

Recepción: 12 de abril de 2014

Aceptación: 13 de mayo de 2014

Publicación: 29 de mayo de 2014

# APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA INGENIERÍA CONCURRENTE

## INDUSTRIAL APPLICATIONS OF CONCURRENT ENGINEERING

David Juárez Varón<sup>1</sup>

Carlos Guerrero Martínez<sup>2</sup>

Elena Torres Roca<sup>3</sup>

Victoria Sanz Buades<sup>4</sup>

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

## RESUMEN

La ingeniería concurrente exige que todos los actores involucrados en el proyecto se participen desde el comienzo de las primeras fases.

El principal objetivo es conseguir el producto correcto en el tiempo estimado y con costes reducidos. Es importante el dominio del problema en el contexto de un producto complejo, diseñado y fabricado en una empresa y trabajando en un mercado altamente competitivo.

En este artículo se analiza la evolución de la ingeniería concurrente y su aplicación a varios sectores industriales: aeronáutico, automoción y naval, que por complejidad y competencia requieren de herramientas y enfoques que permitan una optimización en el diseño y desarrollo de sus productos.

## ABSTRACT

Concurrent engineering requires that all stakeholders participate in the project since the beginning of the first phase.

The main objective is to get the right product at the estimated time and with reduced costs. It is important to domain the problem in the context of a complex product, designed and manufactured in a company and working in a highly competitive market.

This article describes the evolution of concurrent engineering and its application in different industrial sectors is analyzed: aeronautics, automotive and naval, due to their competence and complexity, which require tools and approaches to optimization in design and product development.

## PALABRAS CLAVE

Ingeniería, concurrente, industria, producto, proceso.

## KEY WORDS

Engineering, concurrent, industry, product, process.

## INTRODUCCIÓN

La ingeniería concurrente se puede definir como un enfoque sistemático para el diseño simultáneo integrado de un producto y los procesos relacionados, incluyendo la fabricación y las otras funciones de apoyo [1].

La ingeniería concurrente exige que los productos, procesos, instalaciones, servicio al cliente, mantenimiento, y los vendedores se involucren con el proyecto en las primeras fases.

Los conceptos fundamentales de la ingeniería concurrente han estado evolucionando con los años y asienta sus bases en la gestión de proyectos. El principal objetivo es conseguir el producto correcto en el tiempo estimado, con costes reducidos mediante el aporte de la información correcta, el personal, los materiales y equipos de las fuentes más apropiadas, a quien y dónde se necesite.

Definir y acordar los requisitos del producto es especialmente importante cuando el diseño y fabricación de un sistema es parte de la empresa [2]. Para llevar a cabo un proceso de ingeniería simultánea completo, se necesitan herramientas para las actividades de diseño. En la práctica, a menudo es difícil para las empresas contar con un entendimiento común de lo que hay que desarrollar, y así las especificaciones contienen ambigüedades en la descripción de los requisitos del producto.

Es clave el dominio del problema en el contexto de un producto complejo, diseñado y fabricado en una empresa y trabajando en un mercado altamente competitivo.

## DESARROLLO

Hasta finales de 1970, la simplicidad de los proyectos hacía posible que la información del proyecto se pudiese dividir en unos pocos operadores y el intercambio de la información fuese sencillo. Al aumentar la complejidad de los proyectos se dividió el trabajo en pequeños grupos de trabajos, lo que dio lugar a la falta de comunicación y a un peor resultado [3, 4].

El nuevo método de dividir los campos de trabajo no funcionaba y se necesitaba un nuevo enfoque para optimizar el proceso. Con la ayuda del “análisis de sistemas” y el concepto de “ciclo de vida”, junto con los principios de gestión de proyectos y la disciplina, se comenzó a incorporar mejoras para el problema del ciclo de desarrollo del producto / proceso [5-7].

Una vez que el proyecto se trata como un sistema, con elementos y actividades previamente definidas, la siguiente mejora significativa de gestión de proyectos es el reconocimiento de que el proyecto debe ser administrado por un “equipo de proyecto” que representa a todos los participantes elemento / organización significativos identificados por el enfoque de sistema. Estas son las personas que dirigen la planificación detallada, organización y control del proyecto [7].[8]

La documentación hasta ahora conocida sobre la ingeniería concurrente ha sido recogida y documentada recientemente por el Instituto de Análisis de Defensa (IDA) [14], presentando a continuación los campos generales que abarca la ingeniería concurrente:

1. La dependencia de los equipos multifuncionales para integrar los diseños de un producto y sus procesos de fabricación y de apoyo;
2. El uso de diseño asistido por ordenador, la ingeniería y los métodos de fabricación (CAD / CAE / CAM) para apoyar la integración de diseño a través de productos y modelos de procesos y bases de datos;
3. El uso de una variedad de métodos de análisis para optimizar el diseño de un producto y sus procesos de fabricación y de apoyo.

## APLICACIÓN AL SECTOR AERONÁUTICO

Un primer ejemplo de proceso de transformación hacia el desarrollo de productos en una industria aeroespacial sería el que se detalla a continuación: Esta transformación se logró en dos etapas principales: la primera fue la de integrar los principios de la ingeniería concurrente a un modelo de desarrollo de productos existente de una compañía aeroespacial. Esta etapa incluía definir actividades y sus herramientas asociadas.

La segunda etapa consistió en aplicar el modelo desarrollado en un caso de estudio basado en la investigación industrial: un motor de helicóptero.

Los tres principales resultados se detallan a continuación:

En primer lugar, se presenta un caso industrial de transformación ajustada en el desarrollo de productos, donde el ajuste de un modelo existente se ha mejorado mediante la incorporación de los principios de ingeniería concurrentes basada en conjuntos. En segundo lugar, el modelo desarrollado se estructura en un conjunto de actividades bien definidas y herramientas asociadas que anteriormente estaban dispersos o redundantes. Por último, el modelo desarrollado se probó en un proyecto industrial de un motor de helicóptero, probado para evaluar su valor en la mejora del nivel de innovación y la reducción de riesgos.

El trabajo se centró en etapas tempranas del diseño a nivel de sistema [9], y el trabajo futuro se extenderá hacia la aplicación de la ingeniería concurrente basada en conjuntos a niveles de subsistemas y componentes.

Un segundo ejemplo sería el basado en un marco para el desarrollo integrado de productos espaciales. El marco es llamado "marco de visión total" [10], ya que proporciona el conjunto total de productos, procesos y organización de elementos y sus interacciones desde el comienzo del proceso de desarrollo. Utiliza la ingeniería de sistemas (IS) y la ingeniería concurrente (IC) de una manera integrada, como parte del mismo marco. El marco extiende la aplicación del proceso de ingeniería de sistemas para los procesos del ciclo de vida y sus organizaciones responsables y aplica ingeniería concurrente en todos los niveles de la estructura jerárquica de productos. El "marco de visión total" es apoyado por un método, denominado «método de análisis estructurado concurrente», que consta de los tres procesos de análisis: análisis de requisitos, análisis funcional y análisis físico. Estos procesos reflejan la mayor parte del proceso de ingeniería de sistemas y se aplican simultáneamente al producto, al proceso y a las organizaciones. Las salidas del método son los requisitos, los atributos funcionales, atributos físicos y las interacciones entre todos ellos.

El tercer ejemplo estaría basado en la ESA (European Space Agency), que realiza estudios de evaluación de pre-Phase-A como parte de la definición de las futuras misiones espaciales [11]. Para evaluar los beneficios del enfoque de "ingeniería simultánea" a estos estudios, se ha creado un centro de diseño experimental en ESA/ESTEC y se utiliza para realizar una evaluación de la misión de la Agencia Espacial Italiana CESAR (Central European Satellite for

Advance Research), planteando un nuevo enfoque de la evaluación y el diseño de misiones espaciales.

## APLICACIÓN AL SECTOR DE AUTOMOCIÓN

La importancia y los beneficios de la ingeniería concurrente en la industria del automóvil son destacables. Trabajan principalmente el estudio en las áreas de herramientas de ingeniería concurrente, especialmente las herramientas de tecnologías de la información, tales como los sistemas de análisis de elementos finitos, diseño asistido por ordenador y sistemas expertos. El uso de técnicas de ingeniería concurrente se aplica principalmente en el desarrollo de un motor de automoción y la transmisión, el chasis y el cuerpo [12].

En el pasado, los procesos principales en la introducción de un nuevo vehículo en el mercado eran desarrollados por grandes fabricantes, o fabricantes de equipamiento original (OEMs: Original Equipment Manufacturers), y principalmente el trabajo de investigación de ingeniería concurrente (IC) estaba basado en publicaciones relevantes a estos fabricantes. Hoy la situación se ha cambiado por todo el mundo. Las empresas grandes externalizan gran cantidad de trabajo de ingeniería a proveedores. Esta externalización está justificada por gastos inferiores y calidad más alta, y al mismo tiempo, cada empresa puede usar sus recursos en las áreas donde tienen la experiencia técnica.

Las acciones de recursos humanos, de la organización y tecnológicas mejoran la calidad en el desarrollo de producto mediante la mejora de la comunicación y cooperación entre los actores. Aunque la importancia de la política de recursos humanos está reconocida, la puesta en práctica no es elevada [13].

Sin embargo, la mayor parte de proveedores todavía están en el movimiento de “construye y rompe” [14]. El coste de introducir una nueva disciplina como la ingeniería concurrente, y adoptar nuevas tecnologías como la ingeniería asistida por ordenador (CAE) es sustancial, ya que este coste se añade a los gastos de explotación y es sólo justificable si esto permite el desarrollo de productos de más alta calidad en menos tiempo y con menos la gente.

Muchas empresas buscan un proceso de diseño que produce un producto de alta calidad rápidamente y de manera eficiente. Sin embargo es interesante analizar el diseño de producto de la Corporación de Motor de Toyota [15] y su sistema de desarrollo. Los principios de ingeniería concurrente o simultánea aplicada al conjunto (SBCE) de Toyota conducen a sistemas de desarrollo de producto sumamente eficaces. Existen tres amplios principios que dirigen la toma de decisiones de la Toyota en el diseño, cada uno con tres accesos diferentes a la realización del principio. Principio 1: Trace un mapa del Espacio de Diseño - defina regiones factibles, explore trade-offs (objetivos sacrificados en pro de conseguir otros) diseñando múltiples alternativas, y comunique las posibilidades; Principio 2: Integre por Intersección - busque las intersecciones de juegos factibles, imponga las mínimas restricciones, y busque la robustez conceptual; Principio 3: Establezca la Viabilidad antes del Compromiso - juegos estrechos gradualmente aumentando el detalle, la permanencia dentro de juegos una vez comprometidos, y el control por la incertidumbre directiva en puertas del proceso.

Otro ejemplo de aplicación de la ingeniería concurrente es el acontecido en la mayor empresa de automoción de Estados Unidos. Los cambios de organización y tecnológicos tuvieron que poner en práctica la ingeniería concurrente. El deseo de reducir el tiempo de

desarrollo de producto era el factor conductor en una estrategia diseñada para aumentar ventas y cuota de mercado [16]. La empresa fue exitosa en la reducción del tiempo lanzamiento al mercado (“time to market”) que se acortó sobre un año en su primer vehículo recién diseñado, principalmente por el empleo de focalización en producto, equipos de plataforma focalizados, que permitieron una temprana integración del personal de fabricación en el desarrollo del proceso y del producto. Aunque la tecnología jugó un papel importante en esta transformación, los cambios organizacionales y de recursos humanos fueron los mayores facilitadores.



## APLICACIÓN AL SECTOR NAVAL

La construcción naval es un mercado en crecimiento con competencia global y márgenes de beneficio estrechos. La ingeniería concurrente no prevalece actualmente dentro de la industria de construcción de barcos y, sin embargo es una técnica que ha logrado mucho éxito en otras industrias. Se ha desarrollado una metodología para ayudar al diseño en la industria de construcción de barcos de ocio. Este entorno utiliza ingeniería colaborativa y comunicación automatizada para facilitar el paso de la comunicación directa entre todos los miembros del equipo de diseño. La importancia dentro de la construcción de barcos de un entorno de ingeniería concurrente se centra en los subsistemas de carácter estructural y de producción en un intento de mejorar el diseño para la producción [17].

Un ejemplo de aplicación es el diseño de la embarcación y piezas de soporte, así como el proceso de fabricación [18]. Se propuso una solución de ingeniería concurrente para el diseño y desarrollo de una aleación de acero fundido bajo en carbono de alta resistencia aplicable a la estructura. El límite de elasticidad y la resistencia a la tracción del acero diseñado eran los 480 y 600 MPa, respectivamente. El diseño estructural óptimo de los soportes para estructuras marítimas se evaluó utilizando el software comercial ANSYS. Se verificó la posibilidad de sustituir un conjunto de soportes convencionales por un único soporte. El proceso de fundición fue simulado utilizando el software comercial MAGMASOFT, y se diseñó un proceso de fabricación de fundición para el soporte propuesto. Con ello, fue posible reducir el tamaño y el peso en aproximadamente un 30 % y 50 % , respectivamente, en comparación con el tipo convencional de soporte.

## CONCLUSIONES

La ingeniería concurrente exige que todos los actores involucrados en el proyecto se participen desde el comienzo de las primeras fases.

El principal objetivo es conseguir el producto correcto en el tiempo estimado y con costes reducidos. Es importante el dominio del problema en el contexto de un producto complejo, diseñado y fabricado en una empresa y trabajando en un mercado altamente competitivo.

Definir y acordar los requisitos del producto es especialmente importante cuando el diseño y fabricación de un sistema es parte de la empresa como los sectores industriales aeronáutico, automoción y naval, que por complejidad y competencia requieren de herramientas y enfoques que permitan una optimización en el diseño y desarrollo de sus productos.

Es difícil para las empresas contar con un entendimiento común de lo que hay que desarrollar, y así las especificaciones contienen ambigüedades en la descripción de los requisitos del producto.

Es clave el dominio del problema en el contexto de un producto complejo, diseñado y fabricado en una empresa y trabajando en un mercado altamente competitivo.

## REFERENCIAS

1. L. Ken Keys, R.R., and Kumar Balakrishnan, *IEEE transactions on components, hybrids, and manufacturing technology*, 1992. **15**(3).
2. Kerr, C.I.V., R. Roy, and P.J. Sackett, "Requirements management: an enabler for concurrent engineering in the automotive industry". *International Journal of Production Research*, 2006. **44**(9): p. 1703-1717.
3. Raudberget, D., "Practical Applications of Set-Based Concurrent Engineering in Industry". *Strojniski Vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 2010. **56**(11): p. 685-695.
4. Pullan, T.T., M. Bhasi, and G. Madhu, "Application of concurrent engineering in manufacturing industry". *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2010. **23**(5): p. 425-440.
5. Bhuiyan, N., V. Thomson, and D. Gerwin, "Implementing concurrent engineering". *Research-Technology Management*, 2006. **49**(1): p. 38-43.
6. Kopac, J., "Concurrent engineering in theory and practice". *Strojniski Vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 2003. **49**(12): p. 566-574.
7. Starbek, M. and J. Grum, "Concurrent engineering in small companies". *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2002. **42**(3): p. 417-426.
8. Anumba, C.J., C. Baugh, and M.M.A. Khalfan, "Organisational structures to support concurrent engineering in construction". *Industrial Management & Data Systems*, 2002. **102**(5-6): p. 260-270.
9. Al-Ashaab, A., et al., "The transformation of product development process into lean environment using set-based concurrent engineering: A case study from an aerospace industry". *Concurrent Engineering-Research and Applications*, 2013. **21**(4): p. 268-285.
10. Loureiro, G. and P.G. Leaney, "A systems and concurrent engineering framework for the integrated development of space products". *Acta Astronautica*, 2003. **53**(12): p. 945-961.
11. Bandecchi, M., B. Melton, and F. Ongaro, "Concurrent engineering applied to space mission assessment and design". *Esa Bulletin-European Space Agency*, 1999(99): p. 34-40.
12. Sapuan, S.M., M.R. Osman, and Y. Nukman, "State of the art of the concurrent engineering technique in the automotive industry". *Journal of Engineering Design*, 2006. **17**(2): p. 143-157.
13. Calabrese, G., "Human resources in concurrent engineering: the case of Fiat Auto". *New Technology Work and Employment*, 1999. **14**(2): p. 100-112.
14. Gao, J.X., B.M. Manson, and P. Kyratsis, "Implementation of concurrent engineering in the suppliers to the automotive industry". *Journal of Materials Processing Technology*, 2000. **107**(1-3): p. 201-208.
15. Sobek, D.K., A.C. Ward, and J.K. Liker, "Toyota's principles of set-based concurrent engineering". *Sloan Management Review*, 1999. **40**(2): p. 67-+.

16. Haddad, C.J., "Operationalizing the concept of concurrent engineering: A case study from the US auto industry". *Ieee Transactions on Engineering Management*, 1996. **43**(2): p. 124-132.
17. Sobey, A.J., J.I.R. Blake, and R.A. "Shenoi, Implementation of a generic concurrent engineering environment framework for boatbuilding". *Journal of Marine Science and Technology*, 2013. **18**(2): p. 262-274.
18. Kim, T.-W., et al., "Concurrent engineering solution for the design of ship and offshore bracket parts and fabrication process". *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 2013. **5**(3): p. 376-391.