

La Ingeniería Concurrente en la Industria Aeroespacial. Nuevas Necesidades de Flexibilidad e Integración en los Sistemas de Planificación y Control de Producción.

Miguel GUTIÉRREZ¹, Mercedes GRIJALVO², Bernardo PRIDA³

¹Ingeniero Industrial, mgfernan@ing.uc3m.es

²Ingeniero Industrial, mggrijalv@ing.uc3m.es

³Dr. Ingeniero Industrial, bprida@ing.uc3m.es

Área de Ingeniería de Organización. Universidad Carlos III de Madrid
Escuela Politécnica Superior. Avenida de la Universidad, 30. 28911 Leganés (Madrid)

RESUMEN

Las presiones de los clientes por ver reducidos los plazos de entrega afecta en la actualidad prácticamente a todos los sectores productivos y la industria aeroespacial no es una excepción.

A pesar de la tendencia a acortarse los ciclos de desarrollo de los productos, algunas industrias tienen aún la posibilidad de diferenciar claramente la fase de prototipado de la de producción, antes de comenzar su producción en serie. En cambio, en la industria aeroespacial, las series son mínimas, cuando no unitarias y la presión por reducir los plazos de entrega, ha acentuado la necesidad de acometer gran parte de las labores productivas con un alto grado de incertidumbre de diseño.

El análisis de esta situación en la industria aeroespacial puede servir para detectar rigideces en los actuales sistemas de planificación y control de producción más orientados a resolver problemas de gestión de sistemas productivos estáticos, que a tratar con sistemas que cambian dinámicamente a lo largo del periodo de desarrollo del producto, como ocurre en la gran mayoría de las aplicaciones de ingeniería concurrente.

1. Introducción.

Según la definición ampliamente extendida del Institute for Defense Analysis, la ingeniería concurrente (Concurrent Engineering (CE)) es un enfoque sistemático para el diseño integrado de los productos con sus procesos relacionados, considerando todos los elementos del ciclo de vida del producto, desde la definición del concepto hasta la retirada y disposición del producto para su eliminación y, por tanto, incluyendo actividades como la programación de costes, el control de calidad y la gestión de requerimientos del usuario [1].

Sin embargo, quizá debido a que las primeras fases de desarrollo del producto son particularmente determinantes en relación con su calidad, su manufacturabilidad y los costes de su ciclo de vida, gran parte de los esfuerzos de investigación en ingeniería concurrente se han centrado en analizar el sistema desde la perspectiva de las actividades de diseño [2]. En particular, destaca la filosofía “front-end design analysis”, que ha dominado el tipo de herramientas y enfoques desarrollados bajo el epígrafe de ingeniería concurrente [3]. Esta aproximación intenta establecer sistemas de información adecuados para lograr, analizando su impacto, que las decisiones durante la etapa de “cemento fluido”, es decir, antes de que el diseño sea establecido en firme, se tomen bajo una perspectiva lo más completa posible del ciclo de vida del producto [4].

La aplicación de estas técnicas y la organización de equipos constituidos por personas de diferentes especialidades [5] y ámbitos de distintas etapas del ciclo de vida del producto durante su desarrollo, pueden acortar éste de forma significativa y mejorar los diseños haciéndolos más robustos desde distintas perspectivas [6]. Cada vez en más sectores, esta circunstancia se está convirtiendo en un factor clave de diferenciación dentro de su estrategia competitiva para mantener y ganar clientes.

La industria aeroespacial, ha de hacer frente a la realización de un fuerte esfuerzo inicial en el diseño de productos de alta complejidad técnica y gran variedad, para acometer una fabricación diseñada específicamente para realizar series muy cortas, cuando no unitarias. Se trata de una fabricación hecha a medida por especialistas, buena parte de los cuales se subcontratan.

El incremento de la competencia en el sector ha supuesto en los últimos años que a la presión habitual por reducir costes, se esté comenzando a notar nuevas presiones para reducir o cuando menos cumplir los plazos ofertados de la manera más ajustada posible y sin renunciar por ello a la obtención de un producto de alta calidad y ajustado a unas necesidades del cliente, que frecuentemente cambian a lo largo del proceso de diseño y producción. Como consecuencia de esta situación, muchas de las empresas del sector han comenzado a integrar fuertemente las actividades de diseño con las de fabricación, y por tanto a aplicar conceptos de ingeniería concurrente de una forma natural.

En la industria aeroespacial, como en otros entornos donde se ha aplicado ingeniería concurrente, se han desarrollado gran cantidad de esfuerzos en la consecución de una tecnología que permita compartir información entre los sistemas de gestión de datos de producto (Product Data Management, PDM) y los sistemas de información empresarial, ERP (Enterprise Resource Planing) [7], y en lograr una interconexión eficiente de ambos sistemas [8]. Sin embargo, los desarrollos para lograr una tecnología de planificación que facilite la integración de las etapas de diseño del producto con las operaciones de fabricación son mucho más escasos y aún no está disponible comercialmente una solución satisfactoria para este tema [9]. Además, las empresas que han de enfrentarse a este tipo de problemas se encuentran con que la mayoría de las tareas de planificación no pueden ser convertidas en programas de ejecución de forma automática, puesto que, a pesar de los esfuerzos del diseño por tener en cuenta distintos aspectos relacionados con la calidad, la gestión logística, etc., los planes necesitan constantemente ser adaptados en el contexto operacional [10] y el grado de detalle del contexto operacional difiere mucho del de planificación.

En este ámbito, los sistemas de planificación deberían ser lo suficientemente flexibles para poder adaptarse a un amplio rango de contextos operacionales, tanto de diseño como de producción, y proporcionar planes que sean fácilmente comprensibles y modificables por los diferentes tipos de usuarios que han de participar en las distintas etapas del producto a lo largo de su ciclo de vida, sin que a lo largo del proceso se pierda la visión global que necesita cualquier proyecto que ha de entregarse a un cliente en un determinado plazo y con los condicionantes presupuestarios correspondientes.

Con esta situación como punto de partida, en el siguiente apartado se presenta una caracterización de la industria aeroespacial, destacando los aspectos más relevantes desde la perspectiva del sistema de planificación y control de la producción, para proponer a continuación un modelo conceptual de dicho sistema en el marco de la ingeniería concurrente.

Finalmente se exponen las conclusiones fundamentales del trabajo, haciendo hincapié en el carácter genérico de la propuesta y su posible aplicación a otras industrias afines, aunque tengan un mayor grado de seriación.

2. Contexto y características que condicionan la producción en la industria aeroespacial.

Para analizar el modelo a emplear, es preciso comenzar por establecer las características fundamentales de este ambiente de fabricación, que puede asimilarse dentro del grupo de sistemas productivos “engineer-to-order” (ETO). Los entornos ETO difieren sustancialmente de aquellos bajo los cuales típicamente se han concebido los sistemas MRP-II, y de ahí la dificultad en la adecuación a las características especiales de este entorno de los sistemas ERP comerciales [11].

La problemática del sistema de planificación y control de la industria aeroespacial puede caracterizarse brevemente a través de los siguientes puntos:

- El proceso de planificación comienza con una fase de presupuestación y oferta del producto que es clave para conseguir cada pedido y que consume una gran cantidad de recursos técnicos, especialmente si la tasa de éxito en la consecución de contratos es baja. En esta situación, la demanda es difícilmente previsible y tiene grandes fluctuaciones, pues cada pedido constituye un proyecto de gran magnitud y su adjudicación tiene gran impacto en la carga futura del taller.
- Los materiales son específicos para cada pedido por lo que no es habitual mantener una política de aprovisionamiento estable en la mayor parte de los materiales, aunque suele ser frecuente la existencia de materiales de uso común, e incluso puede ser posible aprovechar material sobrante de otros proyectos.
- Además de la ingeniería de diseño, existen fases lógicas de ingeniería de producción, previas a la fabricación, en las que se desarrollan planos, listas de material (Bill Of Materials (BOM)), rutas de proceso, diagramas de montaje, y que condicionan fuertemente tanto la estructura del sistema de producción como el plazo del proyecto, por lo cual deben ser planificadas y coordinadas conjuntamente.
- La estructura de detalle, tanto del producto como del proceso (BOM, rutas, operaciones, diagramas de montaje, documentación de calidad, etc..), se va desarrollando en paralelo a algunas de las tareas logísticas de tipo físico, ya que los plazos exigidos por los clientes y la incertidumbre de capacidad futura disponible no suelen permitir realizar de forma secuencial las tareas lógicas y posteriormente las tareas físicas, siendo frecuente la necesidad de afrontarlas en paralelo.
- La subcontratación suele ser una de las actividades importantes pues puede permitir equilibrar la carga del taller, aunque puede estar sujeta a restricciones como la definición del subcontratista por el cliente.
- La gran complejidad técnica del producto y del proceso de fabricación, así como la naturaleza multiproyecto del sistema, implica que la estructura del producto y las rutas de producción estén sujetas a modificaciones frecuentes realizadas bien a petición del cliente, por reajustes de diseño, o bien porque la situación de congestión en una parte del taller aconseja variar la ruta e incluso la estructura de las operaciones de fabricación.

- Existe una correspondencia entre las órdenes de trabajo y los pedidos concretos del cliente, lo cual influye tanto en la planificación como en las prioridades de ejecución de las tareas tanto de diseño como de fabricación.

- Las duraciones reales de las operaciones de producción están sometidas a un alto nivel de incertidumbre, debido a que habitualmente no existe experiencia previa suficiente como para establecer previsiones exactas de las duraciones de las tareas y mucho menos de los tiempos de espera de las órdenes de fabricación (OF). Es decir, los “lead times” están sujetos a una alta variabilidad y son difíciles de estimar.

- El alto nivel de incertidumbre del sistema en cuanto a la capacidad futura del taller o de los proveedores y las tareas pendientes en cada proyecto, suele impulsar la política de “fabricar y aprovisionarse cuanto antes”, a pesar del impacto de esta política en el inventario inmovilizado de la empresa. La política de dejar recursos ociosos y ajustar la finalización de las órdenes de fabricación (OF) a las fechas de entrega suele ser rechazado ante el riesgo que tendría “no poder atender pedidos futuros con la rapidez necesaria”.

Una de las características fundamentales del sector aerospacial es la baja repetitividad de sus actividades y por eso es especialmente útil para el desarrollo de metodologías para entornos de ingeniería concurrente, puesto que no suelen existir fases lo suficientemente repetitivas como para que el diseño disminuya en importancia y, en cambio, el lanzamiento de nuevos productos es constante en la actividad de estas empresas. La extensión de este tipo de metodologías a entornos de fabricación mas “en serie” es inmediata, puesto que una vez depurado el diseño del producto y proceso, un ERP convencional podría ajustarse eficazmente a la planificación de las actividades de producción en serie.

3. Modelo conceptual para la planificación y control de un sistema enfocado a la ingeniería concurrente.

A diferencia de los sistemas convencionales, el sistema de planificación de la producción que se va configurando a lo largo del proceso de diseño y fabricación del producto en la industria aerospacial tiene unas características dinámicas, que hacen muy difícil, y en ocasiones imposible, su gestión sobre la base de los modelos establecidos que se adecúan a un tipo específico de producción (proyecto, serie, etc..). Sin embargo, no suelen estar dotados de la flexibilidad necesaria para gestionar un sistema de producción cuya naturaleza va cambiando conforme avanza el proceso de planificación y ejecución.

Por una parte, las fases de diseño y desarrollo del producto pueden planificarse en función de las actividades que es preciso realizar para llegar a fabricar el producto. No obstante, este tipo de sistemas de planificación, basado fundamentalmente en técnicas derivadas del PERT/CPM, se suelen mostrar poco eficientes para acometer la complejidad del detalle de un sistema transaccional que ha de alimentar a un sistema de control de producción.

Por otra parte, los actuales sistemas ERP están diseñados a partir de un sistema transaccional diseñado sobre un sistema operacional ya existente y orientado a lograr la fabricación de productos. En consecuencia, no es extraño que dicho sistema no funcione adecuadamente para gestionar ambientes del tipo “engineer-to-order” [11]. Adicionalmente, los sistemas ERP han dirigido fundamentalmente su atención a mejorar la eficiencia del sistema transaccional, y sólo recientemente han comenzado a plantearse ciertos esquemas de planificación a través de módulos específicos de planificación avanzada como el APO (Advanced Planner and

Optimizer) de SAP [12] entre otros. Sin embargo, este tipo de planificación se refiere a encontrar la mejor solución para dar respuesta a una extrapolación de previsiones de futuro, difícilmente aplicable a situaciones de alta variabilidad (derivada de la consecución de contratos de gran volumen), donde la naturaleza de la planificación es distinta puesto que se refiere a la propia definición del producto y el proceso.

Un modelo adecuado para funcionar adecuadamente en entornos de ingeniería concurrente debería por tanto:

- Tener distintos niveles de decisión para satisfacer las necesidades de planificación de cada etapa del ciclo de diseño y producción.
- Establecer niveles jerárquicos de acceso y grado de detalle adecuados a la gestión de cada una de las mencionadas etapas.
- Permitir que los datos se puedan compartir desde una única base de datos y para los distintos niveles de agregación.
- Ser flexible para incorporar nuevos desarrollos y modificaciones que permitan establecer un sistema de ayuda a la decisión adecuado (Decision Support System (DSS)) a cada nivel de planificación, amigable y fácil de utilizar [13].

Nuestra propuesta trata de establecer las bases conceptuales de un modelo que facilite que una organización encaminada a la aplicación de ingeniería concurrente pueda ser apoyada por un sistema flexible de planificación y control capaz de adecuarse a las necesidades de cada fase constitutiva del desarrollo y la fabricación de un producto o una serie más o menos amplia de ellos [14]. La propuesta consta de tres etapas, que se describen a continuación.

3.1. Primera etapa. Fase de desarrollo.

Esta fase de planificación ha de iniciarse con la elaboración de una propuesta de oferta y el correspondiente presupuesto. Un sistema de planificación tipo proyecto con una estructura de actividades agregada y con una estimación agregada de consumo de recursos puede servir de inicio a esta fase. La posibilidad de disponer de una estructura de planificación de proyectos del tipo multiproyecto con recursos limitados puede ser de gran utilidad para la presupuestación de plazos.

Una vez que el contrato de desarrollo y fabricación del producto es aceptado, cada actividad agregada habrá de definirse en actividades de detalle. Es importante destacar que el nivel de detalle no ha de ser igual en las actividades lógicas que en las actividades físicas, puesto que aunque las primeras condicionan fuertemente la duración del proyecto y, por tanto, su realización ha de ser controlada, no necesariamente han de ser descritas con el detalle necesario para ejecutarlas.

El caso de las actividades de producción probablemente es donde más claramente se manifiesta esta circunstancia puesto que no sólo es preciso conocer la secuencia lógica de operaciones y órdenes de fabricación que el taller ha de desarrollar, sino que es preciso hacer llegar al taller la documentación necesaria para fabricar y establecer cargas de trabajos compatibles con la capacidad de cada centro de trabajo en cada momento. Por eso para desarrollar el sistema de planificación y control de las actividades de producción es preciso abordar las dos etapas siguientes.

3.2. Segunda etapa. Conexión entre la fase de desarrollo y la de producción.

Esta fase es esencial poder conjugar dos necesidades de planificación y control de naturaleza diferente:

- a. Las necesidades de control del proyecto y presupuesto del mismo, cuyo desglose únicamente ha de estar sujeto a restricciones de precedencia y presupuestarias.
- b. Las necesidades de producción, que necesitan llegar hasta el detalle de operaciones y órdenes de fabricación con especificaciones concretas e instrucciones detalladas de trabajo, y siguiendo una estructura típica de una lista de materiales.

Para conjugar estos dos tipos de necesidades diferentes, se propone elaborar con la red de actividades del proyecto una estructura que tenga una correspondencia unívoca con otra red que constituya una estructura modular del producto. El objetivo es que esta última pueda ser desarrollada sin interferencia con la marcha de otras actividades del proyecto de ingeniería concurrente, y que pueda recoger la información correspondiente al diseño y realización de detalle de las actividades de producción.

La existencia de esta estructura de producto modular puede permitir la rápida incorporación de módulos estándar al sistema de ingeniería concurrente, además de servir de conexión con una estructura de fabricación clásica tipo MRP.

Por otra parte, se pueden obtener grandes ventajas desde el punto de vista del tiempo total del ciclo del producto, si se hace un esfuerzo inicial por establecer las estructuras agregadas de actividades de cada etapa, de acuerdo a un esquema modular basado en los mismos conjuntos constructivos. Así, por ejemplo tendríamos como actividades agregadas del diseño de un producto genérico: “Diseño del conjunto A”, “Diseño del conjunto B”, etc.; como actividades agregadas de ingeniería de producción “Proceso del conjunto A”, “Proceso del conjunto B”; e igualmente como actividades agregadas de la fabricación correspondiente: “Fabricación del conjunto A”, “Fabricación del conjunto B”, etc.

De esta manera, se minimizan las tareas precedentes de las actividades de cada etapa y se mejoran los tiempos totales de desarrollo. Se evita la circunstancia (frecuente por nuestra experiencia con la industria) de diseñar partes del producto que aun no se pueden fabricar porque están pendientes del diseño de otras partes o de la llegada de los acopios necesarios. Lógicamente, la realidad añade muchas más restricciones que las que aquí se presentan. Así, las actividades de diseño de las piezas guardan unas precedencias técnicas diferentes a las de sus homólogas de fabricación. Lo que aquí se apunta es la necesidad de reparar en una estructuración conjunta de las redes de actividades, para favorecer en la medida de lo posible su solapamiento.

3.3. Tercera etapa. Fabricación.

Esta última etapa ha de permitir el desarrollo de la estructura completa de fabricación, que pudiera ser utilizada posteriormente durante la etapa de producción en serie, y debería ser suficiente para generar las órdenes de fabricación con su correspondiente ruta de fabricación a través del taller.

La principal peculiaridad de esta fase consiste en que ha de ser capaz de producir “explosiones de necesidades” de materiales sin tener un desarrollo completo de la estructura del producto. La solución no es complicada, únicamente debería asociarse a cada módulo de

la estructura modular inicial una estimación de duración. En el momento en el que la subestructura de dicho módulo estuviese perfectamente desarrollada, debería ser sustituido el módulo por su estructura detallada y su duración más ajustada debería incorporarse de forma automática a la actividad del proyecto que se corresponde unívocamente con el módulo en cuestión.

4. Conclusiones.

Las ventajas competitivas de la Ingeniería Concurrente están siendo percibidas en un número creciente de sectores, pero esto no ha de ocultar las dificultades tanto técnicas como organizativas de su puesta en funcionamiento, derivadas del incremento de complejidad que supone acometer en paralelo actividades de distinta naturaleza.

Hasta la fecha se han hecho importantes esfuerzos para facilitar la transición entre las fases de diseño y producción, aumentando vía base de datos, la integración de los sistemas de información utilizados para realizar el diseño de productos y procesos y los sistemas ERP encargados de gestionar la fabricación. Sin embargo, la posibilidad de compartir y comunicar datos entre una fase y otra sin necesidad de manipulación manual, facilita su continuidad, pero no asegura una verdadera integración del proceso de diseño y producción.

La naturaleza de las actividades de planificación y control correspondientes a las actividades de diseño y producción, difiere sustancialmente, y su integración supone la creación de un sistema de planificación y control capaz de coordinar el avance de ambas fases y ser capaz a la vez de descender al detalle necesario para desarrollar adecuadamente cada etapa.

En esta comunicación se presenta un modelo conceptual de un sistema en dos fases, diseño y producción, adecuadas cada una de ellas a la gestión de cada etapa, y con una fase intermedia que ha de permitir la conexión entre ambas, además de un control adecuado de la realización de ambas fases y de la ejecución de su presupuesto, pero sin descender al detalle que necesita la ejecución de cada una de ellas.

Aunque el modelo presentado se centra en la industria aero-espacial, con la ya comentada especificidad en cuanto a la cuasi-unicidad de los productos, hay que notar que la propuesta tiene un grado de generalidad que permite pensar en su extensión a otras industrias en las que la ingeniería concurrente resulte de aplicación y que tengan un mayor grado de seriación en sus productos.

Referencias

- [1] Winner, R.I.; Pennell, J.P.; Bertrand, H.E.; Slusarczuk, M. M. G. (1988) "The Role of Concurrent Engineering in Weapons System Acquisition", IDA Report R-338, Institute for Defense Analyses, Alexandria, VA, USA.
- [2] Maropoulos, P.G.; Yao, Z.; Bradley, H.D.; Paramor, K.Y.G. (2000) "An Integrated Design and Planning Environment for Welding" *Journal of Materials Processing Technology*, vol.107, 1-3, pp. 3-8.
- [3] Sterling, J.C. (1996) "Use of Tools for Design Architecture/Software for a Corporate Concurrent Engineering Solution", <http://www.nissd.com/sdes/papers/tfd&ce.htm>. Pendiente de aparecer en *SCPD News* (2002).

- [4] Rogers, J.L. (1997) "Reducing Design Cycle Time and Cost Through Process Resequencing", En *Proceedings of the 11th International conference on Engineering Design (ICED 97)*, Tampere, Finlandia.
- [5] Smith, P.G. (1998) "Concurrent Engineering Teams", En *Field Guide to Project Management*, John Wiley & Sons.
- [6] Love, N. (1996) "Better Designs, Faster Development" http://www.soce.org/papers/lbl_consult/better_faster_dev.html. Pendiente de aparecer en *SCPD News* (2002).
- [7] Bourke, R.W. (1998) "New Directions in the Aerospace and Defense Industry: The Integration of Product Data Management and Enterprise Resource Planning Systems", *Mission Critical*, The Baan Company. <http://www.bourkeconsulting.com/documents/NewDirectionsA&Dpdmerp.pdf>.
- [8] Ou-Yang, C.; Pei, H.N. (1999) "Developing a STEP-Based Integration Environment to Evaluate the Impact of an Engineering Change on MRP" *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 15, no. 11, pp 769-779.
- [9] Maropoulos, P.G.; Bamall, D.G.; McKay, K.R.; Colquhoun, P.G. (2001) "An Integrated and Distributed Environment for Spacecraft Manufacture" *Proceedings of the 8th International on Concurrent Engineering: Research and Applications*, California, USA.
- [10] Chien, S.; Hill Jr.R.; Wang, X.; Estlin, T.; Fayyard, K.; Mortenson, H. (1996) "Why Real World Planning is Difficult: A Tale of Two Applications", En *New Directions in AI-Planning*, IOS Press, pp. 287-298.
- [11] Bertrand, J.W.M.; Muntslag, D.R. (1993) "Production Control in Engineer-To-Order Firms", *International Journal of Production Economics*, vol. 30-31, pp 3-22.
- [12] <http://www.mysap.com>
- [13] Alter. S.L. (1980) *Decision Support Systems. Current Practice and Continuing Challenges*, Adisson Wesley.
- [14] (2001-2002) "Proyecto de investigación en una industria del sector aeroespacial", Área de Ingeniería de Organización. Escuela Politécnica de Leganés. Universidad Carlos III.