

INGENIERÍA BASADA EN CONOCIMIENTO: KBE (*KNOWLEDGE BASED ENGINEERING*)*

RESUMEN

El principal activo de una Empresa es el Conocimiento, patrimonio de las personas que la forman. El Conocimiento es un concepto complejo, que no asume sólo teorías, métodos y reglas, sino también (y de la máxima importancia) los propios procesos mentales que desencadenan la creatividad.

La irrupción masiva de la Informática en todos los ámbitos de la Ingeniería, ha conllevado tradicionalmente la creación de diversas herramientas que el ingeniero puede usar discretamente, llegando a conformar las llamadas actividades "CAx", acrónimo que significa cualquier actividad para la que se utilice la potencia de proceso de ordenadores (*Computer Aided "x"*, donde "x" puede ser D, para Dibujo (*Design*); E para Ingeniería (*Engineering*); M para Fabricación (*Manufacturing*); I por Innovación (*Innovation*), etc.).

La evolución lógica de este conjunto de herramientas es hacia un punto de unión que permita integrarlas bajo una línea de acción común, iluminada precisamente por el proceso creativo. La "captura" del Conocimiento individual, en lo que se refiere a proceso de desarrollo, y su implementación en entornos multidisciplinares enfocados a una determinada aplicación, es lo que se conoce como KBE o más exactamente *KBE Generativo*.

Esta comunicación pretende comentar el "estado del arte" de estas tecnologías, que ya han madurado de su base como una extensión del CAD, y constituyen un entorno de modelado dinámico que puede aplicarse a un amplio espectro de problemas de Ingeniería.

PRECEDENTES

Desde las primeras realizaciones prácticas de aplicaciones informáticas, se ha procurado introducir elementos de conocimiento, en forma de criterios de selección, resolución de fórmulas y ecuaciones, etc. De una forma más ó menos paralela se desarrollaron las bases de los llamados "*Intelligent CAD*" y los Sistemas Expertos.

En el primer caso, la idea natural es añadir "primitivas" al *software CAD*, de forma que se automatice la reproducción de elementos geométricos corrientes como, por ejemplo, tornillos. La siguiente idea, que ha causado una verdadera revolución en estos paquetes, es la parametrización del modelo, y así en lugar de contar con extensas librerías de objetos más o menos parecidos, se puede disponer de un elemento básico que altera sus dimensiones relativas mediante relaciones variables.

Esta aproximación permite tener geometrías pre-creadas, que se adaptan a cada nuevos imperativos de diseño con la simple modificación de unos determinados parámetros, permitiendo una reducción considerable del tiempo de proyecto. A estas funciones se añaden otras de auto corrección, como alineado automático, cierre de curvas o superficies, bús-

queda automática de intersecciones, etc., que permiten una primera abstracción del hecho mismo del dibujo y una mayor concentración en el diseño como tal.

Los Sistemas Expertos introducen una nueva dimensión al catalogar los conocimientos en forma de reglas de una expresión relativamente sencilla. Esto permite una captura real de "*best practices*", regulaciones y cálculos sencillos y, fundamentalmente, una validación del diseño contra los mismos, de manera que no puedan deslizarse errores inadvertidos o se pueda entregar un proyecto que viole la legislación pertinente.

La forma de trabajo de esta aproximación es fundamentalmente la labor de un motor de inferencia que explora un proyecto realizado contra un conjunto de reglas, elaborando una lista de desviaciones, que se utiliza en la práctica para corregir manualmente el proyecto original. Aunque las reglas pueden ir actualizándose, se trata de un sistema pasivo; y en todo caso, defensivo, ya que exige la elaboración previa del proyecto a examen.

De la crítica a estas primeras aproximaciones nacen las características deseadas de un sistema de captura y explotación del conocimiento:

- **Captura de Conocimiento Experto**; no sólo de reglas ejecutivas,

Narcís Saurina
Director de AIDA, S.L.



* Ponencia presentada en el marco de AEROTRENDS 2004, III Conferencia Internacional de "Nuevas tendencias de Fabricación para la Industria Aeronáutica", celebrada en Bilbao los días 8 y 9 de noviembre de 2004. Agradecemos al Cluster Hegan y al Congreso AEROTRENDS la colaboración prestada.

sino del proceso de desarrollo del proyecto como tal. Sistema Reactivo; no un sistema pasivo que “critica” un determinado resultado, sino un sistema que va condicionando cómo se elabora consistentemente este resultado.

- **Modelo Generativo**; de forma que no se deba de generar un proyecto por métodos tradicionales para luego someterlo a un *test* de calidad.

- **Reglas de Validación**; embebidas en el propio proceso generativo, para recoger todas las reglamentaciones y criterios empíricos que apliquen.

- **Automatización de Procesos de Ingeniería**; para aumentar la cantidad y calidad de los proyectos, permitiendo la interacción con todas las técnicas auxiliares necesarias, tales como procesos de cálculo, simulación, optimización, ...

Probablemente uno de los puntos fundamentales es “romper” la dependencia respecto al diseño geométrico que se ha venido imponiendo como núcleo central de un proyecto, colocándolo en su justa medida: como “resultado” de un proceso holístico de desarrollo.

BASES TEÓRICAS

El tratamiento de datos, visto desde un punto de vista “ascendente”, es decir, desde lo más particular a lo

más general, exige su estructuración para generar información; a su vez, hay que comprender la información para tener conocimiento, que debidamente utilizado puede generar innovación. En este mismo sentido se trabaja la verificación de las condiciones contractuales o de especificación de todo proyecto.

A su vez, siguiendo una dirección “descendente” en el sentido del flujo de los requisitos de diseño, se parte de las especificaciones de un sistema para llegar con su estudio a un diseño conceptual, que, a su vez, derivará en un diseño industrial hasta llegar al máximo grado de detalle. Los detalles finales alcanzan el estado de mediciones, incluyendo por tanto los costes del proyecto.

La base documental en que se apoyan ambas aproximaciones es la misma, lo que permite establecer flujos en ambas direcciones, respetando las relaciones de dependencia. En consecuencia, la línea teórica se aparta de un avance lineal, para convertirse en un proceso evolutivo dinámico con múltiples realimentaciones.

ORIENTACIÓN A OBJETOS

Para el desarrollo de este tipo de aplicaciones, el marco ideal es una arquitectura del sistema orientada a objetos: se examinan los aspectos del mundo real que se necesitan modelar

para realizar una tarea o resolver un determinado problema, y se desarrollan los modelos utilizando objetos que reflejan el mundo físico. Así, la conceptualización, el mantenimiento y las modificaciones del *software* se pueden realizar fácilmente.

La representación del árbol jerárquico de los objetos que constituyen el proyecto en su totalidad, es una forma visual de captar globalmente el entorno para adaptar el propio proceso de diseño a cualquier iniciativa emergente. Las mismas propiedades físicas se pueden modelar como objetos; los objetos pueden tener subobjetos a diversos niveles, y mantener relaciones de dependencia que se propagan a lo largo de la estructura.

Una estructura orientada a objetos se basa en el concepto de Clase, como abstracción de una determinada realidad; la “instanciación” de una clase genera un objeto. Cada clase tiene propiedades y métodos (operaciones) asociados; el otro concepto fundamental es el de Herencia, mediante el cual un objeto adquiere las propiedades y métodos de la clase de la que deriva, en primer lugar, así como de las clases superiores en la cadena jerárquica. Esta es una forma práctica de establecer las relaciones de dependencia entre variables, que en realidad constituye una parte importante de la “captura” del conocimiento.



De una forma simplificada, se puede decir que un proyecto no es más que la instanciación de una serie de objetos en una estructura de árbol jerárquico, una vez que se aplican las condiciones de entorno específicas en forma de valores concretos de sus propiedades, y se permite su propagación a lo largo de la estructura de conocimiento, mediante las relaciones de dependencia.

MODELO DE CÁLCULO ÚNICO

Contemplando un desarrollo en espiral, a lo largo de la ejecución de un proyecto se van consolidando diversos hitos en forma de modelos: Conceptual, Preliminar, Definitivo y Detallado. En cada fase hay distintos aspectos a poner de relieve, según las necesidades específicas: así, en una etapa conceptual, se puede aceptar perfectamente un *layout* compuesto por volúmenes, en el que se estudia la ubicación, relaciones y circulaciones relativas entre los diversos objetos.

Sin embargo, en otros momentos más avanzados (en círculos cada vez más interiores de la espiral), esta aproximación no es suficiente, y hay que especificar los detalles geométricos, por ejemplo la orientación de los conectores, puesto que va a influir en cómo se trazan las tuberías o los distintos cableados. En otras ocasiones, convendrá disponer de mallas de elementos finitos para analizar determinados comportamientos, etc.

Este enfoque permite derivar el tipo de modelo y su alcance a partir de un modelo único: simplemente se trata de un paso jerárquico superior de la estructura en árbol. La relación de dependencias hace que se propaguen dinámicamente los cambios eventualmente derivados de cada rama de actuación, actualizando todo el proyecto en consecuencia.

Precisamente ésta es una de las mayores ventajas de KBE: uno de los puntos de mayor ineficacia en la aproximación convencional es la existencia de "islas" de *software*, cada una dedicada a un particular dominio. Por tanto, se genera la necesidad de convertir datos, añadir o suprimir características y reintroducir informa-

ción entre aplicaciones dispares, lo que consume mucho tiempo.

CÁLCULO BAJO DEMANDA

El modelo único establece (o mejor dicho, reestablece) las relaciones de dependencia entre objetos, a partir de las acciones específicas en cada rama, conforme avanza el proceso. Estas relaciones quedan "atrapadas" en la propia estructura procesal (lo que constituye el conocimiento), pero no es necesario que tengan una proyección real en todo momento, ya que ello exigiría un esfuerzo de cálculo continuo.

Otra ventaja de la aproximación KBE, es que no es necesario "instanciar" un resultado en cada momento, sino que sólo se entrará en proceso de cálculo en el momento que se "rompa" una relación de dependencia necesaria para continuar con un proceso, ó en el momento que sea necesario disponer de resultados explícitos. Por tanto, se ahorra mucho tiempo y recursos utilizando sólo cálculo bajo demanda.

Para clarificar esta importante característica, valga de nuevo el ejemplo de trazado de tuberías: considerando una relación de dependencia puramente topológica entre orígenes y destinos (que pueden ser múltiples y ramificados), más una relación de cálculo de diámetros en función de las pérdidas de carga asumibles por longitud (véase que el modelo se puede sofisticar con otras restricciones, como radios de curvatura permisibles, estandarización de tramos, pérdidas térmicas, etc.), cualquier desplazamiento de un elemento conectado, como un depósito, bomba o intercambiador de calor, va a provocar el recálculo de toda la tubería. Con el cálculo bajo demanda, se pueden aplicar distintos algoritmos de optimización de las posiciones relativas de los elementos, con tantas iteraciones como sea necesario, y solamente proceder al cálculo cuando se alcance la solución considerada definitiva.

INGENIERÍA SIMULTÁNEA

Las dos características anteriores permiten una implementación muy

eficaz de la llamada ingeniería concurrente o simultánea: en efecto, al disponer de un modelo de cálculo único, la estructura del proyecto ofrece de forma simultánea los modelos derivados adecuados a cada especialidad. Así se pueden trabajar simultáneamente aspectos de dimensionado, de cálculo estructural, de análisis de rendimiento, de refinamientos geométricos, etc., de forma que el resultado final se provoque bajo demanda, en cualquier momento del proceso que se requiera.

De hecho, cada uno de los campos concurrentes es realmente la aportación de conocimiento de dominio que el sistema captura y "digiere": cada aportación se propagará en todas las direcciones del modelo, de forma que se cumplan todos los requisitos de diseño impuestos desde los diversos puntos de vista que apliquen (técnicos, económicos, sociales, estéticos, ...), armonizados en el mismo instante de la "instanciación" bajo demanda.

Una parte importante de esta colaboración distribuida, es el uso de los recursos de Internet: no es necesaria la proximidad física para el trabajo simultáneo, lo que potencia aún más la contribución de personas y centros de alta especialización.

ANÁLISIS INTEGRADO DE COSTES

Como corolario del nivel de detalle al que es posible llegar de una forma automatizada, en el extremo de la espiral se encuentra la estimación de costes, pero no de una forma asociativa o comparativa, sino mediante estados reales de mediciones, utilizando el modelo ABC: "*Activity Based Costing*". Se pueden definir de una forma precisa los costes mediante enlaces paramétricos a los atributos y geometría del modelo. Así, el presupuesto económico se trata como un "igual" en el análisis del proceso y no como un resultado o consecuencia.

Esta aproximación permite introducir *curvas de aprendizaje* y factores de capacitación desde las primeras fases de desarrollo, de forma que en cada momento se conozca la reper-

cusión económica de cualquier decisión técnica.

OPTIMIZACIÓN INTEGRADA

Tradicionalmente se abordan criterios de optimización o estudios económicos asociados a determinadas disciplinas, utilizando eventualmente distintas herramientas, cuando en muchas ocasiones la solución óptima puede estar fuera del campo de búsqueda. Puede darse el caso que la preparación de los datos necesarios para la optimización requiera una potencia de cálculo muy superior a los propios algoritmos de optimización. A su vez, es necesario interactuar con los distintos procesos para correlacionar un resultado común.

La clave, de nuevo, es la generación de un modelo único que integra todas las relaciones de dependencia: esta estructura automatiza el flujo de datos entre las distintas herramientas de optimización, promoviendo un conjunto de óptimos de diseño y eliminando la tediosa labor de interrelacionar diversos procesos.

DOCUMENTACIÓN Y PRESENTACIÓN

Los programas KBE incorporan capacidades para gráficos, diagramas, planos de Ingeniería, dimensiones, anotaciones, mapas de contorno y vectoriales, etc., de forma nativa. Adicionalmente, uno de los aspectos más desarrollados en todos los órdenes, es la capacidad de interfaz con paquetes externos, entendiendo el enlace mismo como un objeto.

También se dispone de la capacidad de tratamiento y manipulación de texto, que permite la gestión de consultas y la presentación de análisis de datos de forma automática.

Respecto a la posibilidad de cooperación vía Internet, existe la posibilidad de presentación a través de la red mediante exploradores convencionales "plug-ins" asociados al modelo en tiempo real o a resultados PDM.

IMPLEMENTACIÓN

Normalmente es conveniente formar tres equipos para la implementación de un proyecto basado en KBE:

Equipo de expertos en el(los) dominio(s) de conocimiento.

Equipo de usuarios finales.

Equipo de analistas y desarrolladores de *software*.

Estos equipos tienen que consensuar las especificaciones de entorno, incluyendo las funcionales, la interfaz de usuario y la gestión de datos.

La estructura es modular, abarcando diversos módulos. Típicamente los siguientes:

Módulo de Diseño.

Módulo de Análisis.

Módulo de Optimización.

Módulo de Presentación y Documentación.

El **Módulo de Diseño** integra un entorno de modelado de sólidos/superficies: permite la configuración y diagrama de los elementos estructurales, definición de sus dimensiones, parámetros topológicos y propiedades de los materiales. Durante la etapa conceptual, los componentes son sólo una representación. Sus propiedades detalladas se derivarán automáticamente conforme el proceso evolucione, mediante los métodos de análisis integrados para el dimensionado estructural, y los métodos de fabricación para refinar las formas.

Así, el entorno soporta una evolución del diseño eficiente y efectiva. La bondad de esta aproximación radica en la posibilidad de crear representaciones conceptuales de las piezas, en coexistencia con representaciones preliminares y detalladas, que se irán perfilando a lo largo del proceso de diseño.

El **Módulo de Análisis** incluye métodos personalizados de generación de mallas paramétricos, basados en reglas, estructurados e híbridos. Los atributos de cargas, entorno y condiciones iniciales se pueden vincular a la geometría de las piezas y asociarse automáticamente con los grupos de mallas definidos.

Una característica única de este entorno es el etiquetado y propagación de atributos. El proceso de etiquetado de atributos sigue las variaciones y mejoras en la topología del modelo durante el proceso de generación de la geometría y la modificación mediante operaciones booleanas.

El **Módulo de Optimización** soporta y gestiona métodos de exploración y estudios de viabilidad. Captura las interacciones entre diversas especialidades y, por consiguiente, cuantifica las relaciones inter disciplinares. Proporciona un entorno visual único para armonizar el diseño del modelo y los métodos de optimización.

Los métodos de optimización, variables y restricciones pueden alterarse en modo de ejecución, siguiendo las directrices del usuario en cada momento.

El **Módulo de Presentación y Documentación** gestiona las versiones y variantes del modelo y soporta la visualización de datos y resultados. Organiza y almacena los parámetros de configuración y resultados del modelo. Cuando diversos usuarios hacen estudios de viabilidad tipo "qué pasaría si", interactuando en diseño colaborativo "off-line", el sistema mantiene la trazabilidad de estas acciones.

Adicionalmente, este módulo soporta en entorno de red la definición, gestión y publicación de todos los aspectos de un proyecto de Ingeniería, facilitando la colaboración entre todos los participantes.

CONCLUSIONES

Hasta la fecha, el *software* industrial se ha basado en herramientas de aplicación dedicadas a entornos especializados o dominios específicos de Ingeniería. Entre sí no tienen mucha (o ninguna) interoperabilidad. Esta comunicación propone una estructura de modelado orientada a objetos que contempla un modelo unificado con el conocimiento del dominio general de la aplicación, integrando todas las herramientas *software* y todos los procesos de Ingeniería necesarios para un desarrollo de colaboración.

Este entorno mejora notablemente el proceso global de Ingeniería. Los estudios de detalle están completamente automatizados para reducir tiempos y costes de Ingeniería, a la vez que expande el espacio de exploración permitiendo más iteraciones y, en definitiva, la optimización del diseño. ■