

Metodología de modelado con herramientas CAD/CAM avanzadas

M. Contero González; P. Company Calleja; N. Aleixos Borrás; C. Vila Pastor
Departamento de Tecnología
Universidad "Jaume I" de Castellón
Campus del Riu Sec. 12071 Castellón de la Plana
contero@tec.uji.es; Tfno.: 964728125; Fax.: 964728106

1. Resumen

La utilización de herramientas de modelado 3D paramétricas conlleva un cambio radical en el proceso de diseño tradicional. Se puede afirmar que se pasa de una estrategia basada en planos, a otra basada en prototipos virtuales (o "digital mock-ups"). Además, la herramienta facilita la modificación de la metodología de trabajo; como mínimo incrementando las posibilidades del trabajo en equipo, y llegando, incluso, a fomentar el trabajo colaborativo.

Pero, para que la estrategia de diseño mediante prototipos virtuales sea viable y útil, debe resolverse el problema de la "calidad" de los modelos virtuales. Entendiendo por calidad que cumplan y mantengan las cuatro características clásicas (completo, consistente, conciso y eficiente) en *todas* las fases del proceso de diseño. Es decir, que el modelo generado en la fase de prototipado, debe ser válido en las fases de análisis, fabricación, etc., y en su utilización en rediseños futuros. Y se debe recordar que la validez y la capacidad de reutilización de un modelo sólido paramétrico, como los que actualmente se utilizan de forma mayoritaria en las aplicaciones de Diseño Asistido por Ordenador, dependen en gran medida de la secuencia de pasos seguidos en el proceso de modelado y de las relaciones de interdependencia entre las características funcionales ("features") del mismo.

En éste trabajo se presenta la experiencia obtenida por nuestro grupo de trabajo [1] en un proyecto en curso de realización junto con una empresa del sector de componentes de automoción. Esta experiencia se está plasmando en una "guía de estilo", en la que se detallan las estrategias a seguir para obtener modelos geométricos de calidad. Se trata de un documento destinado a homogeneizar la metodología de todo el equipo de diseño y entrenar a los nuevos diseñadores.

2. Introducción

El empleo de herramientas avanzadas para el diseño, tales como los modernos sistemas CAD paramétricos, permite incrementos elevados de la productividad, con reducción de costes y un acortamiento del tiempo invertido en el desarrollo de un producto. Pero con frecuencia, no se obtiene el máximo rendimiento de estas herramientas debido a una incorrecta implementación de las mismas [2]. En el presente trabajo, se presentarán algunas de las experiencias obtenidas en el transcurso del desarrollo del proyecto [9] “Implantación de Tecnologías Avanzadas de Diseño y Fabricación en el Ámbito de la Ingeniería Concurrente. Aplicación a una Empresa de Componentes para Automoción”¹ que reflejan la complejidad de las tareas a realizar para lograr la puesta en marcha de un sistema integrado de diseño asistido por ordenador.

3. Nuevas metodologías de desarrollo de productos

En el entorno cambiante y competitivo de muchos sectores industriales, el desarrollo de nuevos productos es una actividad esencial para la supervivencia y competitividad de las empresas. Por tanto, es importante que el proceso sea ágil y eficiente, de forma que se mejore la flexibilidad de la empresa para adaptarse a las diferentes necesidades del mercado. Para conseguirlo, existen diferentes estrategias de mejora del proceso de desarrollo de nuevos productos, pero la mayor parte ellas pasan por potenciar el papel del diseño y la disminución de la duración del ciclo de desarrollo del producto.

Mejorar el proceso de diseño se consigue trabajando de forma colaborativa y con modelos virtuales. Para acortar la duración del ciclo de desarrollo se aplican los métodos de la Ingeniería Concurrente.

3.1. Diseño mediante modelos virtuales

Durante las últimas décadas se han hecho muchos esfuerzos para conseguir sistemas de modelado geométrico que resulten “amigables” para los diseñadores y proyectistas y que produzcan modelo que sean “válidos” para todo el proceso de diseño.

Para conseguir entornos amigables para los diseñadores se debe partir del hecho de que, por una parte, la cantidad de información que un ordenador puede manejar es muy grande, y las operaciones que se pueden aplicar a dicha información también son muchas. Por otra parte, el ser humano tiene más capacidad de síntesis y su cerebro trabaja más cómodo a un nivel de abstracción mayor que el necesario para resolver las operaciones más elementales asociadas a cualquier problema. Por tanto, una buena sinergia entre el ser humano y el ordenador requiere que el ordenador oculte los detalles más elementales al usuario, al tiempo que le da el máximo control sobre los procesos más complejos; todo ello de forma amigable y simple. Dicho en otras palabras, el usuario debe *percibir* un comportamiento del ordenador (un “modelo de usuario”) lo más próximo posible al nivel de abstracción necesario para potenciar sus capacidades de análisis, síntesis y evaluación. Para lo cual es fundamental que pueda expresarse en un lenguaje natural, que disponga de la información necesaria (en el formato más apropiado), y que quede libre de las tareas más rutinarias. Cabe resaltar que en el caso del proceso de diseño, el esfuerzo para conseguir la amigabilidad no debe volcarse sólo en la capacidad de interacción de las aplicaciones CAD, es más importante conseguir que los propios modelos virtuales, que se requieren para todo el proceso de diseño, tengan dicha cualidad.

La validez de los modelos generados se mide en función de la capacidad de los mismos para describir el objeto, y la rapidez, precisión, eficiencia y variedad de las pruebas que se pueden efectuar sobre dicho modelo. Es por lo que se considera que los criterios que debe cumplir el modelo virtual son:

¹ Proyecto financiado dentro del Plan Nacional de I+D, programa FEDER. Referencia:1FD97-0784

- **Completitud.** La cual se logra generando modelos tales que cualquier “parte” de los mismos tenga una “representación” única.
- **Consistencia.** Lo que exige que cualquier “representación” debe corresponder a una única “parte”.
- **Concisión.** Supone que cada “parte” debe estar descrita una u sólo una vez, de forma que el modelo no presente redundancias.
- **Eficiencia.** Para lo cual, el modelo debe estar estructurado de forma que pueda dar respuesta directa a las interrogaciones (“queries”) a que será sometido.

En las definiciones anteriores se entiende que “representación” es cualquier forma de describir una característica del objeto modelado. Por tanto, una representación puede hacerse en lenguaje gráfico, en lenguaje matemático o de cualquier otro modo. En cualquier caso, el lenguaje deberá estar unívocamente especificado para que el modelo descrito con él pueda cumplir los criterios. En cuanto al concepto de “parte”, se entiende que el modelo se puede dividir de forma que cada uno de los fragmentos describa alguna característica. En el caso de que el modelo considere la geometría del objeto, las “partes” serán los elementos geométricos simples, que describen cada una de las características geométricas. Es decir, los “features” geométricos.

Por último, el concepto de “interrogación” hace referencia al tipo de cuestiones que pueden contestarse directamente (sin necesidad de cálculos) a partir de la información contenida en la representación del objeto. Por ejemplo, en un modelo sólido, la determinación de volúmenes es inmediata, no así en un modelo de fronteras. Este concepto es la clave para lograr modelos válidos para todo el proceso de diseño. Porque lo que se persigue es precisamente que el modelo esté estructurado de forma que pueda dar respuesta a los problemas que se plantean en las diferentes fases de dicho proceso. No considerar la eficiencia global del modelo en el momento de su generación, obliga a modificaciones constantes y costosas, que, además, son fuente de numerosos errores.

3.2.Las bases generales de la Ingeniería Concurrente

El ciclo tradicional de desarrollo de un producto comienza con la determinación de necesidades a través de las actividades de investigación y análisis de mercados. Estas técnicas proporcionan el rango de precios y las prestaciones esperadas por los potenciales consumidores del nuevo producto. Esta información se transforma en una serie de especificaciones, que permiten al departamento de Diseño, definir las características (materiales, formas, geometrías, etc.) del nuevo producto. Una vez elaborada toda la documentación (planos, listas de materiales, memorias descriptivas, pliegos de condiciones, etc.) que define al nuevo producto, ésta se distribuye a los otros departamentos de la empresa (Fabricación, Ventas, etc.) con el objetivo final de poner el nuevo producto en manos del consumidor en el plazo más breve.

En esta metodología, que se puede denominar *Ingeniería Secuencial*, intervienen diferentes actores con objetivos distintos. Por ejemplo, los diseñadores están principalmente interesados en la funcionalidad y prestaciones de sus productos, y muy raramente toman en cuenta o en consideración los procesos de fabricación. Esta forma de proceder no fomenta el diálogo entre los diferentes actores, salvo en muy contadas ocasiones, normalmente asociadas a la imposibilidad de cumplir algún requerimiento técnico fijado en una fase previa del proceso. En definitiva, el diseño se realiza en un aislamiento relativo entre los diferentes departamentos que intervienen en el mismo, y en consecuencia cualquier cambio del diseño original, que posteriormente sea necesario realizar, ocasiona retrasos y costes adicionales. Además, lo más grave, es que muchas modificaciones y alteraciones se producen en las últimas etapas del desarrollo del producto, justamente cuando éstas son más caras y difíciles de incorporar, dado que los costes de realizar cambios de ingeniería se incrementan logarítmicamente conforme los trabajos en curso se sitúan más tarde en el ciclo de vida del producto; ya que en muchos casos se han comprometido inversiones en herramientas y equipos. La importancia del problema se constata si consideramos que esta etapa supone aproximadamente un 5% del coste total de un producto, y que, sin embargo, las decisiones que se toman en ella determinan un 70% de su coste. Por tanto, es necesario reforzar el diseño y facilitar las herramientas que permitan la intervención en el mismo, de todos los elementos presentes en el ciclo de vida completo del producto. En otras palabras, es importante que se consideren todos los requisitos propios de todo el ciclo de vida del producto desde las fases más tempranas de diseño para atacar desde el

principio las causas que provocan retrasos en el proceso de desarrollo. Es necesario renunciar a la filosofía de "rehacer hasta que salga bien" en favor de "hacer las cosas bien a la primera".

Como consecuencia de la necesidad de reformular el proceso de diseño, para superar los problemas anteriormente citados, surge una nueva filosofía de trabajo en equipo y en paralelo (no secuencial), denominada *Ingeniería Concurrente* [6],[7],[8]; que supone una ruptura drástica con las prácticas pasadas, y que exige la creación de un nuevo entorno de diseño basado en el uso de herramientas informáticas, una extensiva cooperación interdisciplinar y una integración de las áreas funcionales de la empresa. Esta metodología de diseño busca un desarrollo integrado del producto que refuerce los valores del trabajo en equipo como la cooperación, la confianza y la distribución de datos, de manera que la toma de decisiones, que se realizan durante el trabajo en paralelo de las distintas áreas, se produzca de forma sincronizada, asegurando el intercambio constante de información.

Existe un amplio abanico de herramientas informáticas que facilitan la puesta en marcha de un entorno de ingeniería concurrente. Utilizar estas herramientas es fundamental. Por la necesidad de sincronizar la toma de decisiones y porque el método requiere gestionar una gran cantidad de información (planos, modelos, datos, textos...), que circula entre los miembros del equipo de trabajo que no siempre están físicamente próximos entre sí. Por tanto, uno de los elementos básicos para la implantación de la Ingeniería Concurrente es la incorporación de las tecnologías CAD/CAM/CAE y de los sistemas de gestión de datos del producto (P.D.M.). Su utilización ofrece enormes ventajas en todos los casos. Sin embargo su implementación es compleja, y diferente para cada sector productivo.

3.3. Organización productiva del sector del automóvil

Tal como puede verse en la figura 1, la organización productiva del sector del automóvil corresponde a una estructura jerárquica de, al menos, 3 niveles. En la cúspide están las grandes multinacionales del sector. En el segundo nivel aparecen los subcontratistas principales, que cada vez asumen un mayor nivel de responsabilidad, ya que realizan tanto labores de diseño como de fabricación de los subsistemas que se les encomiendan.

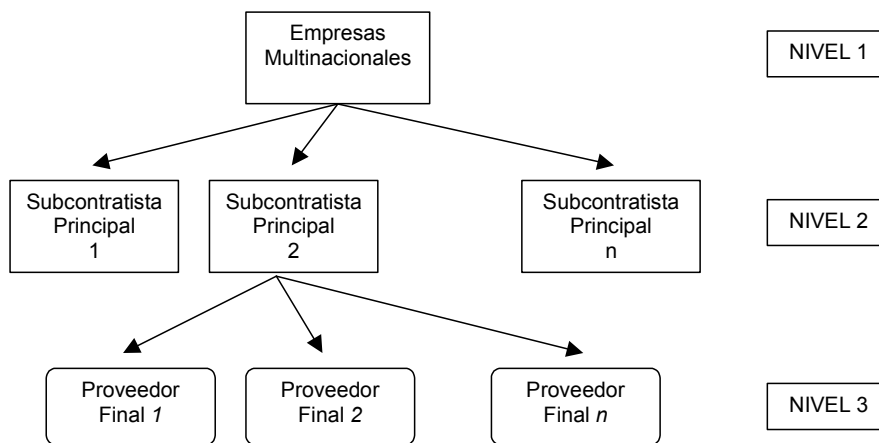


Fig. 1 - Estructura productiva del sector del automóvil

Actualmente, el flujo de información entre los niveles 1 y 2 empieza a sufrir transformaciones drásticas, porque las empresas multinacionales empiezan a exigir modelos geométricos 3D de los subsistemas, para integrarlos en sus sistemas de maquetas virtuales ("digital mock-ups"). Esta exigencia irá creciendo hasta desplazar la tradicional comunicación a través de planos en soporte papel o soporte electrónico.

Prosiguiendo con el análisis de proceso de diseño, encontramos que existen ciertos momentos en los cuales es necesario proporcionar información geométrica a otros subcontratistas de niveles inferiores de la cadena. A estos efectos, conviene distinguir entre los que podríamos llamar "proveedor de análisis", que son aquellas empresas de consultoría que realizan cálculos (normalmente con herramientas del tipo CAE)

para determinar el comportamiento resistente, térmico, simulación de procesos de inyección, etc. y los "proveedor de fabricación", que asumen la fabricación, y tal vez el diseño, de algún componente específico (ver figura 2). Un ejemplo típico de este último tipo de subcontratista sería el fabricante de moldes. La diferenciación es importante porque tienen unas necesidades diferentes a la hora de manipular la geometría que reciben. Los proveedores de análisis normalmente necesitan simplificar la geometría, mientras que los proveedores de fabricación deben acceder a la geometría completa. Además, muchos de los proveedores (por ejemplo los moldistas) deben tener la capacidad de realizar modificaciones en dicha geometría.

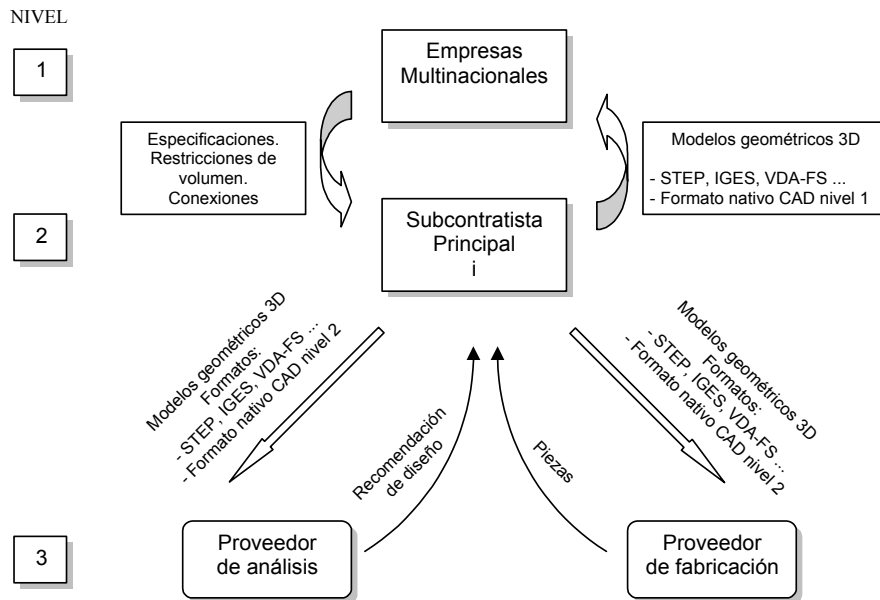


Fig. 2 - Flujos de información

Podemos establecer, sobre la base de estas relaciones, una serie de escenarios y de necesidades de manipulación, que se representan en la figura 2. Como puede observarse, existe una transferencia de información de modelos geométricos 3D con diferentes objetivos y necesidades. Para realizar ese intercambio de información disponemos básicamente de tres alternativas [3],[5]:

- A.- Utilización del mismo sistema CAD.
- B.- Empleo de diferentes sistemas CAD, con comunicación por traducción directa (Fig. 3)
- C.- Empleo de diferentes sistemas CAD, con comunicación por traducción indirecta. (Fig. 4)

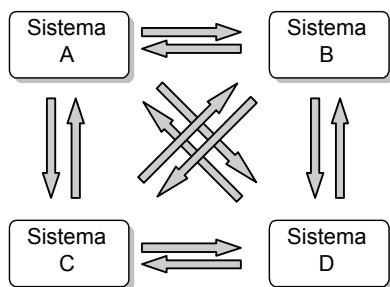


Fig. 3 - Esquema de traducción directa

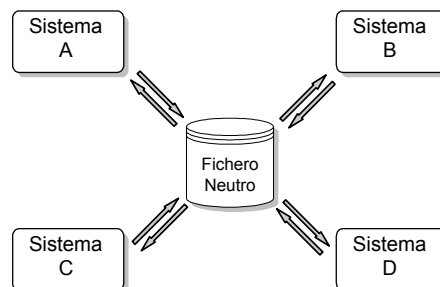


Fig. 4 - Esquema de traducción indirecta

La relación entre los niveles 1 y 2 se caracteriza porque en muchas ocasiones la multinacional obliga al subcontratista a utilizar el formato nativo del sistema CAD predominante en la misma (normalmente uno de los cuatro grandes sistemas integrados: Unigraphics, Catia, Pro/ENGINEER o Ideas). Con lo que se descarta la alternativa C. Sin embargo, las otras dos alternativas pueden ser problemáticas para la empresa del nivel 2. La opción A puede suponer un coste importante, puesto que lo normal será trabajar para varias empresas multinacionales diferentes, con lo cual, no resulta operativo mantener varios sistemas

CAD diferentes en el seno de la empresa. Por ello, en este caso la opción B sería la más interesante. Sin embargo es una solución que también representa un coste importante, pues en primer lugar debe existir en el mercado ese traductor directo, y en segundo lugar el traductor debe soportar las versiones de los dos sistemas CAD a comunicar. Teniendo en cuenta el ritmo de aparición de nuevas versiones de cada paquete, éste es un proceso que requiere de una inversión económica constante o el recurso a empresas de servicios que realicen la traducción.

El problema tiene solución la mayor parte de las veces, dado que la exigencia de modelos 3D por parte de las multinacionales suele provenir del empleo por parte de éstas de maquetas virtuales, por lo que normalmente no es necesario acceder ni a la información paramétrica ni de elementos característicos ("features") utilizados en el modelo. Entonces parece más razonable negociar una solución del tipo C, puesto que simplemente se requiere una representación 3D del diseño realizado. En este caso, la tendencia actual es la utilización del formato STEP (ISO 10303) como vehículo de intercambio, recurriendo para ello al protocolo de aplicación 203, a la espera de que el protocolo 214, específico para el sector del automóvil, alcance el rango de norma ISO a finales de este año, o principios del 2001.

La relación entre los niveles 2 y 3 tiene aspectos diferenciados que a continuación vamos a analizar. Tenemos en principio dos variantes según el proveedor (nivel 3) realice labores de análisis o de fabricación. En el caso de realizar labores de análisis ya hemos comentado que normalmente se requerirán operaciones de simplificación de la geometría como paso previo al empleo de las herramientas de análisis (tales como los programas de simulación basados en técnica de elementos finitos). Si el modelo se ha generado considerando esta etapa, el problema se resuelve fácilmente desactivando algunos elementos característicos ("features") del modelo. Sin embargo, en función de la metodología de diseño empleado, esta "desactivación" puede complicarse en virtud de las relaciones de interdependencia que se establecen entre los elementos característicos durante el proceso de modelado. Algo parecido ocurre en el caso de que se intente realizar tareas de fabricación. Disponer de un modelo geométrico 3D facilita mucho la utilización de aplicaciones CAM. Pero en ciertos casos, como puede ser en la fabricación de moldes, se hace necesario intervenir sobre la geometría nominal de las piezas para realizar el diseño de los moldes, dado que son necesarias ciertas alteraciones de la misma para que las piezas finales obtengan la geometría deseada.

En todos estos razonamientos estamos suponiendo que la empresa de nivel 3 puede recibir un modelo 3D que contiene información sobre "features". Esto supone una restricción importante, pues en la práctica obliga a utilizar un mismo sistema CAD entre las empresas del nivel 2 y 3. Sin embargo, la realidad es esa, ya que en la actualidad no se pueden utilizar las alternativas B y C porque no existe un formato neutro que nos permita intercambiar información sobre elementos característicos. En un horizonte cercano, algunas clases de conformidad del protocolo 214 de ISO 10303 soportarán esta característica, pero mientras tanto, la única alternativa es compartir la misma aplicación CAD.

4. Metodología de modelado propuesta

En el caso particular que consideramos, la empresa con la que colaboramos se encuentra en el nivel 2. Concretamente, se encarga del diseño y fabricación de radiadores. La relación entre multinacional y subcontratista se establece a través de un pliego de condiciones técnicas en las que se especifican las condiciones de trabajo que debe cumplir el subsistema radiador, así como unas restricciones volumétricas, en las que se definen las dimensiones principales, así como la localización de los diferentes conductos de conexión con el resto del sistema de refrigeración del motor. A partir de esta información, que además sufre diversas alteraciones conforme avanza el proceso de diseño, el subcontratista debe acometer el diseño de detalle del radiador.

Se ha elaborado una metodología de diseño [4], para cuya puesta en marcha se han empleado diversas herramientas comerciales, así como aplicaciones propias. Se ha considerado que el mecanismo más adecuado para garantizar una calidad mínima de los diseños es la utilización de analizadores comerciales de calidad y el desarrollo de aplicaciones propias, que permitan verificar el cumplimiento de una serie de "reglas de estilo" definidas en el seno de la empresa. Estas reglas de estilo se agrupan en lo que denominamos "guía de estilo". Entendemos que es uno de los elementos claves del proceso de implantación [9], y será la base del proyecto piloto. Se ha optado por la implementación de las Guías de

Estilo en documentos HTML, porque facilita los procesos de actualización y permite su consulta desde los distintos puestos de trabajo.

El procedimiento seguido para asegurar la calidad de los modelos geométricos, ha sido el forzar a los diseñadores a evaluar la calidad de sus modelos como paso previo a la inclusión de estos en la base de datos del sistema P.D.M

4.1.El concepto “guía de estilo” en la generación de modelos de diseño

Se denomina “guía de estilo” al documento que recoge todas las reglas de estilo de un problema de diseño particular. Las reglas de estilo tratan tanto sobre la organización interna de los modelos como de los conjuntos. En ellas se detallan las prácticas a seguir para iniciar la generación del modelo. Entre otros, se detallan criterios para generación de piezas de partida, estructura de capas, parámetros, unidades, precisión, notas y identificación de las funciones. Otros aspectos que se detallan tienen relación con la secuencia recomendada de operaciones, así como soluciones tipo de problemas geométricos de modelado. En la práctica esto se traduce en una biblioteca de funciones definidas por el usuario y otra biblioteca de familias de piezas.

La guía de estilo también contiene recomendaciones referidas a la organización interna de los conjuntos, relativas a planos de referencia, procedimiento de ensamblaje y representaciones simplificadas. Por último incluye la metodología para la realización de planos, que se basa en unos archivos de configuración comunes y también recomendaciones relativas a la generación de vistas y organización de capas.

La elaboración de la guía de estilo es un proceso dinámico, en el que con el transcurso del tiempo se van incorporando aquellas prácticas que se observa que dan modelos mas flexibles. Para la elaboración de la primera versión se ha procedido al modelado y análisis de una serie de piezas características, para de esta forma extraer conclusiones que sean aplicadas en los futuros diseños.

Una parte de la guía de estilo se ha realizado en colaboración con los principales proveedores de calculo y fabricación. El objeto de esta colaboración, es el de explorar aquellas alternativas de diseño que son más interesante de cara al tipo de tareas que estos proveedores realizan habitualmente. El objetivo final de ello, es el acortar de forma global el tiempo de desarrollo del producto y una reducción de costes. Siguiendo una estrategia de modelado adecuada, es posible eliminar una serie de pasos previos de preparación e incluso de generación de modelos 3D, que a estos proveedores no les proporciona un valor añadido a su trabajo, y sólo puede ser fuente de errores y de alargamiento de los plazos de entrega. La integración de los proveedores en la guía de estilo pone de manifiesto la importancia que tiene seguir metodologías de modelado adecuadas, y la documentación de las mismas. Además el empleo de un estándar como es el formato HTML permite que el proveedor acceda a la documentación. La confidencialidad se asegura asignando claves de acceso a zonas de acceso externo restringido en el Web de la empresa.

4.2.Implementación

Para la puesta en marcha de la metodología propuesta se han empleado diversas herramientas comerciales, así como aplicaciones propias. La estructura del sistema es la que se presenta en la figura 5. En primer lugar, se debe destacar que la plataforma CAD elegida es el sistema Pro/ENGINEER de Parametric Technology. Se ha utilizado el sistema P.D.M de la empresa (Pro/INTRALINK).

El segundo aspecto a destacar es que dentro de la intranet del departamento de diseño se ha habilitado un espacio Web destinado a albergar la documentación HTML de la guía de estilo. Para garantizar su cumplimiento se utiliza la herramienta comercial Modelcheck, que permite comprobar alguna de las recomendaciones recogidas en la guía de estilo. Otras comprobaciones se realizan mediante una aplicación realizada con la biblioteca Pro/TOOLKIT, que mediante programación en lenguaje "C" permite acceder a la base de datos interna de Pro/ENGINEER. Estas herramientas emiten una serie de informes que permiten al diseñador realizar las modificaciones oportunas en el diseño para ajustarse a los estándares de modelado de la empresa. En el caso de no presentar errores, el diseño es admitido en la base de datos común ("commonsplace") del sistema de gestión de datos del producto (P.D.M.).

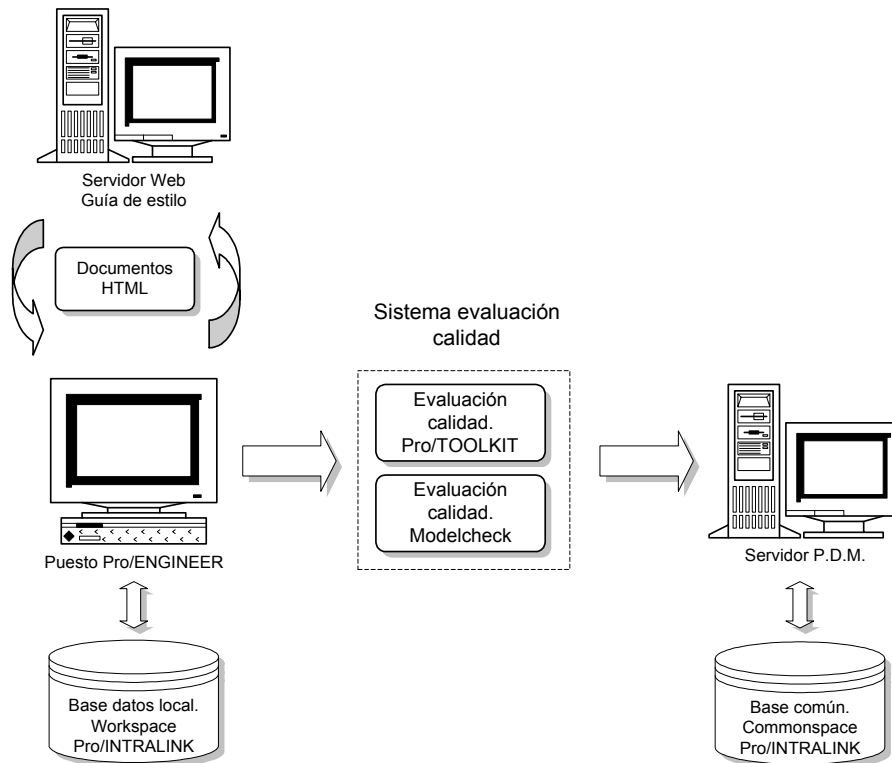


Fig. 5 - Estructura de la implementación

5. Conclusiones

La metodología seguida en la generación del modelo condiciona la facilidad para realizar tareas que impliquen simplificaciones o alteraciones de la geometría. Ni el hecho de utilizar la misma plataforma CAD garantiza que podamos reutilizar sin problemas los modelos 3D generados. Por ello cobra una importancia creciente el concepto de calidad de un modelo geométrico, entendida como la capacidad de un modelo para ser reutilizado. Este es un aspecto clave, si se quiere tener éxito en la implantación de una metodología de trabajo basada en los conceptos de ingeniería concurrente. No basta con disponer de un modelo 3D, es necesario que su estructura interna siga una metodología de construcción que permita su reutilización con posterioridad. Disponer de una metodología de modelado es la clave para implantar con éxito las modernas herramientas de diseño asistido por ordenador. La generación de modelos de calidad, permite su reutilización en diseños futuros, y facilita el trabajo de los proveedores. Todo ello repercute en una disminución de costes y aumento de la productividad.

Poner a punto una herramienta de este tipo, es una tarea larga y laboriosa, pero los beneficios obtenidos compensan con creces el esfuerzo realizado. El principal inconveniente para poner en práctica una iniciativa de este tipo es la escasez de herramientas comerciales enfocadas a la definición y comprobación de estrategias de modelado. Sin embargo, afortunadamente, empiezan a aparecer aplicaciones que complementadas con desarrollos propios permiten implementar estrategias como las descritas en el presente trabajo.

6. Referencias

- [1] Sitio web del grupo CAD/CAM de la UJI: <http://www.tec.uji.es/CADCAM/presentacion.html>.
- [2] Anderl, R. ; Mendgen R.; "Analyzing and Optimizing Constraint-Structures in Complex Parametric CAD Models" en "Geometric Constraint Solving and Applications". Berlín (Alemania):Springer-Verlag, 1998. ISBN:3-540-64416-4

- [3] Bloor, M.S.; Owen, J. "Product data exchange". Londres (Reino Unido): UCL Press, 1995. ISBN:1-85728-279-5
- [4] Contero M.; Company P.; Aleixos N.; "A Practical Approach to a CAD Implementation on a SME (Small and Medium Enterprise)". Conference Proceedings of the 11th ADM International Conference on Design Tools and Methods in Industrial Engineering. Vol. B, pp. 35-42 Palermo (Italia) 1999. ISBN: pendiente
- [5] Fowler, J.; "STEP for data management, exchange and sharing". Twickenham (Reino Unido): Technology Appraisals, 1995. ISBN: 1-871802-36-9
- [6] Parsaei, H.R.; Sullivan, W.G.; "Concurrent Engineering. Contemporary Issues and Modern Design Tools". London (Reino Unido): Chapman & Hall ,1993 ISBN:062117110523
- [7] Prasad, B.; "Concurrent Engineering Fundamentals. Integrated Product and Process Organization". Upper Saddle River, N.J. (USA): Prentice Hall, 1996 ISBN:062117110523
- [8] Shina, S.; "Successful implementation of concurrent engineering products and processes". New York (USA): Van Nostrand Reinhold, 1994. ISBN: 062117110523
- [9] Vila C.; Contero M.; "Implementing Design and Manufacturing Advanced Technologies in a Concurrent Engineering Environment", Proceedings of the 5th International Conference on Concurrent Enterprising, pp. 505-512, La Haya (Bélgica) 1999. ISBN: 0951975986