

Recepción: 12 de abril de 2014

Aceptación: 13 de mayo de 2014

Publicación: 29 de mayo de 2014

INGENIERÍA CONCURRENTE EN LA EDIFICACIÓN

CONCURRENT BUILDING ENGINEERING

Victoria Sanz Buades¹

Elena Torres Roca²

Carlos Guerrero Martínez³

David Juárez Varón⁴

1. Máster en Ingeniería, Caracterización y Procesado de Materiales. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Mecánica y Materiales. E-mail: vicsanbu@alumni.upv.es
2. Máster en Ingeniería, Caracterización y Procesado de Materiales. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Mecánica y Materiales. E-mail: eltorro@epsa.upv.es
3. Máster en Ingeniería, Caracterización y Procesado de Materiales. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Mecánica y Materiales. E-mail: carguema@epsa.upv.es
4. Ingeniero en Organización Industrial. Doctor en Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Mecánica y Materiales. E-mail: djuarez@mcm.upv.es

RESUMEN

La Ingeniería Concurrente (IC) aplicada al sector de la construcción de edificios ha crecido en las últimas décadas. Algunos investigadores concluyeron que esta metodología de gestión usada por la industria manufacturera podía extenderse al sector de la construcción. Desde entonces, muchas técnicas formales, sistemas informáticos y métodos de organización han sido estudiados con el objetivo de aumentar la competitividad constructiva.

El objetivo de este trabajo es presentar y analizar el significado de la Ingeniería Concurrente aplicado al sector de la construcción, así como las herramientas útiles que están siendo utilizadas hoy en día por los ingenieros, y los riesgos que esta técnica entraña. Además, recoge algunos ejemplos de construcciones de edificios concurrentes.

ABSTRACT

Concurrent engineering (CE) applied to building construction sector has raised in the last decades. Some researchers concluded that this management philosophy used by manufacturing industry could be extended to the construction process. Since then, many formal techniques, computer systems and methods of organization have been studied with the aim of increase constructive competitiveness.

The objective of this paper is to present and analyze the meaning of concurrent engineering applied to building industry, as well as the useful tools that are being used nowadays by engineers, and the risks that this technique involves. Moreover, it gathers some examples of concurrent buildings constructions.

PALABRAS CLAVE

Ingeniería, concurrente, edificación, gestión, construcción.

KEY WORDS

Engineering, concurrent, building, management, construction.

INTRODUCCIÓN

Muchos estudios e investigaciones han demostrado que el método de Ingeniería Concurrente en la construcción de edificios, trae mejores resultados al desarrollo de productos de construcción.

En el mundo de la ingeniería de hoy en día, los ingenieros y constructores deben ser capaces de reaccionar a los entornos y necesidades del proceso constructivo de forma rápida, eficaz y responsable. De lo contrario, pierden competencia. Por lo tanto, las decisiones deben tomarse de forma correcta a la primera. Así, se aseguran resultados rentables.

En cada proyecto de construcción, intervienen departamentos diferentes que trabajan compartiendo un mismo objetivo. Pero que a veces también trabajan en una dirección distinta. Existe un diseñador, un contratista, un equipo de producción (compuesto por diversas empresas subcontratadas), unos costes y un presupuesto, un control de calidad y por supuesto existe un cliente, el promotor. Todos ellos son conscientes del proyecto para el que están trabajando, sin embargo, se mueven de forma independiente. Cada departamento actúa cuando el anterior ha terminado, siguiendo un esquema de trabajo secuencial.

Es así como la ingeniería de la construcción ha estado funcionando en el pasado. Y este es el origen de muchos problemas. El tiempo de producción y el coste son las variables que desempeñan el papel más importante en un proyecto de construcción, pero de esta manera, los proyectos no se terminan a tiempo y hay significativas pérdidas de beneficios.

La Ingeniería Concurrente (IC) intenta organizar todos los diferentes departamentos que trabajan en un mismo proyecto para obtener el mismo propósito en el menor tiempo posible y con una reducción de los costes globales.

DESARROLLO

CONCEPTO DE INGENIERÍA CONCURRENTE EN LA EDIFICACIÓN

La ingeniería de edificación concurrente es la metodología para mejorar la calidad del edificio construido, la eficiencia productiva y sobre todo la satisfacción del cliente. Consiste en un equipo multidisciplinar que trabaja con valores de cooperación y actúa de tal manera que la toma de decisiones se realiza por consenso, considerando todas las perspectivas en paralelo durante todas las etapas de construcción. La primera fase, el diseño, es la que siempre implica más costes y pérdidas. Por lo tanto, es en esta fase, el momento apropiado para aplicar un sistema concurrente y lograr un mejor rendimiento [1].

Teniendo en cuenta todas las opiniones de las partes que participan en el proyecto, las contingencias se reducen al mínimo. Los resultados erróneos se evitan fácilmente utilizando este sistema de gestión. Un fallo dado en un momento particular del proyecto, se puede resolver sin la reprogramación de todo el proceso de construcción y sin tener grandes repercusiones económicas.

Hay algunas maneras de desarrollar decisiones de gestión coherentes. Son estrategias que contribuyen a controlar la toma de decisiones [2]. Estas estrategias no son sólo buenas al comienzo del proceso del proyecto. En la construcción de edificios, cada paso sufre variaciones e incidentes inesperados. Variaciones en las cantidades de trabajo, cambios de opinión del cliente, la falta de previsibilidad de las subcontratas, accidentes, etc., hacen necesario un control de todas las operaciones a tiempo real [3]. Este control siempre está supervisado por el Jefe de Proyecto.

El Jefe de Proyecto, también conocido como Project Manager (PM), aparece en la Ingeniería Concurrente. El Project Manager es el que coordina todos los especialistas de los diferentes departamentos (por ejemplo, diseñadores, constructores, etc.) para crear un entorno de trabajo en equipo multiorganizacional eficaz. En otras palabras, el Project Manager es el vínculo entre las diversas áreas de trabajo y debe tener gran interés por todas ellas para conocer sus necesidades [4]. Así, se asegura de que existe una conexión y un intercambio constante de la información del proyecto entre ellas [5].

EL PRINCIPAL PROCEDIMIENTO DE INGENIERÍA CONCURRENTE DEL EDIFICIO

La Ingeniería de Construcción Concurrente sustituye el flujo tradicional de secuencia de las actividades por una paralelización de las tareas. Se puede acortar el tiempo de entrega mediante el solapamiento de actividades que por lo general transcurren de forma secuencial [6]. Este proceso tendrá éxito si se aplica desde el principio de todo el ciclo de vida del edificio. Es decir, desde la fase de diseño hasta el momento de entrega del producto terminado. Sin embargo, la interacción entre actividades conlleva algunos riesgos. Estos riesgos se pueden manifestar en la reanudación y repetición de algunas tareas, y entonces se convierten en un alargamiento del tiempo en lugar de un acortamiento. La interacción entre una tarea anterior y otra posterior depende de cómo se desarrolla la información en la primera, y cuánto se ve afectada la segunda. Si la primera tarea se desarrolla lentamente y la segunda es muy sensible a los cambios, puede aparecer la superposición de ambas y causar problemas. En este caso, un modelo de simulación por ordenador puede ayudar a modelar el solapamiento de actividades y encontrar las estrategias adecuadas para evitar realizar un trabajo de nuevo. Además, conociendo la cantidad de sensibilidad de una actividad de construcción, el riesgo de solapamiento queda limitado.

Después de algunas entrevistas realizadas, los factores que definen la sensibilidad de una tarea se explican en el artículo de Nicolas A. Blacud [7]. SM Bogus explica también otro método para determinar tanto la evolución como la sensibilidad de las actividades de diseño, con el fin de reducir el tiempo de ejecución de proyectos [8].

HERRAMIENTAS PARA LA INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN CONCURRENTE

Hoy en día, hay una variedad de herramientas que permiten la creación de un entorno de Ingeniería Concurrente en el proceso de la construcción [9]. Se trata de programas informáticos y tecnológicos basados en el intercambio de la información, como Internet, softwares o teléfonos móviles, entre otros. Es posible conocer los beneficios cuantitativos y cualitativos que estas herramientas aportan a la Ingeniería Concurrente en la construcción de edificios usando las que están disponibles por los servicios proveedores.

BIM, Building Information Modeling, es un método innovador que se está difundiendo por todo el mundo debido a su impacto positivo. Facilita la comunicación entre la arquitectura, la ingeniería, la construcción y el sector de la gestión, garantizando un intercambio rápido, así como una información constantemente actualizada entre los diferentes grupos de trabajo que participan en el proyecto.

BIM se utiliza para la toma de decisiones en el diseño, la creación de documentos de construcción de alta calidad, la predicción del rendimiento, estimación de costos y planificación de la construcción. Genera una base de datos del edificio durante todo su ciclo de vida en tiempo real usando un software de diseño 3D.

A pesar de esto, el éxito de BIM viene de la "información en la nube". La potencia de procesamiento y almacenamiento masivo de datos en servidores que alojan la información en Internet, permite a los usuarios acceder a una gama de servicios más rápida y eficiente a través de la red.

La metodología BIM se utiliza con mayor frecuencia en las primeras etapas del proceso de construcción que en las últimas, como se puede comprobar a través de las respuestas de algunos usuarios. Además, hay una "falta de experiencia dentro del equipo del proyecto" y una "falta de conocimientos dentro de las organizaciones", que indica que la adopción de BIM se encuentra todavía en una etapa temprana y en desarrollo [10].

Algunas técnicas para llevar a cabo concurrentemente la gestión del proyecto de la edificación son las siguientes: PERT (Program Evaluation and Review Technique), GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) y CPM (Critical Path Method). Todas ellas se complementan entre sí y sirven para analizar las tareas involucradas en la realización de un proyecto dado, especialmente el tiempo necesario para completar cada tarea. El esquema en diagrama GERT es para un cálculo probabilístico de la duración del proyecto, mientras que PERT y CPM se utilizan cuando los tiempos de actividad son conocidos y ciertos [11].

Otra herramienta apta para controlar el flujo de información entre las actividades es el DSM (Dependency Structure Matrix). Se organiza de una manera representativa y analiza las tareas para alcanzar una ejecución concurrente. Esta metodología se puede utilizar ampliamente si se disminuyen los esfuerzos de estimación [12].

Teniendo en cuenta todos los conceptos de ingeniería concurrente, los conceptos de diseño axiomático (para evaluar varias metodologías de trabajo con la transformación de las necesidades del cliente en requisitos funcionales, los parámetros de diseño y las variables

de proceso), la técnica de modelado dinámico de sistemas (para identificar los factores críticos del sistema y simular el modelo en diversas situaciones, aumentando así considerablemente la posibilidad de éxito) y la técnica gráfica GERT ; los problemas imprevistos y los cambios pueden ser absorbidos en el plan del proyecto sin causar retrasos [13].

EJEMPLOS DE INGENIERÍA CONCURRENTE EN LA EDIFICACIÓN

La Ingeniería Concurrente aplicada a las grandes construcciones tiene efectos más visibles que en las construcciones pequeñas, debido al número de tareas y las dificultades que aparecen a lo largo de todas las etapas del proceso. Hay un ejemplo de rehabilitación de pavimentos de paseos urbanos de California, donde el método simultáneo fue más eficiente y productivo que el secuencial [14].

Existe también otro caso de estudio más complejo, que implica la construcción simultánea de tres proyectos idénticos. En este caso, el grado de centralización y distribución de la información queda perfectamente demostrado [15].

De la misma manera, el artículo de Akula describe otro proyecto enrevesado. Como es, reforzar las estructuras de hormigón perforándolas sin dañar las armaduras internas de refuerzo. La solución se obtiene con tecnologías de imagen tipo 3D y BIM [16].

De todos modos, también hay casos reales de construcción de menor escala que demuestran el potencial de esta metodología. Por ejemplo, un jardín de infantes para el Ministerio de Educación de Brasil fue diseñado utilizando la ingeniería concurrente y principios de gestión "lean" llamados Proyecto Célula. En estos momentos la CE no está siendo utilizada tan sólo por el sector público, sino que también se aplica en los proyectos de diversa complejidad del sector privado. En la construcción de una casa familiar sencilla, la ingeniería concurrente ofrece una entrega rápida y una mayor certeza de los precios para los clientes.

Además, datos empíricos de encuestas previamente obtenidos a este trabajo, confirman también la efectividad de este estilo de trabajo y cuánto aumenta el éxito del proyecto. Y lo que es más, el Conocimiento de la Gestión de Proyecto por parte de todos los Profesionales de la Construcción, es decir, conocer las técnicas, herramientas y habilidades mejoran el resultado del proyecto [17].

CONCLUSIONES

La Ingeniería Concurrente supone mejoras en el proceso de desarrollo de productos, en este caso, el edificio. Tiene el potencial de conseguir proyectos de construcción menos fragmentados, mejorar la calidad de los proyectos, reducir la duración de los proyectos y su coste total. Su validez se puede comprobar mediante algunas construcciones reales que han sido nombrados anteriormente.

CE es una filosofía implementada por varias metodologías. El logro de un "producto concurrente e integrado " requiere una variedad de facilitadores que incluyen herramientas (aplicaciones de software en 3D), técnicas como BIM o diagramas gráficos, tecnologías y estructuras de apoyo.

Hoy en día, la Ingeniería Concurrente en la Edificación sigue creciendo. Es un método relativamente nuevo. Las empresas multinacionales son los grandes usuarios. Sin embargo, la mayoría de las empresas medianas o pequeñas todavía no han puesto en marcha el desarrollo de esta metodología. Solamente algunas de ellas han involucrado algunos de sus departamentos.

La Ingeniería Concurrente probablemente se establecerá en todos los niveles del sector de la construcción en los próximos años, debido a los exitosos resultados que se están obteniendo. Ellos muestran lo mucho que este estilo de trabajo puede beneficiar a cualquier empresa.

REFERENCIAS

1. Aquere, A.L., J. Dinis-Carvalho, and R.M. Lima, "Project Cell: Cellular Organization of the Building Design Process". *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 2013. **139**(5): p. 538-546.
2. Tang, P., A. Mukherjee, and N. Under, "Using an interactive schedule simulation platform to assess and improve contingency management strategies". *Automation in Construction*, 2013. **35**: p. 551-560.
3. Brodetskaia, I., R. Sacks, and A. Shapira, "Stabilizing Production Flow of Interior and Finishing Works with Reentrant Flow in Building Construction". *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 2013. **139**(6): p. 665-674.
4. Rwelamila, P.D., "Group-dynamics and construction project manager". *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 1994. **120**(1): p. 3-10.
5. Dulaimi, M.F. and D. Langford, "Job behavior of construction project managers: Determinants and assessment". *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 1999. **125**(4): p. 256-264.
6. Bogus, S.M., et al., "Simulation of Overlapping Design Activities in Concurrent Engineering". *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 2011. **137**(11): p. 950-957.
7. Blacud, N.A., et al., "Sensitivity of Construction Activities under Design Uncertainty". *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 2009. **135**(3): p. 199-206.
8. Bogus, S.M., K.R. Molenaar, and J.E. Diekmann, "Concurrent engineering approach to reducing design delivery time". *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 2005. **131**(11): p. 1179-1185.
9. Karlsson, M., et al., "Best practices for integrating the concurrent engineering environment into multipartner project management". *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 2008. **134**(4): p. 289-299.
10. Eadie, R., et al., "BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis". *Automation in Construction*, 2013. **36**: p. 145-151.
11. Hall, N.G., "Project management: Recent developments and research opportunities". *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 2012. **21**(2): p. 129-143.
12. Maheswari, J.U., K. Varghese, and T. Sridharan, "Application of dependency structure matrix for activity sequencing in concurrent engineering projects". *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 2006. **132**(5): p. 482-490.
13. Pena-Mora, F. and M. Li, "Dynamic planning and control methodology for design/build fast-track construction projects". *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 2001. **127**(1): p. 1-17.
14. Lee, E.B., et al., *Construction productivity and constraints for concrete pavement rehabilitation in urban corridors*, in *Construction 2000: Materials and Construction*. 2000. p. 13-22.

15. Nkasu, M.M. and K.H. Leung, "A resources scheduling decision support system for concurrent project management". *International Journal of Production Research*, 1997. **35**(11): p. 3107-3132.
16. Akula, M., et al., "Real-time drill monitoring and control using building information models augmented with 3D imaging data". *Automation in Construction*, 2013. **36**: p. 1-15.
17. Chou, J.-S., N. Irawan, and P. Anh-Duc, "Project Management Knowledge of Construction Professionals: Cross-Country Study of Effects on Project Success". *Journal of Construction Engineering and Management*, 2013. **139**(11).