

POLITEXT

Carles Riba
Arturo Molina, eds.

Ingeniería concurrente

Una metodología integradora

POLITEXT 175

Carles Riba
Arturo Molina, eds.

Ingeniería concurrente

Una metodología integradora

Tecnológico de Monterrey



Universidad de Holguín



Universidad del Norte



Universitat de Girona



Universitat Jaume I



Universitat Politècnica de Catalunya



Primera edició: desembre de 2006

Diseño de la cubierta: Manuel Andreu

© los autores, 2006

© Edicions UPC, 2006
Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL
Jordi Girona Salgado 31, 08034 Barcelona
Tel.: 934 016 883 Fax: 934 015 885
Edicions Virtuals: www.edicionsupc.es
E-mail: edicions-upc@upc.edu

Producció: Edicions Gràfiques Rey
C/ Albert Einstein, 54 C/B nau 15
08940 Cornellà de Llobregat

Depòsit legal: B-52695-2006
ISBN: 978-84-8301-899-6

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

ÍNDICE

Prefacio	
Carles Riba, Arturo Molina	pág. 5
SECCIÓN I. Fundamentos	
Coordinador de la sección: Heriberto Maury	9
1. El concepto de ciclo de vida	
Carmenza Luna, Heriberto Maury, Carles Riba	11
2. Evolución de los modelos del proceso de diseño	
Paola Farias, Joaquín Aca, Arturo Molina, Heriberto Maury, Carles Riba	21
3. Familia, portafolio y gama de productos	
Carles Riba, Sònia Llorens, Judit Coll, Heriberto Maury	37
4. Arquitectura de producto y modularidad	
Heriberto Maury, Humberto Gómez, Carles Riba, Judit Coll, Pablo Genovese	49
5. Flujo de información en el proceso de diseño	
Inés Ferrer, Quim de Ciurana, José Ríos	63
SECCIÓN II. Metodologías de ingeniería concurrente	
Coordinador de la sección: Carles Riba	75
6. Evolución de las metodologías de apoyo a la ingeniería concurrente	
Horacio Ahuett	77
7. Diseño de configuración	
Carles Riba, Carles Domènech, Wladimir Rodríguez, Heriberto Maury	87
8. Diseño para fabricación y montaje	
Julio Serrano, Gracia M. Bruscas, Fernando Romero	107
9. Diseño para servicio y entorno	
Judit Coll, Huáscar Paz, Carles Riba	123
10. Innovación y creatividad	
Marisela Rodríguez	137
SECCIÓN III. Gestión de la nueva organización	
Coordinador de la sección: Martí Casadesús	147
11. Evolución de la organización hacia la ingeniería concurrente	
Rodolfo De Castro, Gerusa Giménez	149
12. Desarrollo de productos en redes colaborativas	
Fernando Romero, Carlos Vila	159
13. La gestión de la calidad como sistema de integración	
Martí Casadesús, Marta Albertí, Iñaki Heras	173
14. Gestión de equipos de trabajo para la ingeniería concurrente	
Carmenza Luna, Francisco-Cruz Lario	181

SECCIÓN IV. Tecnologías de información	
Coordinador de la sección: Arturo Molina	191
15. Tecnologías de información para ingeniería concurrente	
Ricardo Mejía, Arturo Molina	193
16. Evolución de los sistemas de apoyo a la ingeniería. Del CAD a los sistemas basados en conocimiento	
Roberto Pérez R., David Guerra, Arturo Molina, Ahmed Al-Ashaab, Karina Rodríguez	207
17. Tecnologías de apoyo al desarrollo de moldes y matrices – Producción y series cortas	
Ciro A. Rodríguez, Horacio Ahuett, Víctor Vázquez	217
18. Herramientas para la interacción y comunicación	
Carlos Vila, Manuel Contero	229
19. Gestión del proceso de desarrollo de producto	
Carlos Vila, Vanesa Galmés, María Luisa García-Romeu	237
20. Fabrica virtual – La era de la manufactura digital	
Miguel de J. Ramírez, Roberto Rosas, Arturo Molina	251
SECCIÓN V. Experiencias de aplicación en iberoamérica	
Coordinador de la sección: Carlos Vila	263
21. CASO 1: Diseño concurrente de piscina olímpica para el ciclo de vida (Astral Pool)	
Carles Riba, Heriberto Maury, Roberto Pérez R., Xavier Vila	265
22. CASO 2: Introducción e implantación de ingeniería concurrente en la industria mexicana	
Joaquín Aca, Arturo Molina, Ahmed Al-Ashaab	273
23. CASO 3: Implantación de nuevas tecnologías para el desarrollo concurrente de productos	
Carlos Vila, Pedro Company, Vanesa Galmés	287
Anexo 1. Diccionario de acrónimos y de palabras en inglés	307
Anexo 2. Relación de autores	313

23 Caso 3: Implantación de nuevas tecnologías para el desarrollo concurrente de productos

Carlos Vila, Pedro Company, Vanesa Galmés

Centro para la Innovación de la Empresa Industrial (CINEI)

Universidad Jaume I (UJI), Castellón, España

vila@esid.uji.es, pcompany@tec.uji.es, vgalmes@sg.uji.es

El presente caso muestra la implantación de las nuevas tecnologías de la información en un entorno de Ingeniería Concurrente para una empresa fabricante de componentes para automoción suministradora de primer nivel. El caso presenta la aplicación de una metodología, basada en los principios de la reingeniería de procesos, que dirige la transformación del proceso de desarrollo de producto hacia las nuevas prácticas de concurrencia utilizando, principalmente, herramientas de diseño y fabricación asistidas por ordenador e incorporando un sistema de gestión de datos de producto. De la experiencia se constata el éxito de la implantación tras realizar una correcta gestión del cambio definiendo y acotando el alcance del mismo. También se constata el éxito de la formación proporcionada en el momento oportuno que ha permitido alcanzar los objetivos buscados con la Ingeniería Concurrente como son el incremento de la calidad de los productos y la reducción del tiempo de desarrollo.

23.1 Introducción

La transformación hacia la IC demanda una metodología de cambio perfectamente definida y estructurada que guíe a la empresa en todo el proceso de cambio [Burns 1997]. A su vez, la complejidad del sistema empresa, en el que las decisiones deben ser tomadas por grupos interdisciplinarios con métodos y necesidades distintas, requiere la utilización de modelos [Ostrosi et. al. 2001]. Un modelo describe lo que hace el sistema (subsistema o proceso), aquello que controla su funcionamiento, las cosas sobre las que actúa, los medios que utiliza y lo que produce. Así pues, la primera tarea que debe plantearse una empresa a la hora de implantar un entorno de IC es obtener un modelo de su proceso actual de diseño y fabricación; determinando dónde entran en juego los distintos departamentos de la empresa y cómo se interrelacionan [Prasad 1996]. Un estudio exhaustivo de las diferentes informaciones que llegan y se distribuyen en la empresa, a la hora de crear un nuevo producto, va a ser vital en la transformación y posterior adaptación a la nueva filosofía de la IC.

A continuación, se debe determinar el estado al cual se desea acceder: nuevas prácticas de concurrencia utilizando, principalmente, herramientas de diseño y fabricación asistidas por ordenador e incorporando un sistema de gestión de datos de producto [Contero 2002].

Por último, se deben elaborar la estrategia y la táctica que permitan realizar el cambio deseado. Para ello, debe tenerse presente que la implantación de la Ingeniería Concurrente debe realizarse paso a paso, enfatizando el cambio de la cultura de la compañía a través de un conocimiento profundo del proceso de desarrollo de producto [Sadiq 2000].

Sin embargo, el planteamiento académico del problema brevemente descrito arriba no es suficiente, dado que la puesta en práctica de las metodologías tropieza con problemas y singularidades propios de cada ámbito. Por tanto, entendemos que es oportuno un estudio de casos en que se

destaquen dichas singularidades y problemas. Es por ello que en el presente caso expondremos la problemática de las empresas suministradoras de componentes para el sector del automóvil mediante un caso concreto que consideramos suficientemente significativo de dicho ámbito.

23.2 Perfil de la empresa

Partiendo de la experiencia académica de acercamiento al nuevo enfoque de desarrollo de producto con las nuevas tecnologías se decidió buscar una empresa en la que se pudiera comprobar la metodología de implantación y desplegar las herramientas en un entorno real.

La empresa que se ofreció a participar en la investigación fabrica radiadores de automoción, por lo que pertenece al sector metal - mecánico de fabricantes de componentes para automoción.

Esta empresa trabaja para multinacionales del ámbito del automóvil, motocicletas y vehículos pesados. Los clientes principales de sus productos son empresas como Renault o el grupo PSA en el automóvil, BMW en las motocicletas de gran cilindrada y CATERPILLAR en el mercado de los vehículos pesados. La empresa está en este momento considerada como mediana empresa, aunque por número de trabajadores (alrededor de 500) y volumen de facturación (por encima de los 40 millones de euros) roza el límite de las consideradas grandes empresas.

La empresa incorpora un amplio abanico de procesos de fabricación - producción: todo tipo de deformación plástica para componentes del marco, colector o tubos del radiador, procesos de soldadura por capilaridad o MIG/MAG robotizada para operaciones de ensamblaje, etc. La mayoría de los depósitos son de termoplástico y la fabricación de moldes para su inyección se subcontrata, aunque se dispone de secciones de mecanizado para fabricación de utillajes y elementos de producción.

23.3 Metodología

La metodología aplicada para la implantación de entornos de IC adopta los principios básicos de la reingeniería de procesos y consta de cinco etapas. Dentro de cada etapa se distinguen distintas fases por las que se debía pasar obligatoriamente para conseguir un éxito total en la implantación. El proceso está esquematizado en la figura 23.1.

Identificación de las Necesidades de Cambio.

En la primera fase se determina, mediante un análisis estratégico de la unidad de negocio, si la empresa es susceptible de adoptar un entorno de IC, es decir, si puede beneficiarse de la IC por concordar con su estrategia corporativa. A continuación se detecta si la empresa contempla dentro de sus objetivos la mejora del proceso de diseño y fabricación del producto (detección de la necesidad de mejora). Esto se hace a partir del estudio de la planificación estratégica de la unidad de negocio y de sus procesos de innovación. En esta fase se evalúan los indicadores de resultados de la unidad de negocio y se relacionan con una prospección que permite disponer de los elementos suficientes de juicio para decidir sobre las necesidades de mejora del proceso.

Entendimiento del Proceso.

En esta etapa, se analiza un proceso de la unidad de negocio seleccionada y se realiza un modelo del proceso de desarrollo de producto.

Este análisis está orientado no sólo a conocer cómo funciona el proceso sino a entender exactamente cuáles son los mecanismos que producen ventajas y retrasos, así como las relaciones y dependencias entre las actividades.

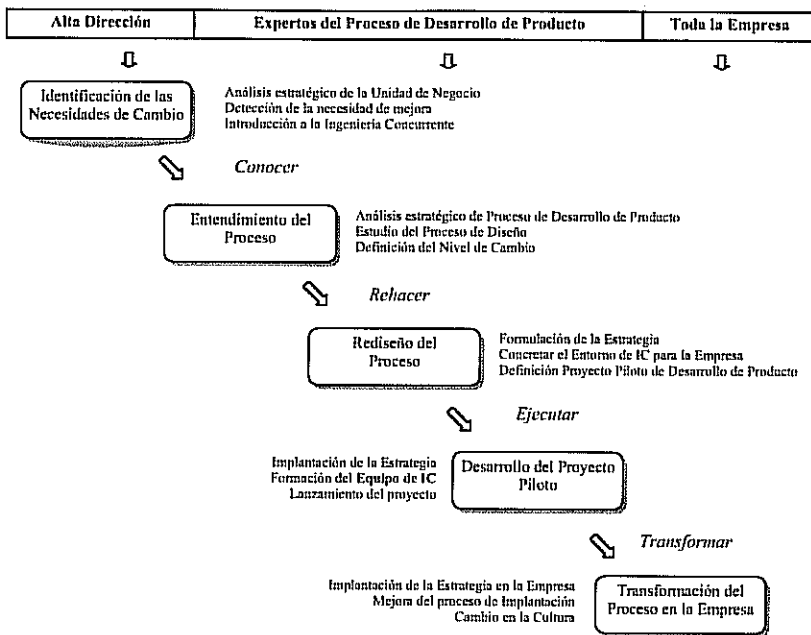


Figura 23.1 Proceso de Reingeniería orientado a la Implantación de la IC.

A partir de aquí se evalúa el proceso utilizando como escala de medida o “métrica” el nivel de comunicación de trabajo, abordando todos los ámbitos fundamentales de la IC. Una vez realizada la evaluación, dispondremos de la información necesaria sobre la situación actual del proceso y el estado al cual se desea acceder.

Rediseño del Proceso.

La tercera etapa tiene como objetivo formular la estrategia de implantación. Esta etapa se inicia con el rediseño del proceso, orientándolo a la realización de actividades en paralelo.

En su primera fase determinamos las técnicas que va a utilizar el equipo de IC, que a su vez influirán en la selección de tecnologías y herramientas de software que vamos a necesitar y en la arquitectura que debe tener nuestro entorno. Además, Para conseguir armonía en el desarrollo del trabajo en equipo es imprescindible definir claramente las tareas y las funciones de cada uno de los miembros. Asimismo, se definirán indicadores que nos permitirán cuantificar las mejoras del proceso.

Desarrollo del Proyecto Piloto. La cuarta etapa es la puesta en práctica del desarrollo concurrente de producto por medio del proyecto piloto. Poner en marcha el proyecto piloto requiere un grupo muy cohesionado y motivado que constituirá el Equipo de Ingeniería Concurrente.

En una primera fase se forma a los miembros del Equipo de Ingeniería Concurrente en metodologías, herramientas y entornos de comunicación específicos de manera que se consiga un equipo equilibrado. Asimismo, se identifican los posibles modos de fallo del proyecto piloto.

Un aspecto importante es volver a establecer claramente, y de forma detallada, las fronteras de autoridad, responsabilidad y las competencias para la toma de decisiones conforme a la acotación de tareas y funciones establecida anteriormente. Es necesario clarificar el papel y la responsabilidad de cada uno de los miembros seleccionados para potenciar el Equipo de Ingeniería Concurrente.

La segunda fase consiste en la propia ejecución del proyecto y, por lo tanto, en la experiencia concreta de desarrollo concurrente de producto. En una tercera fase se analizan los resultados obtenidos y se revisa el nuevo modelo establecido.

Transformación del Proceso en la Empresa. La primera fase de esta etapa consiste en promocionar los resultados del Proyecto Piloto para que los diferentes departamentos de la empresa puedan valorar los logros obtenidos con las nuevas prácticas.

La alta dirección debe entonces definir unos planes de implantación globales que permitan transformar toda la estructura de la organización de forma que facilitemos el cambio adaptando la cultura a este nuevo entorno mediante planes de formación. Durante esta implantación global se debe prestar especial atención a la mejora de las infraestructuras para superar el salto tecnológico.

23.4 Aplicación a la empresa objeto de estudio

El acuerdo de participación de la empresa en la experiencia partió de una situación de conocimiento mutuo tras la realización de proyectos acotados a la exploración de las posibilidades de las herramientas CAD/CAM/CAE. A raíz de esta situación pudo hacerse ver a la empresa la necesidad de mejorar el proceso de Diseño y Fabricación. Tras un análisis previo del tipo de producto de la empresa y de las directrices básicas de su planificación estratégica, se constató que era susceptible de implantar un entorno de Ingeniería Concurrente.

Identificación de las Necesidades de Cambio

La empresa está organizada en dos unidades estratégicas: productos de fabricación en serie y productos de fabricación comercial. Tras una serie de entrevistas, la dirección determinó cuál era su estrategia de negocios y funciones para cada una de sus unidades estratégicas. Para la unidad estratégica de productos de fabricación en serie, los pedidos se realizan directamente por los departamentos de desarrollo de los clientes, siendo su objetivo adaptarse al nivel tecnológico de sus clientes y suministradores, y reducir así el tiempo de desarrollo y aumentar la calidad del producto. Mientras que para la unidad de negocio de productos de fabricación comercial los objetivos estaban más centrados en reducir costes.

Para determinar cuál era el nivel de cambio necesario se realizó un análisis de los indicadores primarios relacionados con el desarrollo de producto, que mostraban básicamente que los tiempos de desarrollo de producto se estaban incrementando en los últimos años, debido a las mayores exigencias de los clientes y a que la información manejada aumentaba con la variedad de productos.

Por otra parte, los clientes empezaban a enviar la información en formatos electrónicos y no en papel (modelos 3D virtuales y no planos 2D). Por lo que mantener el método de diseño mediante planos, suponía desaprovechar parte del trabajo ya realizado y no mejorar la fluidez en la comunicación. Por su parte ciertos suministradores también demandaban los pedidos en formatos electrónicos con modelos sólidos para reducir los plazos de entrega.

Con esta información, y con los objetivos claramente definidos, se concluyó que no hacía falta prácticamente la evaluación general de la unidad de negocio para acordar que este proyecto debía abordarse.

En esta fase se ayudó a la empresa a identificar los procesos sobre los que se debía aplicar el cambio para acercarse a los modelos de calidad. Para desarrollar la visión por procesos se realizó un modelo simplificado de etapas y áreas de actividad que permitió conocer el funcionamiento de

forma global y detectar las posibles carencias. Para determinar el proceso se hicieron explícitos la Misión, la Visión y los Objetivos.

Misión:

Desarrollar y suministrar productos para refrigerar motores térmicos de vehículos autopropulsados de alta calidad, en el mínimo tiempo y siempre dentro de los plazos dispuestos por los clientes.

Visión:

Disfrutar de una posición competitiva y sostenida en el sector europeo de suministradores de radiadores, mediante productos superiores en calidad y prestaciones, estableciendo relaciones a largo plazo con clientes y proveedores.

Objetivos:

Integrar eficientemente los datos generados por las distintas actividades. Integrar los Departamentos implicados en el Desarrollo de Productos. Mejorar la comunicación con clientes y suministradores. Controlar el Proceso mediante Sistemas de Indicadores. Mejorar el Proceso de Desarrollo de Productos implantando Nuevas Tecnologías.

Conocimiento de los Beneficios de la Ingeniería Concurrente. Tras el análisis de la estrategia de la unidad de negocio de radiadores de serie, se presentó a la alta dirección y responsables de desarrollo de producto un informe con los beneficios que se podrían obtener con la implantación de un entorno de Ingeniería Concurrente en el desarrollo de producto.

La idea de implantar un entorno en el cual se pudieran compartir los datos internamente y mejorar su gestión, unida a la utilización de herramientas de nueva generación satisfizo a la alta dirección.

La alta dirección junto con el equipo de expertos decidió como prioritaria la mejora del proceso de desarrollo del producto desplegando la visión por procesos para conseguir innovar. De esta forma se aceptó que la relación beneficio/coste de la implantación era un riesgo que debía asumirse, ahora bien acotándolo a la mejora de un número concreto de actividades en el proceso.

Entendimiento del Proceso

Análisis del Proceso. Se analizó el proceso de desarrollo de productos para la unidad de radiadores de serie. En este caso no existía ningún modelo del proceso de desarrollo, por lo que se decidió realizar un primer análisis general a partir de cual se establecerían las necesidades de mejora.

Como podemos observar en la figura.2 se consideró que el proceso de desarrollo de producto se podía dividir en cuatro partes fundamentales: diseño conceptual, diseño de detalle, preparación de la fabricación y producción. Aunque Los estudios se centraron principalmente en las actividades realizadas durante las tres primeras partes.

En la figura 23.2 se observa que las actividades fueron clasificadas también atendiendo a las "áreas de actividad". De forma que, por ejemplo "pedidos de los clientes" pertenece a la parte de diseño conceptual y es gestionado por la dirección.

Por su parte, para determinar los límites de las partes, se tuvo en cuenta que en la primera parte se realizan los cálculos para determinar la capacidad de refrigeración del radiador y, por tanto, sus características de caudal, número de tubos, etc., a partir de los requerimientos del cliente. Aunque los desarrollos contemplaban un nivel exhaustivo de definición del producto, no podían considerarse definitivos hasta obtener el visto bueno del cliente, por lo que se decidió que este podría ser el aspecto que delimitase esta parte respecto de la siguiente.

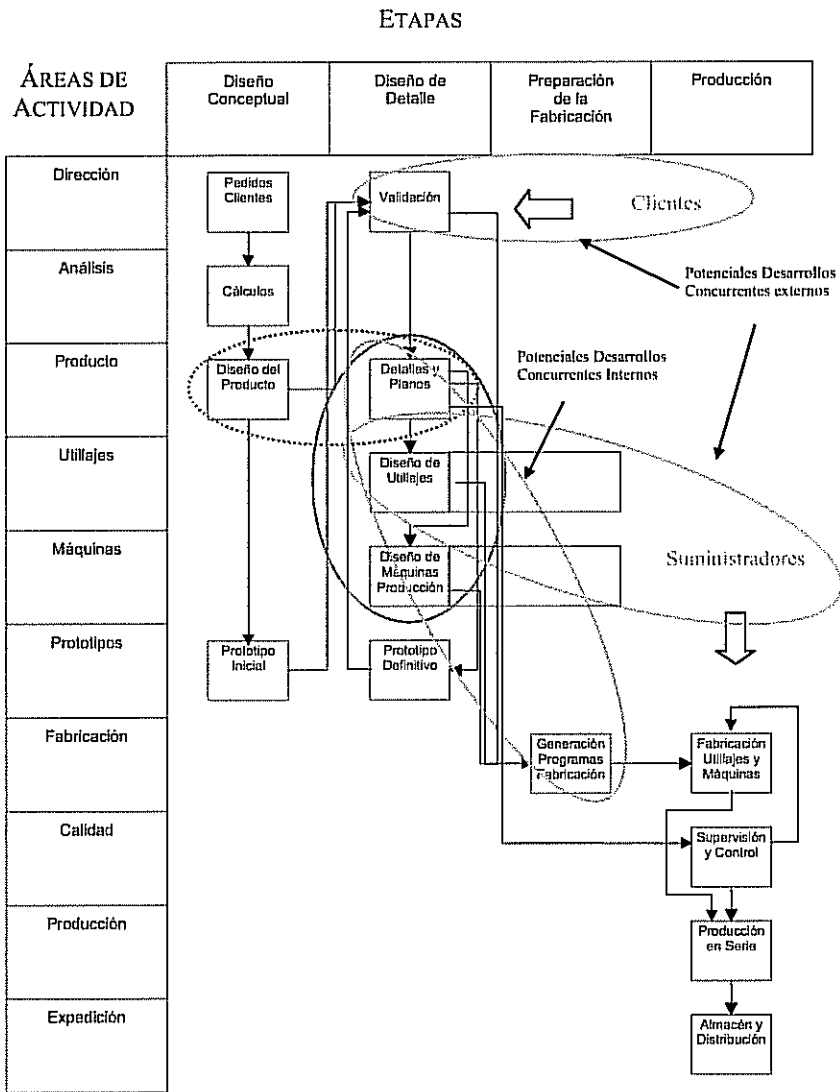


Figura 23.2 Modelo simplificado del Proceso de Desarrollo de Producto en la Empresa.

En la segunda parte se realizan las últimas modificaciones propuestas por el cliente y se detallan todos los aspectos que pudieran haber quedado por definir. A partir de aquí se inician las actividades de diseño de utillajes para fabricación de cada uno de los elementos y el diseño de máquinas para producción, ensamblaje y pruebas del producto. Las herramientas utilizadas en estas dos primeras partes son herramientas de modelado en dos dimensiones como AutoCAD.

En esta parte coexisten el diseño de producto y la planificación de los procesos de fabricación (selección de procesos y diseño de utillajes y máquinas) dentro de la misma oficina. Por tanto, existe un cierto solapamiento de actividades que podría definirse como desarrollo simultáneo más que concurrente. Esta situación que en principio parece favorable, ha supuesto un inconveniente para alcanzar la nueva filosofía de trabajo en equipo, debido a que la carencia de metodologías y herramientas adecuadas hace que se adquieran malos hábitos difíciles de cambiar.

En la tercera parte se realiza la preparación de la fabricación, planificándose los procesos de mecanizado de utillajes y demás componentes, y se generan los programas de control numérico para las máquinas herramienta. Las piezas deben diseñarse entonces de nuevo para trabajar con los programas de fabricación asistida por ordenador, que utilizan modelos sólidos para el mecanizado en dos ejes y medio o más, con la consecuente pérdida de tiempo y recursos.

El análisis mostró que podría lograrse un índice de concurrencia alto dentro de cada parte utilizando herramientas integradas de modelado sólido. En la parte de diseño conceptual trabajando varias personas sobre un mismo radiador, compartiendo elementos y evaluando las interacciones espaciales entre los mismos. En la parte de diseño de detalle, trabajando conjuntamente utillajes y diseño de máquinas con los diseñadores de producto e implicando a las personas de preparación de la fabricación para considerar antes los aspectos de mecanizado. Finalmente, la parte de preparación de la fabricación se vería beneficiada al poder trabajar directamente con los moldes y piezas sólidas y tener que preocuparse únicamente de los aspectos propios del mecanizado.

Evaluación de la Situación Actual y del Estado Deseado

La actividad de análisis de la situación actual y del estado deseado se realizó mediante entrevistas a responsables de los departamentos involucrados en el proceso de desarrollo: análisis y diseño, prototipos, preparación de la fabricación, calidad y producción.

Las transcripciones de los cuestionarios de la situación actual y del estado deseado elaborados dentro de la metodología pueden observarse en el Diagrama de Cambio (figura 23.3). El resultado refleja una situación actual en la que no existía, en términos generales, trabajo en equipo y ninguna gestión sobre los datos de producto, y cabe resaltar el desequilibrio entre los factores clave. Destaca el contraste entre optimización, con un nivel de madurez considerado como Global, y un sistema de recompensas inexistente.

Al realizar la composición de las dos evaluaciones, podemos observar que el nivel de madurez deseado para el proceso de desarrollo de producto coincide básicamente con el nivel de madurez de Empresa (figura 23.3) en un 55% de los factores clave, especialmente en los referentes a Tecnología.

Decisiones sobre la Implantación

Puede apreciarse en la figura 23.3 el nivel de cambio que debe alcanzarse, en opinión de los propios expertos de la empresa, para adquirir un nivel competitivo en el proceso. Únicamente en seis de los Factores Clave se alcanza el nivel de madurez colaborativa. Es importante notar que la mayoría de los ítems de tecnología se encuentran en el nivel Programa. Sin embargo, el factor Optimización tiene un alto nivel de madurez, esto se debe al profundo conocimiento del producto y de las técnicas propias que utilizan que tiene cada uno de los implicados.

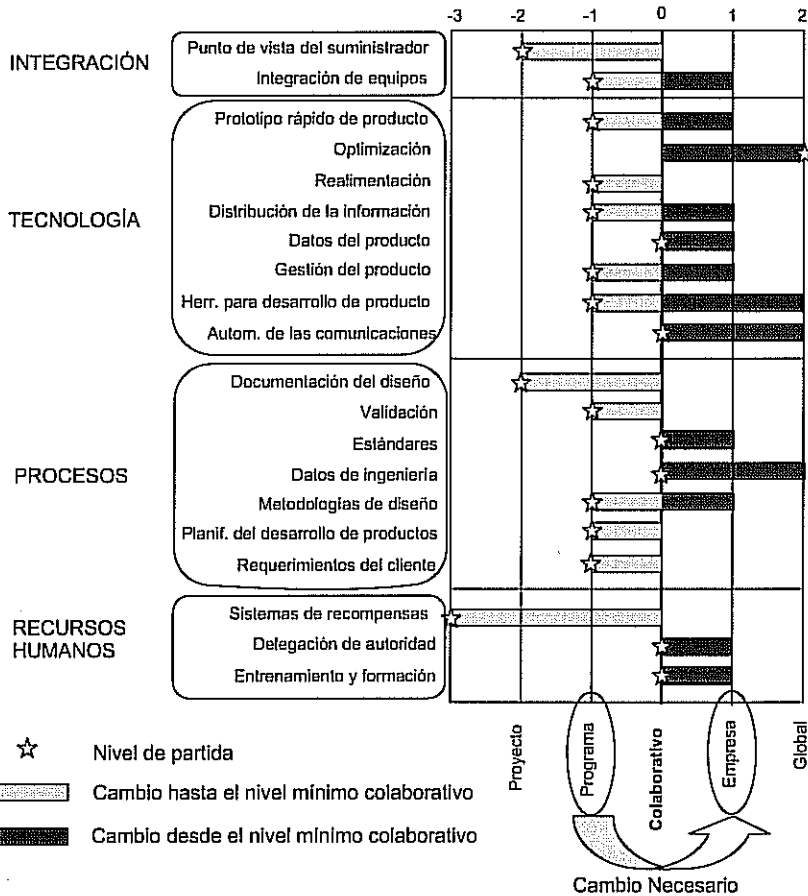


Figura 23.3 Diagrama de Cambio de la Situación Actual y del Estado Deseado de la empresa.

Por otra parte, la figura 23.3 muestra que el Estado Deseado corresponde al nivel de madurez de Empresa en 13 de los 20 Factores Clave, lo que supone un deseo de alcanzar un nivel que permita mejorar la comunicación en toda la empresa.

Pero, tal y como podemos observar, este cambio suponía transformar radicalmente ciertos Factores Clave. Por tanto, se decidió realizar una primera mejora de aquellos factores que no alcanzaban el nivel de madurez Colaborativo para conseguir un estado intermedio más equilibrado.

Por otra parte, para minimizar el impacto de la transformación, y evitar que el funcionamiento ordinario de la empresa se viera afectado críticamente por las nuevas metodologías, se decidió que la implantación debía centrar su atención en las actividades propias de desarrollo de producto sin implicar inicialmente a otros departamentos (como prototipos, calidad o métodos y tiempos). También se decidió que se debían utilizar las nuevas herramientas de modelado sólido de forma integrada. De esta manera, el Equipo de Ingeniería Concurrente debía seguir el modelo planteado según el enfoque que consideraba crucial la utilización de estas nuevas tecnologías, especialmente en los aspectos de diseño y fabricación.

Con estos datos y objetivos se establecieron las Directrices de Innovación para los Factores Clave que debían mejorarse y se redactaron acciones concretas asumiendo las restricciones que pudieran aparecer.

Rediseño del Proceso

En esta etapa del proceso de implantación se consideraron las siguientes fases: realización del nuevo modelo del proceso, selección de las nuevas metodologías de trabajo, selección de las tecnologías de la información para el nuevo proceso, definición del sistema de indicadores para controlar el proceso, identificación de barreras al cambio y planificación del cambio.

Realización del nuevo modelo del proceso.

En esta fase del proceso de implantación se procedió a la elaboración de un modelo detallado del proceso de desarrollo de productos, de la unidad de negocio de radiadores de serie, utilizando la metodología IDEF0.

El modelo permitió reflejar las interacciones entre las distintas actividades, los posibles desarrollos secuenciales y los cuellos de botella del proceso.

Este modelo permitió definir posteriormente las tareas de cada una de las personas que intervienen en el proceso de desarrollo, así como los papeles que debían desempeñar. A partir de aquí se determinaron los permisos para trabajar con los diseños y en qué etapa del proceso era posible realizar modificaciones.

Selección de las nuevas Metodologías de Trabajo.

Se determinó que las metodologías de trabajo requeridas eran: técnicas de trabajo en equipo, como sesiones de “*brainstorming*”, y desarrollo de metodologías específicas de diseño para conformado de piezas de chapa y mecanizado.

Teniendo en cuenta las nuevas herramientas y los sistemas de fabricación-producción principales, se pensó que era necesario incluir guías básicas con consideraciones de diseño para piezas de chapa conformadas por deformación plástica, guías de diseño para mecanizado de forma que los diseñadores de troqueles y utillajes facilitasen la labor de las personas de preparación de la fabricación, y guías de modelado sólido orientadas al diseño de los depósitos, que son los componentes más característicos del radiador.

Selección de las Tecnologías de la Información para el nuevo proceso.

Las tecnologías seleccionadas requerían un entorno de IC Asistido por Ordenador (ICAO) basado en software comercial que debía ser adquirido. Tras un estudio detallado del proceso de desarrollo del producto y de las herramientas disponibles en el mercado se decidió comprar herramientas de modelado sólido, modelado de chapa y un módulo de fabricación asistida por ordenador para la generación de programas de control numérico.

Se seleccionó ProENGINEER (figura 23.4) como la herramienta más adecuada, ya que permitía la integración de sus diferentes aplicaciones y el intercambio de modelos mediante el protocolo STEP AP214.

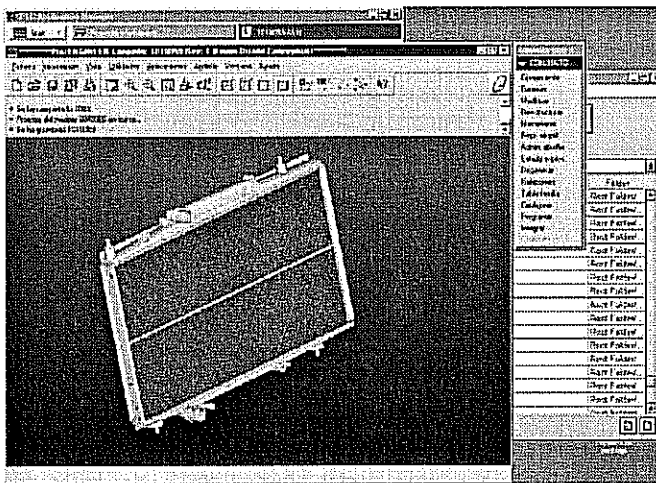


Figura 23.4 Entorno de IC asistido por computadora. Herramienta CAD.

El mismo fabricante suministró la aplicación de gestión de datos del producto, INTRALINK, que permite controlar los datos generados durante el proceso de desarrollo. INTRALINK, permite definir una serie de permisos o ‘Lista de Control de Accesos’ (Roles o Access Control List, ACL) para controlar quienes pueden acceder a determinada información y en qué fase del proceso de diseño pueden hacerlo (figura 23.5).

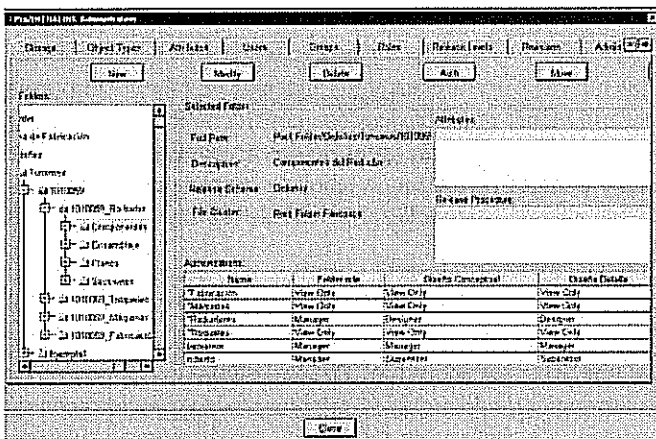


Figura 23.5 Gestión de Permisos durante el flujo de trabajo.

Definición del Sistema de Indicadores para controlar el Proceso. Para realizar un seguimiento y control del desarrollo del proyecto se definió un sistema de indicadores para cuantificar los beneficios directos e indirectos que debería producir la implantación del sistema. Los indicadores se determinaron a partir del modelo IDEFO (figura 23.6).

En la tabla 23.1 se muestra una parte de los indicadores seleccionados para controlar el proceso de desarrollo de producto. Los indicadores que se refieren a tiempos permiten evaluar si se está redu-

ciendo eficientemente el proceso de desarrollo; podremos detectar la concurrencia a través de la comparación de los tiempos de diseño de detalle de radiador, utilajes y máquinas con el tiempo total de diseño de detalle. Existe concurrencia cuando el tiempo total es menor que la suma de los anteriores.

La utilización de componentes estándares y la generación automática de planos asociados a los modelos 3D nos permite detectar si se está aprovechando el trabajo realizado anteriormente y si se está optimizando la información generada.

Por último, el número de validaciones y el número de modificaciones nos mostrarán si realmente se están reduciendo las órdenes de cambio de ingeniería.

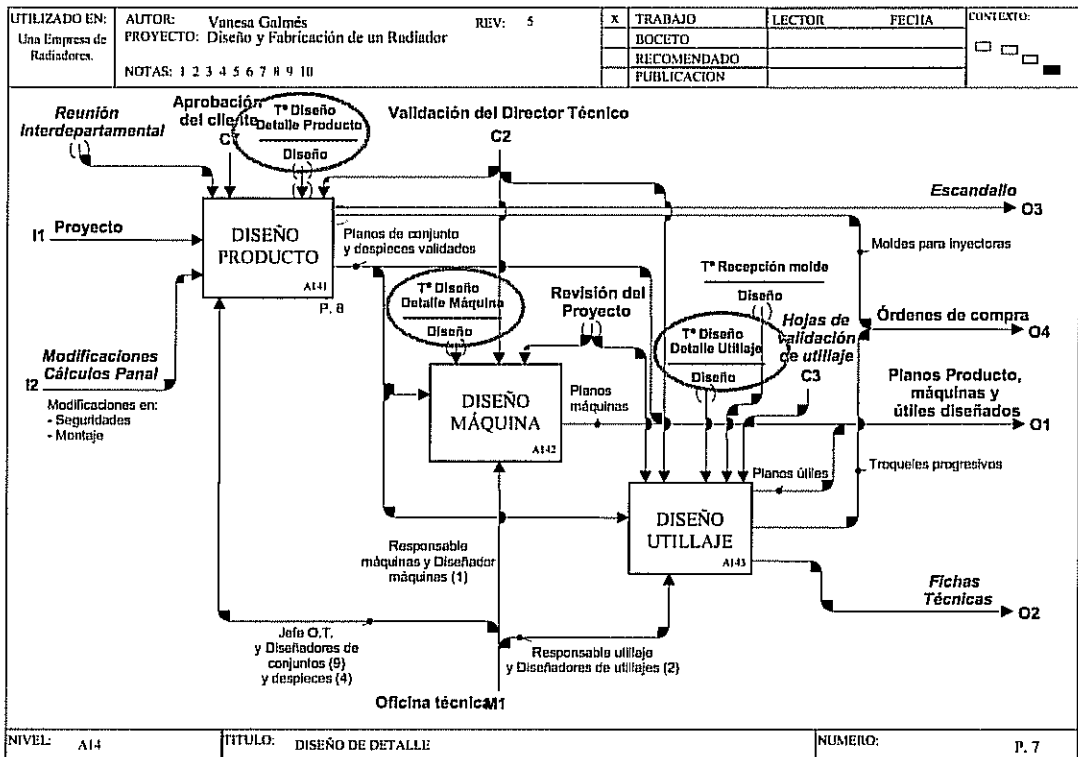


Figura 23.6 Indicadores para el Control del Proceso de Desarrollo de Producto.

Tabla 23.1 Sistema de Indicadores propuesto para Distintas Actividades.

Indicador	Descripción	Metodología	Unidades
Tº Total Desarrollo Producto	Tiempo total desde que el cliente realiza un pedido, hasta que se obtiene la primera unidad de radiador fabricado.	Anotar la fecha en la que el cliente hace el pedido y fecha en la que se obtiene la primera unidad fabricada	Días
Tº Total Diseño Conceptual	Tiempo total desde que el cliente realiza un pedido con requisitos concretos hasta que da su conformidad.	Anotar la fecha en la que el cliente hace el pedido con requisitos concretos y fecha en la que se obtiene la conformidad del cliente.	Días
Tº Total Diseño Detalle	Tiempo desde que el cliente valida el proyecto hasta que se obtienen los planos definitivos.	Anotar la fecha en la que el cliente valida el proyecto y fecha en la que se obtienen los planos definitivos.	Días
Tº Diseño Detalle Producto	Tiempo desde que se valida el producto hasta obtener el diseño de detalle del radiador.	Anotar la fecha en la que se valida el producto y fecha en la que se obtiene el diseño de detalle	Días
Tº Diseño Detalle Máquina	Tiempo desde que se valida el producto hasta obtener el diseño de detalle de la máquina.	Anotar la fecha en la que se valida el producto y fecha en la que se obtiene el diseño de detalle de la máquina	Días
Tº Diseño Detalle Utillaje	Tiempo desde que se valida el producto hasta obtener el diseño de detalle del utillaje.	Anotar la fecha en la que se valida el producto y fecha en la que se obtiene el diseño de detalle del utillaje	Días
Nº Planos Asociados Diseño	Número de planos generados para definir totalmente un diseño de un radiador	Cuando comienza la producción en serie, Se cuenta el total de planos asociados a un radiador, así como a la máquina y troqueles necesarios para su fabricación.	Nº Planos asociados
Nº Validaciones Diseño	Número de validaciones realizadas por el Director Técnico en el proceso de diseño.	Se cuenta el número de veces que el Director Técnico realiza una validación de cualquiera de los planos asociados a un modelo de radiador.	Nº Validaciones
Nº Componentes Estándar Diseño	Número de componentes estándar que se emplean en el diseño de un radiador.	Se cuenta el número de componentes utilizados en un modelo, que se están reutilizando de modelos anteriores.	Nº Componentes Estándar
Nº Modificaciones tras Lanzar el Proyecto de Diseño	Total de modificaciones en los planos, durante la Fase de Diseño de Detalle.	Se cuenta el número de modificaciones realizadas en los planos de un modelo (radiador, máquinas y utillajes) durante la parte de Diseño de Detalle.	Nº Modificaciones

Identificación de Barreras al Cambio

La actividad de identificación de las barreras al cambio detectó varias barreras que podemos resumir en dos aspectos generales: la empresa no estaba al corriente de las nuevas tecnologías para el diseño de producto, aunque sí de las tecnologías de fabricación-producción, y la política corporativa contemplaba seminarios de formación para trabajar en Equipo pero dichos procedimientos no se llevaban a la práctica.

Más concretamente y en lo referente a las 'Barreras Técnicas' encontradas podemos destacar:

- Falta de infraestructuras para utilizar Tecnologías de la Información. La oficina técnica disponía de equipos informáticos con poca capacidad de procesamiento y cálculo, insuficientes para trabajar con herramientas de modelado sólido.
- Desconocimiento de las ventajas que suponía para las relaciones con los clientes la adopción de las Tecnologías de la Información. A destacar, el desconocimiento de las posibilidades de intercambio con ficheros neutros, para no estar supeditado a las distintas herramientas de los clientes y trabajar con una única herramienta.

En cuanto a las 'Barreras Organizativas' merecen especial hincapié las siguientes:

- Ambiente de trabajo inadecuado. Las relaciones intradepartamentales no contemplaban el trabajo en equipo. Muchas de las tareas se realizaban por duplicado, como por ejemplo la generación de plantillas para planos.
- Sistemas de Recompensas Inadecuados. La empresa no disponía de un sistema conocido para motivar a los empleados en la mejora del proceso de desarrollo de producto o en la innovación del mismo y tampoco de incentivos colectivos.
- Falta de Cooperación con Clientes y Suministradores. Aunque existen relaciones estrechas con clientes y suministradores no se llegan a tratar los problemas que pueden permitir una mejora del proceso. Por ejemplo, los fabricantes de moldes para inyección se ven obligados a realizar modificaciones sobre el modelo que podrían haberse evitado si hubieran participado con los diseñadores en el diseño de detalle; en otros casos deben remodelar completamente las piezas para adaptarlas a su sistema CAM.

Planificación del Cambio

La planificación del cambio se realizó teniendo en cuenta la decisión previa de mejorar sólo las actividades de diseño y preparación de la fabricación del proceso de desarrollo del producto, excluyendo las relacionadas con la producción.

Se decidió que lo oportuno era desarrollar un proyecto piloto para un radiador de serie y que el Equipo de Ingeniería Concurrente para el proyecto debían formarlos una persona experimentada en diseño de radiadores, un diseñador experimentado en herramientas CAD, un diseñador de utillajes, un diseñador de máquinas y dos miembros del departamento de fabricación.

A partir de la experiencia adquirida se definieron los requisitos mínimos de los equipos informáticos (incidiendo en las capacidades de procesador, memoria y tarjetas gráficas) y del servidor de datos.

Posteriormente se estructuró el plan de desarrollo del proyecto piloto y se planificaron las actividades y tareas a desarrollar en un diagrama temporal, obteniéndose finalmente el visto bueno de la dirección.

23.5 Desarrollo del proyecto piloto y resultados

El proyecto piloto seleccionado fue el desarrollo de un radiador para una máquina para talar árboles de CATERPILLAR (Harvester 570/580). Cabe destacar que el proyecto permitió probar todo un proceso de reingeniería para alcanzar un entorno real y operativo de Ingeniería Concurrente, así como identificar y superar todas las barreras y modos de fallo que una empresa puede encontrar para adoptar esta nueva filosofía de trabajo y la utilización de las últimas tecnologías en el desarrollo de producto.

Al plantear el proyecto se prestó especial atención a dos posibles modos de fallo que podían malograr todo el proceso: el equipo debía estar plenamente capacitado para las actividades a realizar y los medios debían estar a pleno rendimiento. Ambas condiciones se cumplían, en gran medida gracias a que el proceso de formación del personal se había completado (a menos en los aspectos que iban a intervenir en el proyecto). También se consideró que eran necesarias ciertas herramientas que ayudasen a gestionar el proceso y facilitaran que todos los implicados conocieran tanto el proceso como su propio papel. Se determinaron las tareas que se debían realizar simultáneamente.

A continuación, vamos a detallar las tareas de formación del equipo, medición de indicadores, oportunidades de mejora, ejecución del proyecto piloto, y conclusiones del proyecto piloto.

Formación del equipo

El proyecto piloto se inició con unas sesiones de formación y entrenamiento en las herramientas seleccionadas y en los distintos aspectos de la IC. Paralelamente se realizó la formación en las metodologías de Diseño de Producto y Técnicas de Trabajo en Equipo que se extienden a lo largo de todo el proyecto piloto.

- Formación en Herramientas CAD/CAM.
- Formación en el Entorno de Comunicaciones.
- Formación en Metodologías de Diseño de Producto. Se centraron especialmente en el Diseño para Conformado por deformación plástica de piezas de chapa.
- Formación en Metodologías de Trabajo en Equipo. Se realizó un preproyecto piloto que afianzó las reuniones y decisiones conjuntas.

Medición de Indicadores

Previamente a la ejecución del Proyecto Piloto, se realizó un seguimiento del Proceso de Desarrollo de Producto mediante la medición de indicadores de una muestra. La muestra era de cinco diseños de distinto grado de complejidad. Dado que esta variable tiene mayor influencia en las medidas realizadas, los resultados obtenidos fueron ponderados considerando el peso específico de los diseños, según su grado de complejidad.

La información registrada y analizada mediante el uso de indicadores, posibilitó el conocimiento del funcionamiento de Oficina Técnica, en cuanto a su organización y su eficiencia, llegando de este modo a la siguiente descripción del proceso original:

- Se calculó una media de 172 planos asociados a cada proyecto. Esta elevada generación que ya se detectaba en el modelo IDEF0, derivaba en una mayor desorganización y dificultad en la actualización de la información. La gravedad del problema radicaba en la cantidad de información que debía ser alterada con cada modificación.

- Las modificaciones ascendían a 2,35 por plano de conjunto generado, siendo éstas muy superiores en los planos de los componentes complejos del radiador, como son los depósitos, que ascendían a 20 modificaciones para un proyecto de complejidad media. Se comprobó, además, que el 53,35 % de las modificaciones eran solicitadas por el cliente, por lo que éstas podían darse en cualquier fase del proceso, provocando retrasos importantes del mismo, y haciendo necesaria la actualización de gran cantidad de información.
- Se comprobó que aproximadamente el 46 % de los componentes utilizados en el diseño de los proyectos, se tomaba de proyectos anteriores sin necesidad de realizar ninguna modificación o reduciéndose éstas a sencillas modificaciones dimensionales.
- Se calculó también el tiempo de realización del prototipo. Este tiempo podía elevarse a un mes, con el consiguiente cuello de botella que esto supondría, al requerirse una validación del prototipo previamente al lanzamiento del Proyecto. Este tiempo de obtención del prototipo, se incrementaba si se consideraban las posteriores modificaciones solicitadas por el cliente, o aquellas necesarias tras la realización de los ensayos.
- En la parte de DISEÑO DE DETALLE, se requerían 5 días por diseño, empleando para ello todo el personal de Oficina Técnica. El reparto de tareas en Oficina Técnica, se realizaba distribuyendo el trabajo, que generalmente consistía en el desarrollo de cinco proyectos al mismo tiempo, en grupos de cuatro o cinco personas. El trabajo se repartía de forma que todos los diseñadores realizaban todo tipo de tareas, desde el diseño de componentes al diseño de máquinas, dependiendo de la complejidad de los diseños. En estos grupos de trabajo no se incluía personal de Fabricación, por lo que los requisitos de fabricación no se tenían en cuenta, provocando las modificaciones pertinentes, ya finalizado el diseño.
- El tiempo de recepción del molde, ascendía generalmente a tres meses y medio.
- La transmisión de los pedidos de los moldes, se realizaba a través de planos o ficheros de Autocad v14, de forma que los moldistas sólo podían utilizar éstos como información base para poder modelar los depósitos en Pro/Engineer, con lo que se duplicaba el trabajo, y como consecuencia se incrementaba el ciclo de diseño.

Oportunidades de mejora.

Del análisis de los indicadores descritos en el apartado anterior, se pudieron extraer las siguientes oportunidades de mejora:

- Registrar más información, como las peticiones de planos, las validaciones y las devoluciones de los mismos, etc., permitiría a la empresa llevar un mayor control y seguimiento del Proceso de Desarrollo del Producto.
- El uso de Herramientas CAD/CAM/CAE permitiría modificar rápidamente los modelos; lo que se reflejaría de forma automática en los planos, por ser planos y modelos totalmente asociados.
- Aunque el 46 % de los componentes utilizados en el diseño de los proyectos, se tomaba ya de proyectos anteriores, facilitando con ello los diseños y disminuyendo el tiempo necesario para su desarrollo con Autocad v14, se obtendría una mayor reducción si se utilizase una Herramienta CAD/CAM/CAE. En efecto, estas herramientas permiten crear “funciones de usuario”, de forma que los componentes sólo tendrían que ser insertados en el lugar que les correspondiera dentro del conjunto. Además mediante una rápida creación de familias, se tendría una librería de componentes con las dimensiones necesarias.

- Se obtendría una reducción del tiempo de obtención del prototipo si éste fuera modelado mediante una Herramienta CAD/CAM, de forma que el cliente pudiera utilizar el modelo del radiador para realizar una simulación del montaje del mismo, hecho que resulta razonable por tratarse de clientes líderes en el mercado, que trabajan con Herramientas CAD/CAM. El resultado obtenido sería una reducción importante del tiempo de desarrollo del prototipo y una mayor facilidad de realización de sus posteriores modificaciones. El prototipo físico necesario para la realización de los ensayos se obtendría tras ser validado por el cliente, con lo que se reducirían los costes de tiempo, personal y material, al reducirse el número de prototipos físicos a uno.
- El tiempo de diseño de detalle, podría reducirse con el uso de Herramientas CAD/CAM/CAE, que permitirían la integración de diseño y fabricación. La metodología de trabajo en equipo, en el que se incluiría personal de Fabricación, disminuiría la necesidad de realizar modificaciones posteriores. Además la facilidad de tener actualizada la información y la rapidez en la realización de las modificaciones contribuiría en la reducción del ciclo de diseño.
- El tiempo de recepción del molde podría reducirse, si los diseños fuesen transmitidos a los moldistas mediante ficheros compatibles con el programa de modelado utilizado por éstos, de esta forma Oficina Técnica diseñaría con el programa de modelado Pro/Engineer, y transmitiría el modelo a los suministradores, permitiendo que éstos lo utilizaran directamente para la fabricación de sus moldes.

Ejecución del proyecto piloto

Tras completar la formación del equipo de trabajo, se abordó el pedido seleccionado para el proyecto piloto. Cabe destacar que la coincidencia de que ambas empresas trabajaban con la misma herramienta CAD facilitó mucho el trabajo.

Debido a la complejidad del modelo IDEFO, se realizó un modelo gráfico simplificado que permitiría a los miembros del equipo identificar todas las tareas a realizar con las nuevas herramientas. El inicio del proyecto piloto se realizó planificando reuniones quincenales entre los investigadores de la universidad y los miembros del equipo.

En una de estas reuniones se consiguió implicar a los mandos intermedios lo cual permitió salvar uno de los posibles modos de fallo que más nos preocupaba tras las conversaciones mantenidas con los miembros del equipo.

Conclusiones del proyecto piloto

Tras la ejecución del proyecto piloto, la medición de indicadores permitió realizar una comparativa entre la metodología de trabajo que utilizaba como herramienta de diseño, el programa AutoCAD, y la metodología a implantar que utilizaba Pro/Engineer. Los proyectos a comparar se correspondían con dos Caterpillars, el modelo Forwarder realizado en AutoCAD y el modelo Harvester realizado en Pro/Engineer, de forma que ambos tuviesen bastantes características comunes y fuese fiable su comparación.

Había una singularidad importante que penalizaba al modelo realizado en Pro/Engineer. Aunque se trataba en los dos casos de proyectos originales, es decir, no partían de ningún proyecto anterior, en el caso del modelo Forwarder una parte de los componentes no necesitaron volver a diseñarse, puesto que pudieron tomarse de proyectos anteriores. En el caso del modelo Harvester, todos los componentes tuvieron que diseñarse, puesto que no existían modelos anteriores diseñados.

dos en Pro/Engineer, suponiendo esto un incremento del tiempo de diseño total del proyecto que falseaba los resultados respecto a una situación real con Pro/Engineer ya implantado.

Podemos observar los resultados obtenidos de la comparativa de ambos modelos, es decir, de ambas metodologías, la Ingeniería Secuencial, y la Ingeniería Concurrente, reflejados en la tabla 23.2:

Tabla 23.2 Comparativa entre la metodología "AutoCAD", y la metodología "Pro/Engineer".

	FORWARDER		HARVESTER		Reducciones
Tª total desarrollo del Producto/Diseño (días)					
Tª Diseño Producto	100		76		24,00%
Tª Diseño Conceptual	27	27,00%	24		31,58%
Tª Diseño Conceptual Radiador/Diseño	2	50%	3		38%
Tª Diseño Detalle	73	73,00%	52		68,42%
Tª Diseño Detalle Radiador/Diseño	28	38%	52		100%
Tª Diseño Detalle Utillaje/Diseño	31	42%	3		6%
Tª Diseño Detalle Maquinas/Diseño	14	19%	14,3		28%
Tª Diseño Detalle Herramientas/Diseño	2	50,00%	5		62,50%
Total Modificaciones/Diseño	4		8		
Nº Componentes estándar/Diseño	51		31		
Nº Componentes estándar Radiadores/Diseño	51	100,00%	31		100,00%
Nº Componentes estándar Utillajes/Diseño	0	0,00%	0		0,00%
Nº Componentes estándar Maquinas/Diseño	0	0,00%	0		0,00%
Nº Validaciones/Diseño	6		8		
Nº Planos acabados/Diseño	121		87		

- Se comprueba que las reducciones más importantes se generan en los tiempos de diseño, obteniéndose una reducción de un 29 % en el diseño de detalle del radiador (figura 23.7). Además se manifiesta una extensión del tiempo dedicado a la fase de diseño conceptual respecto al diseño total del producto, un 31,58% del total, frente a un 27% que suponía en la metodología secuencial. Se trata de una consecuencia de la metodología concurrente, cuya tendencia es dedicar el mayor tiempo posible en las primeras etapas de diseño para tratar de reducir las órdenes de cambio de ingeniería en fases posteriores, ya que su coste es mucho mayor.

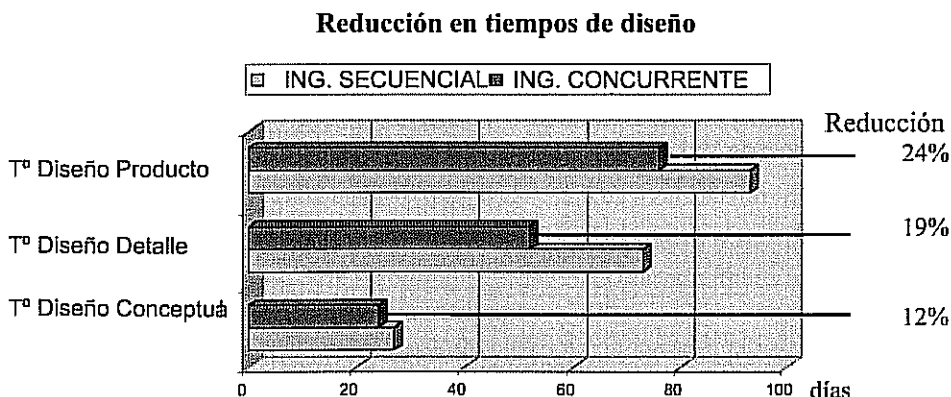


Figura 23.7 Comparación de tiempos de diseño del producto.

- Se comprueba también una importante reducción del tiempo de diseño de utillaje (figura 23.8). Si tenemos en cuenta que este aspecto es el más costoso de toda la parte del diseño del detalle y que además no quedaba afectado de grandes reducciones en la obtención de variantes (siendo el diseño de máquinas el que experimentaba una mayor reducción), podemos comprender la ventaja que Pro/Engineer supone a este respecto, puesto que permite minimizar un tiempo que difícilmente podía reducirse con la metodología de trabajo anterior que utilizaba AutoCAD como herramienta de diseño.

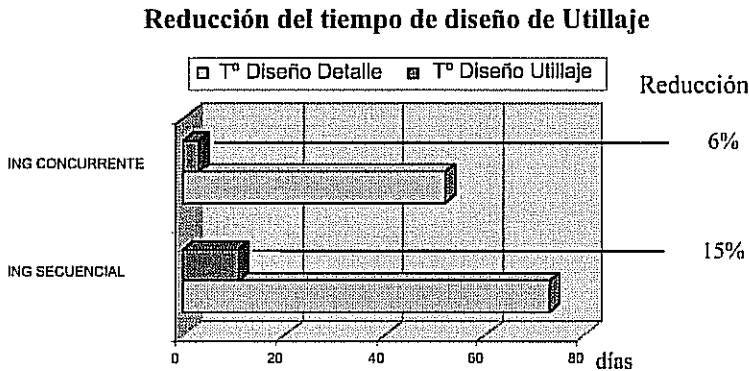


Figura 23.8 Comparación de tiempos de diseño de utillaje.

- Mediante la nueva metodología se logró además mejorar la comunicación con los clientes y suministradores, reduciéndose los plazos de entrega al cliente de los 20 días necesarios mediante el intercambio de planos, a 7 días mediante el intercambio de modelos 3D, suponiendo ésta una reducción del 65%. En su comunicación con los suministradores, la metodología concurrente apuesta por un incremento de la relación entre la empresa y sus suministradores, por ello, mediante la realización de reuniones y la mayor participación del suministrador en el diseño del producto se buscó la reducción de posibles modificaciones posteriores.

La planificación del proyecto piloto precisó de la implantación de un entorno integrado, una Base de Datos orientada al Proceso de Desarrollo de Producto, el PDM, INTRALINK.

Esta herramienta que simplifica y unifica los flujos de información dentro de la empresa, vincula la información al producto y la hace accesible a todos aquellos que se relacionan con el mismo, a lo largo de todo su Ciclo de Vida.

Las herramientas PDM ofrecen las siguientes ventajas [CIMdata 2001] [Dickerson 1997]:

- Se eliminan los procesos de búsqueda de datos.
- Se facilita el flujo de información en el seno del Grupo de Trabajo.
- Se elimina el tiempo invertido en trabajar con datos desfasados.
- Se proporciona un sistema de notificación para mantener informados a los miembros del equipo.
- Se permite trabajar a equipos de trabajo dispersos geográficamente.
- Se reduce de forma importante el tiempo de desarrollo y los costes globales.

La empresa objeto de estudio mediante la implantación de la herramienta PDM INTRALINK solventó el problema de desorganización y dificultad en la actualización de la información, que como previamente se había comentado, la afectaba gravemente.

Además, el correcto uso de esta herramienta, permitió seguir una metodología de trabajo concurrente, que mediante el uso de notificaciones permitiese al conjunto de usuarios tener conocimiento de las tareas realizadas, por quien y en qué momento del proceso, resolviendo de forma automática los problemas de transmisión de información que caracterizaban a la empresa.

La asignación de permisos a los distintos usuarios mediante esta herramienta, limitaba las acciones de los mismos, evitando modificaciones paralelas y no controladas de la información.

23.6 Conclusiones

Tal y como se ha expuesto en el caso de estudio, el despliegue de un entorno de ingeniería concurrente en la empresa requiere de un análisis detallado de la situación actual del proceso de desarrollo de producto y de la definición del estado deseado. El alcance del nuevo entorno dependerá de muchos factores como la complejidad del producto, el nivel tecnológico de la empresa o el grado de colaboración requerido en el desarrollo de producto, entre otros.

Una vez realizado este análisis, es necesario abordar un proceso de cambio en la empresa perfectamente planificado y equilibrado, teniendo en cuenta aspectos organizativos, metodologías de trabajo necesarias y herramientas requeridas. La utilización de una estrategia de cambio en la organización permitirá alcanzar de forma eficiente el entorno que facilitará mantener e incrementar la competitividad de la empresa en escenarios futuros. Podemos decir también que la definición de un sistema de indicadores para el proceso permitirá validar las mejoras obtenidas en el nuevo proceso respecto de las prácticas anteriores.

Definitivamente, la incorporación de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación en el proceso ayudará, tal y como ha quedado reflejado, a alcanzar los resultados deseados y consolidar la colaboración. Sin embargo, su consolidación dependerá no sólo de una buena gestión sino también de un cambio cultural y metodológico en la organización.

23.7 Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al programa nacional español de investigación Tecnologías Avanzadas de Producción que, cofinanciado con fondos FEDER, patrocinó parcialmente el trabajo desarrollado con el proyecto 1FD97^o0784 (TAP) "Implementación de las tecnologías avanzadas de fabricación y diseño en el ámbito de la Ingeniería Concurrente. Aplicación a una Empresa de fabricación de componentes de automoción". Asimismo, agradecemos a la empresa Radiadores Ordóñez, su inestimable ayuda.

23.8 Referencias

[Ader 2001], Ader, Martin. 2001. *Technologies for the Virtual Enterprise*. Electronic Workflow Organisation. WWW page. <http://www.e-workflow.org>, accessed.

[Burns 1997], Burns, T.W. Szczerbicki, E. 1997. *Implementing Concurrent Engineering: Case Studies from Eastern Australia*. Concurrent Engineering. Research and Applications. Vol. 5. Nº 2. pp 163-170.

[CIMdata 2001], CIMdata. Inc 2001. *Collaborative Product Definition management (cPDM): An Overview*. WWW page. <http://www.CIMdata.com>.

- [Conkol 1997], Conkol, Gary K. 1997. *The CAD/CAM Roundtable*. Society of Manufacturing Engineers Blue Books. CASA. SME..
- [Contero 2002], Contero, M; Company, P. Vila, C; Aleixos, N. 2002. *Product Data Quality and Collaborative Engineering*. IEEE Computer Graphics and Applications. Special Issue on CAD.
- [Dickerson 1997], Dickerson, C. 1997. *PDM Product Data Management: An Overview*. Society of Manufacturing Engineers Blue Books. CASA.SME
- [Manheim 1998], Manheim, Marvin. 1998. *Beyond GroupWare and Workflow*. J.L. Kellogg Graduates School of Management, Northwestern University.
- [Ostrosi et. al. 2001], Ostrosi et. al. 2001, *Concurrent Engineering: What model for its organization?*, Proceedings of Advances in Concurrent Engineering (CE2001), California, USA, pp 620- 626.i
- [Prasad 1996], Prasad, Biren. 1996. *Concurrent Engineering Fundamentals*. (Vol. I. Integrated Product and Process Organization and Vol. II. Integrated Product Development). Prentice Hall.
- [Sadiq 2000], Sadiq, Shazia W.; Marjanovic, Olivera; Orłowska, Maria E. 2000. *Managing Change and Time in Dynamic Workflow Processes*. International Journal of Cooperative Information Systems Vol. 9, Nos. 1 & 2, 2000, p 93-116.