, y poco a poco, los contratistas han tenido o están teniendo (según su tamaño) que amoldarse a ciertas necesidades exigidas por los clientes, como la certificación ISO-9.000 (calidad) y EMAS o ISO-14.000 (medio ambiente), para no quedarse apartadas de los procesos de petición de ofertas o para mejorar sus posibilidades de contratar. Pero todo eso no ha sido suficiente en muchos casos y, finalmente, una parte sustancial de las medianas y casi todas las grandes han podido tener unas finanzas saneadas gracias a las uniones temporales de empresas (UTEs / Joint Ventures), a la salida al exterior para ganar contratos en el extranjero, a la ya referida diversificación, y a la concentración (fusiones, adquisiciones). En todo este proceso ha jugado un papel importante el cambio en los accionarios de las empresas. Antiguamente los accionistas eran pocos, formaban parte de la empresa, y eran fieles a la misma. Al cotizar en bolsa, actualmente los accionistas son muchos; y muchos de ellos tienen como única motivación la especulación; además, los bancos han entrado a formar parte del accionariado, a veces incluso de manera mayoritaria, buscando siempre el máximo beneficio económico, independientemente de otras consideraciones; la concentración también ha provocado cambios importantes en la estructura accionarial, con influencias de diverso tipo. Los fenómenos de diversificación y concentración han complicado mucho la gestión empresarial.

2.3. Empresas de ingeniería

Diferentes tipos de empresas de ingeniería han tenido diferentes evoluciones. Así, por ejemplo, las dedicadas a la obra pública han tenido un período dorado desde 1987 hasta momentos relativamente recientes, ya que sobre ese año el MOPU decide externalizar el diseño de sus obras, generando un entorno muy favorable que ha ido (lógicamente) saturándose poco a poco hasta hoy, haciéndose más y más competitivo, con la complicación adicional de que hoy en día este tipo

de proyectos no se pagan muy bien por parte de la Administración. Con respecto a las empresas de ingeniería para la construcción industrial, éstas también han sufrido las consecuencias de los diferentes períodos de recesión ya referidos en epígrafes anteriores, junto con problemas adicionales que han reducido mucho el número de este tipo de empresas en el sub-sector, y que amenazan con reducirlo todavía más. Estos problemas adicionales tienen que ver con una menor concentración y un carácter menos competitivo y agresivo que lo ya referido con respecto a los contratistas, lo que ha llevado a una pérdida de capital humano; los mejores profesionales se han marchado para incorporarse a empresas contratistas, a empresas clientes, o a la administración. El sub-sector se mantiene por las grandes empresas españolas, por las multinacionales de matriz extranjera, y por otras empresas de menor tamaño que, como aquéllas, han pasado de ser simples empresas de ingeniería / consultoría a vender también llaves en mano (convirtiéndose en contratistas) o a competir fuera de España.

2.4. Suministradores y fabricantes

Con respecto al último eslabón, el de los suministradores y fabricantes, esta parte del sector ha tenido desde siempre ciertas desventajas que le han afectado de manera importante. Quizá la más importante es estar en el último lugar en la cadena de pagos. Algunos clientes, entre los que se cuenta la Administración, han tenido problemas importantes de retrasos en sus pagos, o han impuesto pagos diferidos. A su vez, los contratistas han pagado normalmente a los subcontratistas a 180 y a más de 200 días. Y la "bola" y sus efectos aumentan conforme se baja en la cadena de subcontratación y compras, al final de la cual se encuentran los fabricantes. Sin embargo el sub-sector de los fabricantes, probablemente a causa de la globalización y de los procesos de concentración que ha sufrido, mantiene un alto nivel tecnológico y es, junto algunos centros de investigación públicos, la única fuente de investigación, desarrollo e innovación del sector, bien directamente en el seno de la empresa, bien mediante centros específicamente creados para ello por las asociaciones empresariales.

2.5. Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)

En este sentido hay que decir que, en cuanto a la estrategia general del sector de la construcción en materia de I+D+i, sólo las empresas grandes y especializadas la incluyen en su estrategia y que, en particular (5):

- Los fabricantes son los únicos que realizan I+D+i, si bien sólo los grandes (algunas asociaciones empresariales realizan i, D+i, e incluso I+D+i, dependiendo de su tamaño).
- Las empresas de ingeniería, en general, sólo realizan D+i, y sólo lo hacen los más grandes.
- Los contratistas tradicionales, en general, sólo invierten en innovación, y usualmente asociada a un contrato con un cliente; por otro lado, sólo lo hacen los más grandes y, además, no suelen implicar a sus suministradores ni clientes.
- Determinados centros públicos de investigación (Instituto Eduardo Torroja, CEDEX, entre otros) y algunos grupos universitarios tienen ya un nivel alto en materia de investigación (I+D+i), y otros grupos están avanzando por el mismo camino.

Por otro lado, muchas veces ni se impulsan (asociaciones), ni se registran, ni se explotan los procesos innovadores. Además, desafortunadamente, ni los sistemas privados de contratación ni los públicos lo favorecen, y el Estado debería reflexionar sobre sus sistemas de contratación para convertirse en un motor real de la I+D+i del sector. De todas formas hay que tener en cuenta que el volumen económico del sector es muy grande y, por ello, la potencialidad en I+D+i del mismo es indudable; para los autores esto supone una esperanza en cuanto al aumento de la inversión y al nivel de la investigación en este sector.

Todo lo anterior se refiere al sector de la construcción, en general; en lo relativo a las empresas relacionadas con la construcción industrial las situaciones son similares, si bien los niveles de inversión en I+D+i pueden ser algo mayores que en otros sub-sectores, siempre que se trate de empresas que tengan que ver con proyectos de gran tamaño. Esto es así ya que, por un lado, este tipo de proyectos son de mayor complejidad y nivel tecnológico que otros del sector; y, por otro, en ellos la rentabilidad del proyecto es primordial para el cliente y es más fácil de demostrar que en otros campos (como pueda ser el caso de la rentabilidad social en la obra pública).

3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS EMPRESAS DE INGENIERÍA DE MAYOR IMPORTANCIA EN LA ACTUALIDAD

Bechtel, Fluor o Foster Wheeler, entre otras, son algunas de las empresas de ingeniería más importantes internacionalmente que

ofrecen, tanto en el campo de la construcción industrial como en otros campos, servicios de consultoría (dirección de proyectos / project management, entre otros) y de ingeniería, y actúan también como contratistas, normalmente llave en mano; su tamaño llega a ser (6, 7) de hasta 35.000 - 40.000 empleados. Existen empresas españolas que están internacionalmente en los lugares más altos en volumen de contratación, como es el caso de ACS-Dragados y FCC, pero se trata de contratistas tradicionales sin una orientación tan importante hacia la construcción industrial, como es el caso de las empresas primero mencionadas. A continuación (6-9) vamos a realizar un repaso rápido a los principales aspectos que distinguen a las empresas más importantes del campo de la construcción industrial, con objeto de, tras ello, resumir los que suponen una ventaja competitiva a seguir por otras empresas que quieran seguir su ejemplo, y de anticipar algunas de las tendencias actuales y a futuro.

3.1. Ingeniería conceptual

Se trata aquí, en el primer momento del proyecto, de realizar un análisis de oportunidad del proyecto. Para ello se desarrolla una ingeniería conceptual (conceptual engineering), con su estimación de costes, programación y planificación iniciales, con objeto de evaluar de manera preliminar las potencialidades del proyecto. De esta manera, invirtiendo poco dinero, se puede determinar si merece la pena seguir adelante y analizar la factibilidad del proyecto con mayor detalle (y consumiendo mayores recursos), o si lo más adecuado es abandonar la idea. Estas grandes empresas (y también diversos autores, basándose en datos del sector), creen que las ingenierías conceptual y de factibilidad (ver más adelante) son las que tienen la mayor influencia a la hora de asegurar el éxito del proyecto.

La ingeniería conceptual, la de factibilidad y la básica (front-end engineering; ver más adelante), son servicios en los que las grandes multinacionales de la ingeniería cifran cada vez más el futuro de su negocio. Comparativamente, la ingeniería de detalle se paga menos que estos servicios, y los grandes trabajan cada vez menos en la ingeniería de detalle: o la tratan de automatizar informáticamente para que suponga la mínima cantidad posible de horas-hombre consumidas; o bien la hacen con menos recursos propios, subcontratándola o buscando al cliente una empresa para ello.

3.2. Factibilidad

Una vez aclarado que existe una oportunidad de negocio se desarrolla la ingeniería

de factibilidad para desarrollar soluciones alternativas. Ésta es, probablemente, la fase de ingeniería más crítica de todas. La terminología no es siempre clara ya que algunas empresas también denominan a esta fase de ingeniería como de ingeniería conceptual.

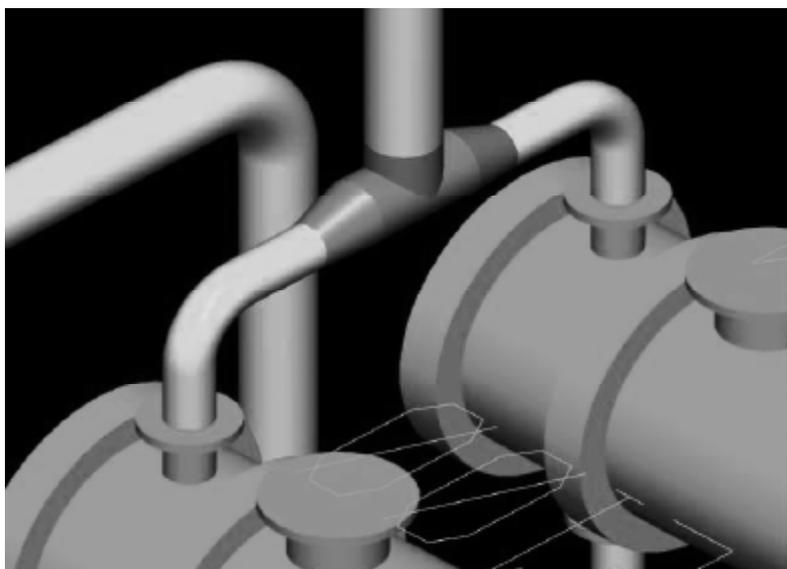
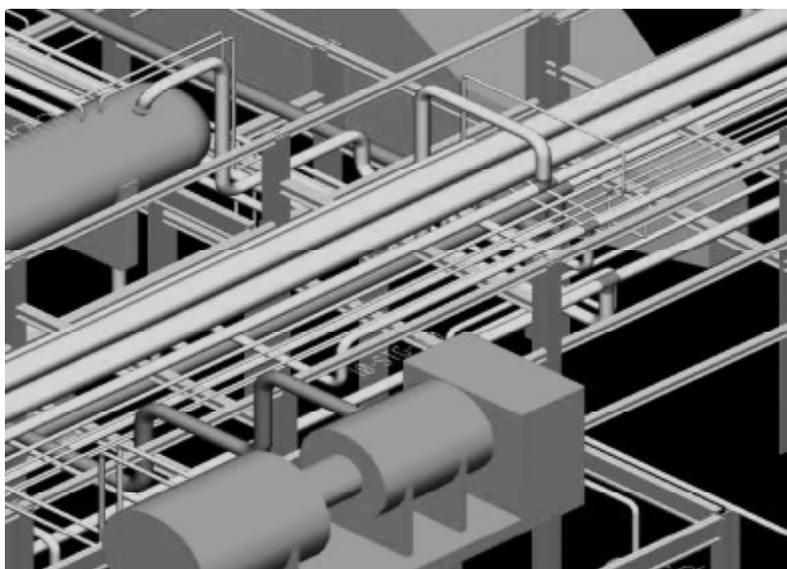
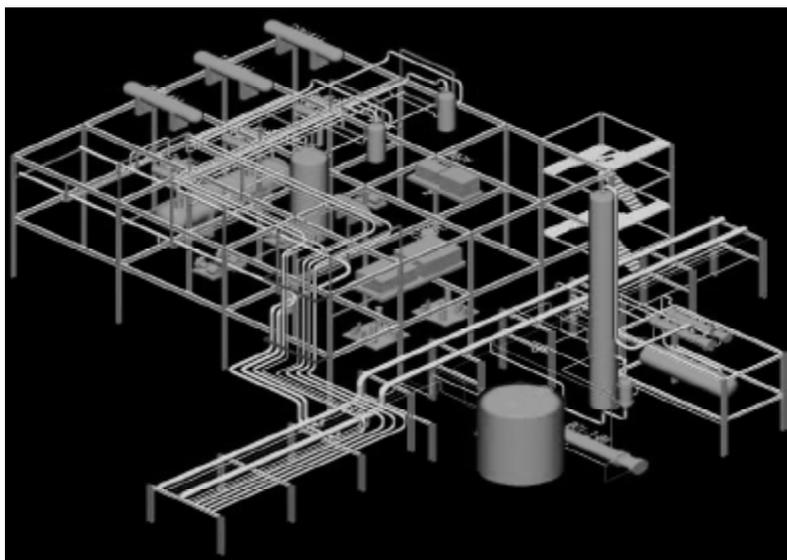
En esta fase se revisan todas las posibles alternativas de proyecto y se anulan las poco adecuadas, estrechando el conjunto de escenarios a una pequeña cantidad. La empresa de ingeniería analiza dichas alternativas en base a directrices u objetivos preliminares de proyecto definidos por el cliente, con la ayuda de la empresa de ingeniería, si ha lugar.

La ingeniería de factibilidad incluye:

- La definición y evaluación de diferentes alternativas tecnológicas de proceso industrial, para analizar luego, para cada una de ellas, su eficiencia en costes a lo largo del ciclo de vida de la instalación, seguridad, residuos de proceso, impacto ambiental, operabilidad y rentabilidad. Estas grandes empresas mantienen estrechas relaciones con las empresas propietarias de tecnología, lo cual les permite asistir al cliente en el análisis de la tecnología.

- El análisis de la factibilidad de las diferentes alternativas y definición de objetivos del proyecto desde el punto de vista del negocio del cliente (project business objectives), lo que incluye la determinación del alcance del proyecto; una ingeniería o diseño (de tipo conceptual); la estimación de los costes de inversión y explotación y de los plazos de desarrollo del proyecto; y los correspondientes análisis económicos; entre otros aspectos típicos de un estudio de viabilidad técnico, económico y financiero. Las grandes empresas tienen importantes bases de datos de costes reales de proyectos para estos cometidos. Además, tanto en este momento como en fases posteriores del proyecto, estas grandes empresas identifican los riesgos (del negocio, comerciales y técnicos) de no cumplimiento de dichos objetivos, y analizan sus posibles impactos sobre los objetivos del proyecto y la posibilidad / probabilidad de que ocurran. En este momento inicial se analiza de manera preliminar el riesgo de cada alternativa (en plazo, en coste, etc.) de no alcanzar el éxito, para poder tomar correctamente las decisiones de desarrollar la ingeniería básica de una o más de dichas alternativas.

El diseño o ingeniería conceptual o de factibilidad no tiene por qué ser arquitectónico, sino que se centra en los parámetros esenciales del proceso industrial que influyen en la rentabilidad; incluye la definición preliminar de los requerimientos de ingeniería, contratación y compras, y construcción.



Figuras 4.1 a 4.3. Imágenes de la aplicación informática PlantWise, de Design Power Inc. (10), en la que se basa el software de Fluor denominado OptimEyes, para ayudar a encontrar el layout óptimo de la planta a diseñar.



Figuras 5.1 y 5.2. Imágenes de visualizaciones de diseños de plantas industriales realizadas con aplicaciones CAD de la marca Intergraph (Fuente: <http://ppm.intergraph.com>).

Uno de los servicios que estas grandes empresas venden está basado en sus estrechas relaciones con bancos comerciales y aseguradoras y en su capacidad de influencia sobre ellos a la hora de conseguir la financiación del proyecto. Estas empresas ayudan al cliente a definir su plan financiero y de seguros, y tratan con bancos y aseguradoras para conseguir créditos y pólizas para su cliente.

3.3. Ingeniería básica

Normalmente denominada Front End Engineering and Design (y frecuentemente abreviada como FEED) en el entorno anglosajón, esta es la última fase tradicional de

ingeniería, antes de la aprobación definitiva del proyecto, que define el diseño con mayor detalle (sin ser la ingeniería de detalle, que es ya la necesaria para la ejecución; ver más adelante), para disminuir la incertidumbre del proyecto. En contratos llave en mano y en algunos contratos de ingeniería pura la oferta se basa en esta ingeniería básica.

En esta fase se deciden los conceptos esenciales de la planta, los principios de diseño, y se revisa la estimación del coste de inversión; la ingeniería realiza ya un diseño básico que incluye una implantación de conjunto en el solar (plot layout) y las sub-implantaciones de las principales unidades de proceso buscando en ellas eficiencia en costes, seguridad de operación, operabilidad y mantenibilidad. Las grandes empresas hacen ya en esta fase visualizaciones 3D y 4D de la futura planta (4D o 3+1D: se refieren a las tres dimensiones del espacio más el tiempo; simulaciones 3D dinámicas).

Por ejemplo, en esta fase, y también en las posteriores (7), Fluor usa una aplicación informática denominada OptimEyes (se trata de una versión de la aplicación de Design Power Inc. (10) llamada PlantWise, adaptada a las necesidades de Fluor), para ayudar a encontrar el layout (distribución en planta y en el espacio) óptimo de la planta a diseñar, con objeto de acortar las horas hombre a dedicar a este aspecto, y de mejorar la precisión en la estimación de costes. Este software toma decisiones lógicas y precisas con respecto a la configuración de la planta, basadas en años de experiencia de Fluor, liberando a los técnicos de tareas tediosas de diseño; se ha creado capturando reglas de ingeniería y reglas de buena práctica del personal de Fluor para ser utilizadas por el ordenador de manera automatizada (ésta es una de las vertientes de la gestión del conocimiento). Se trata de una herramienta, como se ha dicho, que trata de optimizar el layout (aspecto muy complejo en grandes plantas químicas y petroquímicas de proceso), y que proporciona visualizaciones del mismo, todo ello de manera integrada con el resto de procesos de trabajo de Fluor. Dicha herramienta ayuda al equipo de proyecto a revisar rápidamente múltiples escenarios de disposición en planta, a identificar los layouts más eficientes en costes, y a analizar la operabilidad y mantenibilidad de cada layout. También sirve para producir mediciones de proyecto muy precisas y para crear modelos 3D de la planta para comprender mejor el diseño realizado y para comunicarlo a las partes interesadas. Este software se comunica con las aplicaciones típicas de CAD para generar automáticamente modelos en 3D y planos de proyecto en 2D.

El resultado final de esta fase suele ser la autorización definitiva para el gasto por parte del cliente, nuevas estimaciones de coste y plazo más precisas, una definición más detallada del alcance y de la calidad del proyecto, y una planificación detallada del proyecto, una vez tomada la decisión de invertir; también se continúa el proceso de gestión del riesgo, con la identificación, evaluación y planificación de la respuesta a los riesgos de seguridad y salud, medio-ambientales, técnicos, de costes, y de plazo.

3.4. Ingeniería de detalle

Aquí se desarrollan ya las actividades necesarias para producir el diseño definitivo, el proyecto constructivo, y en él, fundamentalmente los planos y especificaciones técnicas detallados, para su uso por los suministradores, fabricantes, montadores y contratistas / sub-contratistas.

Estas grandes empresas suelen realizar una planificación y control exhaustivos de esta fase (sobre todo en coste, avance físico y calidad), para evitar sobrecostes y cumplir con los objetivos de plazo del cliente. Pero también van más allá, incorporando a los procesos de ingeniería / diseño en esta fase técnicas avanzadas como (7) la simulación, la modelización 3D interactiva, herramientas avanzadas de desarrollo del proyecto y de productividad, procesos automatizados e integrados de ingeniería, o integración corporativa de procesos de ingeniería / diseño.

Por ejemplo, Fluor (7) utiliza una serie de herramientas de automatización de la ingeniería de proyecto, incluidas en un paquete del tipo Suite denominado MasterPlant, para racionalizar el trabajo e integrar información de múltiples bases de datos. Dichas herramientas abarcan, entre otras, la modelización del diseño, diferentes análisis del mismo, estimación de costes, sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas automáticos de elección de trazados de redes de tuberías, y herramientas colaborativas basadas en la web para mejorar la toma de decisiones. La suite de Fluor para automatización de la ingeniería denominada MasterPlant incorpora una herramienta colaborativa y de gestión de la documentación del proyecto denominada Projects OnLine. Esta herramienta sirve para conectar a todo el equipo de proyecto (oficina central, oficina de obra, clientes, suministradores, fabricantes) de manera que puedan colaborar en su trabajo independientemente de su localización geográfica. Permite el acceso a las versiones actualizadas de los documentos de proyecto y se integra completamente con el sistema electrónico de gestión de la documentación corporativa. Tiene

dos componentes principales: un sistema colaborativo de proyecto basado en Internet integrado con sistema robusto de gestión de la documentación. El interfaz de usuario es similar al de Microsoft Internet Explorer, incorporando también un completo sistema de búsqueda y un sistema de seguridad y protección del capital intelectual que incluye el acceso y permisos restringidos por medio de un ID y una palabra clave, y el encriptado de la información para su transmisión. El usuario, según la autorización de que disponga, puede enviar, copiar, recuperar o ver algunos o todos los documentos de proyecto. La aplicación permite ver e imprimir los documentos sin necesidad de disponer de la aplicación informática necesaria para ello, por medio de utilidades de visualización. También permite la publicación de noticias y la creación de vínculos a otras webs o aplicaciones informáticas.

Estas grandes empresas dan mucha importancia a la constructibilidad del proyecto técnico, y realizan diversos análisis para asegurarla (constructability reviews). Suelen argumentar que su personal sabe cómo se ejecutan las obras (ya que también participan en ellas como contratistas, normalmente del tipo llave en mano), y que ello ayuda a realizar diseños construibles de manera fácil, segura y económica.

3.5. Construcción

En esta fase estas grandes empresas disponen de inspectores, coordinadores y jefes de obra / directores de obra con amplia experiencia, al margen de personal diverso de apoyo en la programación y control de costes.

Las empresas más grandes se han especializado (7, 8) en:

- La realización de programas realistas de obra, en función de las posibilidades reales de uso de recursos.
- La planificación, programación y ejecución simultánea de muchas actividades de ejecución, para solapar actividades del programa de obra y comprimir dicho programa, acortando el plazo, así como a coordinar e integrar los esfuerzos de diseño (cuando se solapan las fases de ingeniería y ejecución, aspecto normalmente denominado "fast-track") y contratación y compras con los de ejecución.
- La planificación de la logística del proyecto.
- La integración de las políticas y procedimientos de seguridad y salud y medioambientales

del cliente en los planes de trabajo, al margen del cumplimiento de exigentes estándares en estas materias.

- El uso de la prefabricación, pre-montaje y modularización para reducir costes y plazo. Los racks de tuberías, los componentes de unidades de proceso, o las estructuras metálicas son diseñados de una manera modular, y tanto más en casos de obras en zonas remotas con limitaciones de mano de obra, obras muy congestionadas o entornos de construcción con otras dificultades.

Por ejemplo, Bechtel (8) dispone de una suite integrada de herramientas de software (casi toda desarrollada internamente) para facilitar la coordinación, para reunir datos de avance y explotarlos, o para establecer modelos en 4D del avance de la obra.

Y Fluor (7) dispone de un sistema de planificación de la construcción en 4D, denominado InSequence, que liga modelos 3D con software de programación permitiendo visualizar la secuencia de ejecución de las obras; esto permite detectar algunos problemas que no son detectables con el software normal de programación, consiguiéndose una programación de obra más realista. InSequence combina la experiencia acumulada por Fluor en materia de planificación de obras con la utilización de herramientas de diseño y, a su vez, con la plataforma SmartPlant de Integraph (11). Incluso en los primeros momentos del diseño Fluor presume de poder crear en un solo día un modelo 4D de simulación combinando modelos 3D preliminares de la planta junto con programas preliminares desarrollados durante la ingeniería básica. Fluor dispone también de una herramienta integrada de planificación de la construcción y de facturación denominada CompleteItSM.

Estas grandes empresas disponen, entre otras cosas, de aplicaciones y procedimientos específicos para la gestión de materiales a incorporar a la obra, incluyendo la compra, recepción, inspección, almacenamiento y entrega a los montadores / sub-contratistas.

Fluor (7), por ejemplo, dispone de una suite informática denominada MaterialManager, con conexión a través de Internet, que integra las funciones de compras y de gestión de los materiales, elementos o equipos adquiridos, ligando todo ello con los sistemas de gestión del proyecto. Esta herramienta fomenta la buena práctica en las compras del personal de la empresa, y recoge la información clave de manera centralizada. Otras herramientas de Fluor relacionadas con la gestión de materiales a incorporar a obra son NEWS V6, un sistema basado en

ordenadores portátiles para registrar historiales de ensayos no destructivos, y Radio Frequency Tagging (RFT), un sistema informatizado para la localización, seguimiento y almacenamiento de materiales y equipos.

Por su parte, Bechtel (8) basa su fortaleza en materia de gestión de la contratación / sub-contratación en:

- Un grupo de profesionales expertos en esta materia, en continuo movimiento, localizados en los principales centros económicos e industriales del planeta.
- Conocimiento de las condiciones locales en materia de legislación, mercados, aduanas, y prácticas específicas de contratación y compras.
- Relaciones a largo plazo, a nivel de alta dirección, con las principales empresas fabricantes y contratistas / sub-contratistas.
- Herramientas innovadoras como un portal web para suministradores, con objeto de identificar a los suministradores más económicos y competentes y de ahorrar en costes comprando en grandes volúmenes.
- Uso de subastas on-line para adquirir bienes y servicios al menor coste posible.
- Integración de todas estas herramientas con las herramientas de control, coordinación y automatización del diseño y de la construcción.

Este tipo de empresas ofrecen como producto los servicios de gerencia de contratos (management contracting / construction management) y dirección profesional de la construcción (agency construction management), además de los tradicionales servicios de ingeniería y los contratos llave en mano. En este sentido, estas empresas aplican las filosofías, metodologías y técnicas de gestión más recientes, y forman mayoritariamente a su personal en ellas; por ejemplo, Bechtel (6) dice tomar decisiones basadas en datos del tipo Six Sigma para mejorar sus procesos de gestión y buscar la eficiencia en costes del proyecto, habiendo conseguido grandes ahorros para sus clientes y para la propia Bechtel. Esta empresa cifra en 560 millones de dólares los ahorros obtenidos mediante este sistema en 2004, y en más de mil millones de dólares los conseguidos en total desde su implantación. Six Sigma (12-15) es una metodología novedosa que mezcla aspectos de gestión de la calidad y de gestión del riesgo / incertidumbre. Usa de manera sistemática datos y análisis estadístico para medir, evaluar y mejorar las

prácticas, los sistemas y los resultados operativos de una empresa mediante procesos rigurosos y disciplinados de identificación y eliminación de variabilidad innecesaria (reducción de la desviación típica, "sigma"), "defectos" (cualquier aspecto fuera o en contra de las especificaciones del cliente), y pérdidas de tiempo en los procesos productivos de la misma y, en paralelo, de maximización de las oportunidades que supone cualquier "defecto". Y todo ello en una filosofía orientada al cliente, para mantener o aumentar su lealtad.

Para estas empresas una de las cosas más importantes es el compromiso para alcanzar "cero accidentes" en materia de seguridad y salud, como manera de ahorrar costes internos y costes para sus clientes, al margen de la obvia ventaja para los trabajadores. Por ejemplo, Fluor (7), que tiene unos 35.000 empleados con unos 10.000 de ellos trabajando en obra, tuvo en 2004 una siniestralidad 52 veces menor que la media del sector de la construcción estadounidense.

3.6. Sistemas de gestión del conocimiento y de apoyo a la ingeniería simultánea

Éste es un aspecto clave para este tipo de empresas. Hemos hablado ya con anterioridad de la parte de la gestión del conocimiento que, por medio de herramientas informáticas, captura el conocimiento corporativo, lo almacena y lo aprovecha. En otro sentido, y dentro del mismo tema, Fluor (7), por ejemplo, ha desarrollado un sistema electrónico de gestión del conocimiento (ésta es otra de las vertientes de la gestión del conocimiento) por medio del cual sus ingenieros pueden comunicarse, en cualquier lugar del planeta, con los expertos de Fluor en diferentes especialidades, constituyendo una herramienta colaborativa que permite el trabajo conjunto de técnicos muy distantes geográficamente. Este tipo de sistemas pueden servir también para apoyar procesos de ingeniería simultánea (concurrent engineering) en los que sub-contratistas, suministradores y fabricantes colaboren en el diseño. A principios de los 90 Fluor se dio cuenta de que para mantener su competitividad debía mejorar drásticamente su productividad en ingeniería. Entonces se puso en marcha un programa para conseguir un 50% de reducción del tiempo (horas/hombre) necesario para diseñar plantas industriales, entre otros aspectos. Por otro lado, Bertrand Van Ee (citado por Fluor (7)), General Manager de Fluor Daniel en la oficina de Haarlem (Holanda), declaraba en una reunión técnica en Ámsterdam que los países desarrollados estaban inmersos en un suicidio colectivo por confiar de manera generalizada en la

subcontratación ("By relying heavily on outsourcing, developed countries are on a course of collective suicide"). Fluor (7) considera que los bajos costes laborales de los países en vías de desarrollo pueden ser atractivos a corto plazo, pero que la transferencia de conocimientos que se produce hacia empresas que son potenciales futuras competidoras es un arma de doble filo a medio y largo plazo; considera, además, que el proceso que se desarrolla deja obsoleta, más pronto o más tarde, a la empresa que subcontrata su trabajo. Para Fluor es primordial retener el trabajo intensivo en conocimiento. Éstas son las razones esenciales por las que Fluor invierte en conocimiento y en su conservación. Dentro de esta filosofía, por ejemplo, Fluor usó el software denominado PlanWise, de la empresa Design Power, para capturar el conocimiento de su personal (vertiente de la gestión del conocimiento, ya introducida) y crear una herramienta informática de automatización del trabajo de ingeniería denominada internamente en Fluor OptimEyes; de esta manera Fluor puede ofrecer servicios en los que usa su conocimiento sin transferir los aspectos críticos de su contrato a potenciales competidores.

3.7. Otros aspectos

Otros aspectos (7-9) a reseñar con respecto a estas grandes empresas son:

- Estas empresas disponen de directores de proyecto de gran profesionalidad; destinan importantes presupuestos para formación en el campo de la dirección de proyectos; disponen de procedimientos internos de gestión de proyectos, cuya implantación efectiva comenzó ya hace muchos años y está en continua evolución y mejora; e incorporan una madura filosofía corporativa que fomenta la profesionalización de la figura del director de proyecto, promoviendo e incluso exigiendo que su personal se certifique en dirección de proyectos por las asociaciones más importantes internacionalmente (fundamentalmente, el Project Management Institute y la International Project Management Association).
- Muchas de ellas están desarrollando programas internos orientados a la consideración de criterios de sostenibilidad, en general, y, en particular, en el diseño y construcción.
- Muchas de ellas consideran que el desarrollo de patentes y la realización de numerosas publicaciones técnicas en congresos y revistas, son también pilares de su mantenimiento como líderes en su sector.
- Este tipo de empresas (Bechtel, por ejemplo, a través de Bechtel Enterprises Holdings,

Inc.) desarrollan proyectos del tipo BOT / project finance en los sectores de la energía, abastecimiento de aguas, gestión de residuos, transporte y telecomunicaciones, ayudando a los concesionarios o participando como socios.

- Y también prestan servicios de mantenimiento y apoyo en la operación de la planta, incluyendo la formación del personal, apoyo puntual en momentos de problemas, gestión de infraestructuras o instalaciones (facility management)

4. CONCLUSIONES

4.1. Principales aspectos de las grandes empresas de ingeniería que suponen ventajas competitivas a analizar y seguir por otras empresas de este tipo

En función de lo reflejado en este escrito, y sin suponer un listado exhaustivo, las principales características de las empresas de este subsector que suponen ventajas competitivas a analizar o seguir por otras empresas de este tipo, agrupadas por temas, son:

• *Gestión corporativa y del proyecto*

- Aplicar las filosofías, metodologías y técnicas de gestión más recientes e innovadoras, y formar mayoritariamente a su personal en ellas.
- Tener conocimiento de las condiciones locales de los lugares donde se desarrollan sus proyectos, en todos los aspectos.
- En general, dar mucha importancia a la formación en dirección de proyectos, y a la implantación efectiva de eficaces procedimientos internos en este campo, incorporando una madura filosofía corporativa que fomenta la profesionalización de la figura del director de proyecto, promoviendo e incluyendo exigiendo que su personal se certifique en dirección de proyectos.
- Definir e implantar metodologías y técnicas de gestión de riesgos del proyecto, para ayudar a sus clientes a responder a los riesgos (del negocio, comerciales y técnicos) de incumplimiento de sus objetivos.
- Implantar metodologías y técnicas para ayudar al cliente a definir su plan financiero y de seguros, e incluir entre sus servicios el apoyo al cliente en la consecución de créditos y pólizas.
- Mejorar sus procedimientos internos y bases de datos para la estimación del plazo

con objeto de poder realizar programas realistas de obra, así como para comprimir programas de ingeniería y obra.

- Crear y mantener completas bases de datos de costes reales de proyectos para las estimaciones de costes de inversión y explotación, en las diferentes fases del proyecto.
- Disponer de un número adecuado de profesionales expertos en contratación y compras, en los principales centros económicos e industriales mundiales.
- Dominar los aspectos relacionados con la logística del proyecto.
- Adoptar un compromiso real para alcanzar “cero accidentes”, y mantener ratios de siniestralidad prácticamente nulos en comparación con las medias de los países avanzados.

• *Automatización de procesos*

Avanzar en la automatización de sus procesos de ingeniería (y tanto más en el caso de la ingeniería de detalle) y de sus procesos de gestión durante la construcción, con objeto de disminuir costes de horas / hombre y mejorar la calidad de sus trabajos y la precisión en la estimación de costes y plazos. Los sistemas para este propósito deben ser capaces (gestión del conocimiento) de capturar el conocimiento actual y futuro del personal de la empresa (reglas de ingeniería y de buena práctica), liberando a los técnicos de tareas tediosas de diseño y ahorrando grandes porcentajes de costes de horas / hombre (hasta del 50%) para evitar subcontrataciones que supongan transferencia de conocimientos hacia empresas que son potenciales futuras competidoras, reteniendo el trabajo intensivo en conocimiento. Y deben funcionar de manera integrada con el resto de procesos de trabajo (corporativos y de proyecto) de la empresa. A su vez, dentro de esta faceta:

- Incorporar (mediante desarrollo interno, adquisición o adaptación) herramientas informáticas colaborativas basadas en la web para mejorar la toma de decisiones, junto con sistemas de gestión de la documentación del proyecto que también aprovechen las posibilidades de la Red, para conectar a sus técnicos y expertos, independientemente de su localización geográfica, permitiendo el trabajo conjunto de dichos profesionales y el aprovechamiento del conocimiento y experiencia de los más experimentados (gestión del conocimiento), así como conectando también a todo el equipo de proyecto (oficina central, oficina de obra,

clientes, sub-contratistas, suministradores, fabricantes), como apoyo a procesos de ingeniería simultánea en los que todas esas empresas externas colaboren en el diseño.

– Disponer de herramientas informáticas de estimación de costes de inversión y explotación capaces de explotar las bases de datos reales ya referidas con anterioridad.

– Además de otras herramientas informáticas de diseño que hoy son de uso normal, incorporar herramientas que les faciliten la definición, evaluación (eficiencia en costes, operabilidad, mantenibilidad), mejora y comparación de layouts y otros aspectos relacionados con la configuración de la planta, permitiendo la generación rápida de visualizaciones en 3D y 4D para comprender mejor el diseño realizado y para comunicarlo al cliente y a otras partes interesadas. A ello deben añadirse sistemas automáticos de elección de trazados de redes de tuberías, conductos y cableados.

– Incorporar herramientas de software para establecer modelos en 4D que permitan planificar de manera realista y simular / visualizar las secuencias de la ejecución de la obra y sus consecuencias, con objeto también de facilitar la coordinación en obra; y para reunir datos de avance físico y explotarlos, representando en 3D y 4D el avance de la obra, permitiendo informes claros y exactos y facilitando, de nuevo, la coordinación en obra. Estas herramientas deben integrarse con el resto de los procesos de trabajo de estas empresas (en especial, con el software de programación y con el de control de costes y facturación).

– Incorporar herramientas de software de apoyo en contratación, compras y gestión de materiales y equipos adquiridos, integradas con los restantes sistemas de gestión, con los de automatización del diseño y de la construcción, y con la Red. Estas herramientas deben:

- Recoger el conocimiento corporativo en materia de criterios de establecimiento de los sistemas más adecuados de contratación y compras, y en materia de selección de contratistas y suministradores.
- Almacenar la información clave de manera centralizada y permitiendo su gestión (datos de identificación, logísticos, y de ensayos de control, entre otros).
- Soportar un portal o portales web para contratistas y suministradores, para la contratación / compras en grandes volúmenes. En particular, que estos portales puedan soportar subastas on-line para adquirir bienes y servicios de acuerdo con los criterios más adecuados en cada momento.

• **Relaciones con otras empresas**

– Mantener estrechas relaciones con las empresas propietarias de tecnología de procesos.

– Mantener estrechas relaciones con bancos comerciales y aseguradoras.

– Mantener relaciones a largo plazo, a nivel de alta dirección, con las principales empresas fabricantes y contratistas / sub-contratistas.

• **Aspectos técnicos y medioambientales**

– Avanzar por el camino de la consideración de criterios de sostenibilidad en general, y en particular en el diseño y construcción, preparando a su personal para ello.

– Avanzar todo lo posible en el uso de la prefabricación, pre-montaje y modularización.

– Establecer e implantar procedimientos internos para la realización de análisis de la constructibilidad del proyecto técnico (facilidad de ejecución del mismo), preparando a su personal para ello.

• **I+D+i**

Fomentar la investigación, el desarrollo y la innovación, con el correspondiente desarrollo de patentes y la realización de publicaciones técnicas en congresos y revistas, que den a conocer sus avances.

4.2. Potencial evolución a futuro del sector en este campo

Los proyectos energéticos relacionados con gasoductos, cogeneración, trigeneración, minicentrales hidráulicas, centrales de ciclo combinado y energía eólica podrían ser, en el futuro, el campo de más volumen de trabajo para el sub-sector español de construcciones industriales, además de la posibilidad de exportar plantas industriales, cosa que España ya realiza desde hace décadas. En los casos de que se potenciase la energía solar o de que se llegase a la conclusión de que es necesario volver a un mayor uso de la energía nuclear de fisión (cosa que puede suceder a medio o largo plazo), habría que añadir estos tipos de proyectos a la lista anterior; lo último llevaría a un corto período de bonanza para el sector, ya que, dada la presión socio-política existente, lo más probable es que la decisión de volver a las centrales nucleares se tomase en un momento muy tardío, y habría que actuar con gran rapidez para evitar grandes problemas de desabastecimiento energético o de precios desproporcionados.

En cuanto a estrategias de mercado, lo más probable es que sigamos viendo que tanto contratistas tradicionales como empresas de ingeniería consideran la adopción de estrategias de colaboración (uniones temporales de empresas), de salida a los mercados internacionales, de diversificación (consultoría, ingeniería, responsabilidad de ejecución, mantenimiento y apoyo en la operación de la planta, gestión de infraestructuras o instalaciones, concesiones...) o de globalización / concentración (fusiones, adquisiciones), o continúan dichas estrategias, aumentándolas, si ya están inmersos en ellas. Los contratistas tradicionales tienen en este momento peligro de pérdida de tecnologías como consecuencia de la importancia de maximizar el beneficio económico por parte de sus accionistas principales; ello hace que en estas empresas sea todavía de mayor importancia que en otras el realizar una adecuada gestión del conocimiento, para que la falta de determinado personal no merme demasiado la capacidad tecnológica de la empresa. En otro sentido, y con respecto a investigación, desarrollo e innovación, es probable que veamos también una cada vez mayor potenciación de centros tecnológicos (públicos, privados y mixtos) de investigación y servicio para el sector. Es necesario que contratistas y empresas de ingeniería inviertan en I+D+i

bien directamente o mediante asociaciones, y que se registren y exploten los procesos innovadores.

La Administración deberá implicarse en todos los sentidos para mejorar el sector y, entre otras cosas, debe reflexionar sobre sus sistemas de contratación para convertirse en un motor real de la I+D+i del sector; un aspecto positivo sería, por ejemplo, la valoración de la investigación y de la innovación en la contratación pública, como criterio de selección de contratistas y diseñadores, siempre y cuando dicho criterio tenga un peso no anecdótico, que realmente pueda suponer una ventaja competitiva para las empresas que se dediquen a fondo a la investigación; otro aspecto fundamental sería la simplificación administrativa para que las empresas puedan acceder a subvenciones de I+D+i (por lo menos en un principio, para las empresas que por primera o segunda vez recurriesen a ello), ya que la actual complejidad, junto con los escasos fondos que se destinan a la investigación, hacen que muchas empresas se retraigan a la hora de solicitar ayudas; y pudiera ser fundamental fomentar el desarrollo de movimientos específicos de mejora de la eficiencia del sector como el habido en el Reino Unido, denominado "Rethinking Construction" (16, 17).

BIBLIOGRAFÍA

- (1) M. P. de la Cruz, A. del Caño: "Construcción y arquitectura industrial para el siglo XXI: un análisis preliminar", *Informes de la Construcción* (Instituto Eduardo Torroja, Madrid, España), Vol. 53, nº 473 (2001), pp. 39-53.
- (2) A. del Caño, M. P. de la Cruz: "Risks in projects and project oriented small and medium companies", en *Managing risks in projects*, E & F SPON / Thomson Professional (UK), editors: Kähkönen, K. And Artto, K.A. (1997).
- (3) SEOPAN: Datos estadísticos varios sobre el sector de la construcción de la Asociación de Empresas Constructoras de Ámbito Nacional (SEOPAN; España), consultados en <http://www.seopan.es/> (2005).
- (4) SERCOBE: Datos estadísticos varios sobre el sector de la Asociación Nacional de Fabricantes de Bienes de Equipo (SERCOBE; España), consultados en <http://www.sercobe.es/> (2005).
- (5) A. del Caño, F. Martínez, M. P. de la Cruz, C. Vázquez: "Construcción en los albores del siglo XXI: una visión general", Curso de Verano. *La construcción en el siglo XXI*, organizado por la Universidad Menéndez y Pelayo y la Universidad de La Coruña, Ferrol (2002).
- (6) Bechtel: "Bechtel Report 2005", Bechtel Corporation, consultado en <http://www.bechtel.com>
- (7) Fluor: página Web de la empresa Fluor Corporation, consultada en <http://www.fluor.com> (2005).
- (8) Bechtel: página Web de la empresa Bechtel Corporation, consultada en <http://www.bechtel.com> (2005).
- (9) Foster Wheeler: página Web de la empresa Foster Wheeler, consultada en <http://www.fwc.com> (2005).
- (10) Design Power: "Products and Services for Automating Design and Engineering Processes", consultado en <http://www.dp.com> (2005).
- (11) Intergraph: "SmartPlant Family", consultado en <http://ppm.intergraph.com/smartplant> (2005).
- (12) P. S. Pande, %R. P. Neuman, R. R. Cavanaugh: "The Six Sigma Way Team Fieldbook: An Implementation Guide for Process Improvement Teams", McGraw-Hill (2001)
- (13) P. S. Pande, R. P. Neuman, R. R. Cavanaugh: "Las claves de seis sigma: la implantación con éxito de cultura que revoluciona el mundo empresarial", McGraw-Hill (2002).
- (14) B. Wheat: "Learning into six sigma", McGraw-Hill (2003).
- (15) iSixSigma Magazine: iSixSigma Magazine, the official magazine of International Society of Six Sigma Professionals - ISSSP, en <http://www.isixsigma.com/>, <http://www.isixsigma.com/library/content/six-sigma-newbie.asp>, y http://www.isixsigma.com/sixsigma/six_sigma.asp (2005).
- (16) J. Egan: "'Rethinking Construction': The Report of the Construction Task Force", Report of the work performed by the Sir John Egan's Construction Task Force, commissioned by the UK Deputy Prime Minister (1998), en <http://www.dti.gov.uk/construction/rethink/index.htm> (2004).
- (17) D. Blockley, P. Godfrey: "Doing it differently. Systems for rethinking construction", Thomas Telford, London, UK (2000).

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Ingeniería Industrial II de la Universidad de La Coruña, por su apoyo económico.

A los profesores D. José Alfonso Rodríguez (ETS de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid y Dragados/ACS).

D. Manuel de Cos Castillo (ETS de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid y HeyMo Ingeniería-Jaakko Pöyry Group-), por los interesantes comentarios puntuales a algunas de las partes de este análisis, cuyas ideas han quedado recogidas en este texto.