

## MODELIZADO DIGITAL. ANALISIS DEL MODELO

Jaime López Soto; Pilar Ramírez López-Para; José Luis Caro Rodríguez

*E.U.I.T.I. de Bilbao*

*Universidad del País Vasco UPV/EHU Euskal Herriko Unibertsitatea*

### Abstract

This paper is the result of a project to improve methods of digitization through parametric CAD software.

Analysis Model should be independent of the CAD software used, therefore, it has been created a protocol to guide this analysis that consists on a Functional Analysis, a Geometric Analysis and, with them, generate a Matrix Operations.

The Functional Analysis separates the action that makes the component of the product itself, which is carried out to seek new solutions to the same concept.

Geometric Analysis consists of assigning the geometry that solves each of the functions obtained in Functional Analysis.

Matrix Operations consists of planning the best way to generate the selected geometry in Geometric Analysis with the basic operations provided by most commercial CAD applications.

**Keywords:** *analysis model; geometric analysis; matrix operations*

### Resumen

Esta ponencia es el resultado de un proyecto para mejora de métodos de digitalización mediante software CAD paramétrico.

El Análisis de Modelo debe ser independiente del software de CAD empleado, por ello, se ha creado un protocolo que guíe ese análisis compuesto por un Análisis Funcional, un Análisis Geométrico y, con ellos, generar la Matriz de Operaciones.

El Análisis Funcional consiste en separar la acción que efectúa el componente del propio producto que la lleva a cabo, para buscar nuevas soluciones a un mismo concepto.

El Análisis Geométrico consiste en asignar la forma geométrica que resuelva cada una de las funciones obtenidas en el Análisis Funcional.

La Matriz de Operaciones consiste en planificar la mejor manera de generar la geometría seleccionada en el Análisis Geométrico con las operaciones básicas que ofrecen la mayoría de las aplicaciones CAD comerciales.

**Palabras clave:** *análisis de modelo; análisis geométrico; matriz de operaciones*

## 1. Introducción

El planteamiento del trabajo que se va a realizar con un software de Diseño Asistido por Ordenador (CAD) es decisivo en el resultado que se obtenga. Sin un planteamiento, se acaba realizando lo que se puede hacer y no lo que se quiere hacer con un determinado software de CAD. El ingeniero de diseño establece las tareas que se delegan en el CAD y busca la manera de que las realice. Nunca deben ser las opciones del CAD las que decidan lo que se puede delegar.

Para Chaur (2005) la etapa de síntesis no es soportada por este tipo de programas, por tanto, la conceptualización es la fase olvidada de los programas de CAD.

Además, las herramientas que se establecen como más usuales en el trabajo profesional son los sistemas CAD. Por tanto, es necesario incorporarlas a la actividad docente: "Es necesario integrar la herramienta en la enseñanza y no hacer una enseñanza de la herramienta". (Ferreiro & Esclapés, 2008).

Un buen planteamiento, además, debe ser genérico, independiente de una aplicación comercial concreta. El ingeniero de diseño que utiliza el sistema, debe conocer las posibilidades de modelizado paramétrico. Por ello son precisos unos conocimientos específicos y una planificación previa a la aplicación del sistema.

Ortega, Urraza, & Muniozguen. (2010) realizaron unas encuestas a empresas del País Vasco sobre la satisfacción con los titulados de Ingeniería Industrial e Ingeniería Técnica Industrial. Los autores de estas encuestas concluyen que las empresas observan carencias formativas en los el conocimiento de programas de CAD.

Es necesario la formación en Ingeniería Gráfica en las titulaciones de Ingeniería Industrial porque se ha generalizado la implantación del diseño asistido por ordenador, y se está extendiendo el empleo del CAD 3D y la transferencia de datos en formato digital; muestra de ello son las aplicaciones PLM que abarcan la gestión del ciclo de vida del producto, y aspectos como la creación, la colaboración, la gestión, la difusión y el uso. (Font, 2006).

### 1.1. Objetivos

Los principales objetivos que se pretenden alcanzar, se indican a continuación:

1. Desarrollar una metodología de uso de aplicaciones CAD Paramétrico. Esta metodología será independiente de los programas CAD comerciales. Deberá facilitar el diseño y rediseño de máquinas, mecanismos, etc., dentro del contexto de la Ingeniería Concurrente.
2. Analizar la génesis de las geometrías, su orden y sus relaciones para que el proceso de modelado paramétrico resulte robusto y flexible. Robusto en el sentido de obtener un proceso lógico, ordenado y funcional que facilite el seguimiento. Flexible en el sentido de admitir las posibles modificaciones de forma sencilla y ágil.
3. Mejorar la productividad en el proceso de diseño, ya que la incorporación de nuevas tecnologías facilitan el diseño y rediseño de máquinas, mecanismos, etc. Si además, esto sucede dentro del contexto de la Ingeniería Concurrente el proceso de diseño se ve reforzado.

## 2. Metodología

El análisis de modelo debe ser independiente del software de CAD empleado, por ello, se ha creado un protocolo que guíe ese análisis compuesto por un Análisis Funcional, un Análisis Geométrico y, con ellos, generar la Matriz de Operaciones.

### 2.1. Análisis funcional

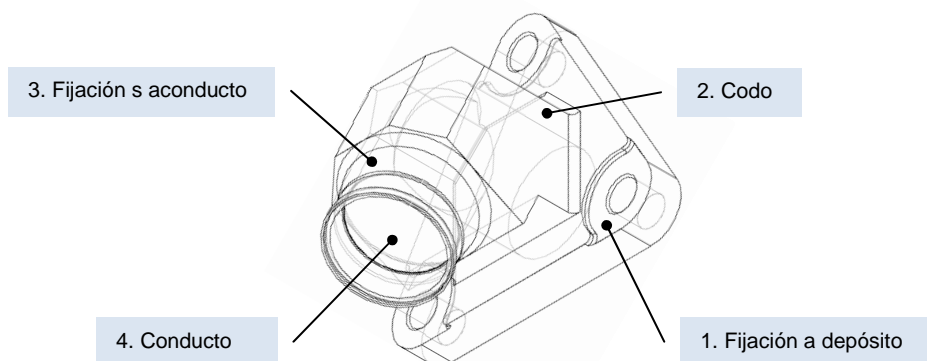
En el Análisis Funcional se considera que los productos o componentes producen efectos (funciones). El Análisis Funcional busca identificarlos, descomponerlos en efectos subordinados, y definir así lo esencial de esas entidades en cuanto productoras de efectos. Luego, el Análisis Funcional examina esos efectos analizados como una respuesta a las necesidades. (Miles, 1970)

Las funciones detectadas a lo largo del proceso anterior pueden ser independientes o estar relacionadas unas con otras. El conjunto de las funciones desarrolla un efecto global que se designa como la función total del objeto. Para realizar el Análisis Funcional es necesario determinar qué relaciones existen entre las distintas funciones parciales del producto.

Esta estructuración suele plasmarse en forma de árbol funcional, en el que las funciones se relacionan en forma de árbol de familias de funciones. En la clasificación y ordenación de funciones se pasa desde el nivel más general al más concreto.

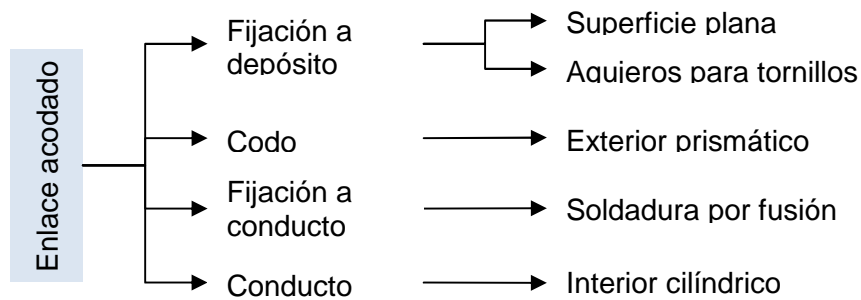
Se propone como ejemplo, para la discusión del Análisis Funcional y Geométrico, el adaptador de la figura 1.

Figura 1: Adaptador



La pieza es un elemento de enlace acodado entre un depósito con superficie plana y un conducto, con el fin de que el conducto forme  $25^\circ$  con la superficie del depósito. El conducto con forma de codo tiene un interior cilíndrico. El adaptador está en contacto con el depósito por una superficie plana y se fija mediante unión atornillada. Mientras que al conducto se fija mediante una soldadura por fusión de material de la pieza. Figura 2.

**Figura 2: Diagrama de funciones**



## 2.2. Análisis geométrico

El Análisis Geométrico consiste en asignar la forma geométrica que resuelva cada una de las funciones obtenidas en el Análisis Funcional.

Este análisis comienza dividiendo la pieza en elementos simples, de tal forma que cada uno de estos elementos enlace con alguna de las funciones de la pieza, ya sea función primaria o de otro orden.

El adaptador se descompone, geoméricamente, en cuatro partes: base triangular (1), codo prismático (2), extremo cilíndrico de revolución (3) y conducto (4). El orden en el que se realicen las cuatro partes es muy importante, porque influirá en la flexibilidad del modelo frente a las modificaciones dimensionales.

Los elementos geoméricos establecidos serán las entradas de una matriz que se completará con las relaciones existentes entre cada par de elementos geoméricos que entren en juego. La diagonal de la matriz contendrá las relaciones internas, mientras que el resto de posiciones contendrá las relaciones externas. Tabla 1.

La lectura de la casilla "a,b" es "a se relaciona con b" o "a depende de b". Por ejemplo, en la casilla "1,2" se indican los datos para ser ejecutado el elemento geométrico 1 que se extraerán del elemento geométrico 2, sin los cuales es imposible ejecutar el primer elemento geométrico.

La columna de la derecha, "Padres", indica el número de dependencias que originará un elemento geométrico. Mientras que en la última fila, "Hijos", se indica el número de elementos geoméricos que necesita que se hayan creado previamente.

El análisis de la matriz de relaciones proporciona los siguientes resultados (López, Caro, & Ramírez, 2010):

- Se puede comenzar por cualquiera de los elementos geoméricos 1, 2 ó 3, ya que son independientes.
- Es conveniente hacer un perfil 2D (boceto) que contenga los ejes y los puntos extremos de los ejes, ya que son compartidos por varios elementos geoméricos.
- El plano base es un plano vertical y el plano de simetría es el otro plano vertical.
- Por tanto, se iniciará por el codo prismático (2), por ser el elemento funcional que surge de la necesidad del diseño y elemento central de pieza. Una forma sencilla de obtenerlo es mediante una extrusión simétrica. Se acaba con la eliminación de aristas con los chaflanes.

**Tabla 1: Análisis Geométrico**

	E1	E2	E3	E4	P
E 1	Sólido compuesto: - 3 caras tg a 3 cilindros, h=6 - Mismas 3 caras enlazadas con R7 y R1; h=7 - 3 agujeros con chaflán iguales	- Mismo origen en PV, posición relativa - R1,2		- Mismo origen en PV, posición relativa - Ojo, no tapar 4	0
E 2	- Mismo origen en PV, posición relativa - R1,2	- Sólido poliédrico simétrico de sección cuadrada en PV y misma sección a 25° - Chaflanes en algunas aristas	- Mismo eje a 25°, posición relativa - R2	- Mismos ejes - Mismo origen en PV, posiciones relativas	0
E 3		- Mismo eje a 25°, posición relativa - R2	- Sólido cilíndrico + cónico	- Mismo eje a 25° - Mismo origen en eje a 25°, posiciones relativas	0
E 4	- Mismo origen en PV, dependencia de vaciado	- Mismos ejes, posición relativa - Mismo origen en PV, dependencia de vaciado	- Mismo eje a 25°, posición relativa - Mismo origen en eje a 25°, dependencia de vaciado	- 2 cilindro + cono cuyos ejes se cortan, bases en PV y en eje a 25°	3
H	1	1	1	0	

La base triangular (1) se consigue con una extrusión, vaciados en los vértices y agujeros. Se debe prestar atención a la posición de los centros de los agujeros respecto al codo prismático.

El extremo cilíndrico (3) se obtendrá por revolución. Por último, el conducto (4) se realizará mediante dos vaciados, utilizando como planos base las caras del elemento 1 y del elemento 3.

### 2.3. Matriz de operaciones

La Matriz de Operaciones consiste en planificar la mejor manera de generar la geometría seleccionada en el Análisis Geométrico con las operaciones básicas que ofrecen la mayoría de las aplicaciones CAD comerciales.

Este protocolo permite definir los elementos geométricos primitivos, y así, secuenciarlos y ordenarlos para conseguir la mayor independencia posible. El protocolo está formado por una matriz de operaciones y bocetos, tabla 2.



Por cada pieza se registran las operaciones a ejecutar, con los datos a emplear para su realización y el croquis del elemento geométrico resultante, las diferentes fases de generación de cada modulo y su cronología.

La entrada de columnas contiene la geometría de la pieza y ayuda a desglosar los diferentes elementos básicos que componen la pieza.

La entrada de filas contiene las operaciones y recuerda las posibilidades ofrecidas por los programas de CAD. Las operaciones aquí incluidas son comunes a todos los programas de CAD analizados.

El análisis de la matriz de operaciones proporciona la siguiente planificación (López Ramírez, & Caro, 2011):

- Como paso previo se creará un perfil (o boceto) 2D que servirá de referencia. Este perfil de referencia se creará en uno de los planos verticales que se ofrece por defecto, donde se dibujarán los ejes de los dos agujeros (Elemento Geométrico 4). El eje vertical del agujero tendrá un extremo en el origen de coordenadas, para facilitar la operación de la base triangular (Elemento Geométrico 1).
- Se iniciará el modelado por el codo prismático (Elemento Geométrico 2), por ser el elemento funcional que surge de la necesidad del diseño y elemento central de pieza. Se tomarán los ejes del perfil de referencia para acotar el perfil de extrusión. Se acabará el codo prismático (2) con la eliminación de aristas mediante chaflanes en dos operaciones, para favorecer la flexibilidad ante modificaciones.
- La base triangular (Elemento Geométrico 1) se generará con una extrusión, un vaciado y unos agujeros. El perfil de la extrusión se realizará en el plano horizontal, como se había previsto al realizar el perfil de referencia. Se debe prestar atención a la posición de los centros de los agujeros respecto a los ejes de referencia, en lugar de relacionarlos respecto al codo prismático, para favorecer la independencia de estos dos elementos geométricos ante modificaciones. La dimensión de la profundidad del vaciado de los vértices de la base triangular (1) no figura directamente en el plano dato, por lo que se establecerá mediante una fórmula en la que aparezcan los datos del plano. Así se facilitará su localización en futuras modificaciones.
- El extremo cilíndrico (Elemento Geométrico 3) se obtendrá por revolución alrededor del eje a  $25^\circ$  del perfil de referencia. La unión de este elemento geométrico con el codo prismático (2) se asegura incluyendo, mediante copia, la geometría necesaria del codo prismático. De esta forma, si se perdiera la referencia del codo prismático, solamente se eliminaría el vínculo de "incluir", ejecutándose, sin problemas, el extremo cilíndrico (3). La geometría de este perfil presenta ciertas dificultades: tangencia de un arco a una recta que no es de este contorno del perfil, paso de una recta inclinada ( $7^\circ$ ) por un punto intermedio de la misma y tangente a unos arcos en ambos extremos.
- El conducto (Elemento Geométrico 4) se realizará mediante dos vaciados utilizando como planos base las caras del Elemento Geométrico 1 y del Elemento Geométrico 3.
- Por último, se realizan los requerimientos de redondeo entre el Elemento Geométrico 1 y del Elemento Geométrico 2.

### 3. Resultado

Uno de los pasos fundamentales para establecer una metodología es el Análisis del Modelo.

La Matriz de Operaciones permite recopilar los datos para una adecuada interpretación y elaboración de resultados sobre el proceso de modelado seguido, y así determinar mejoras, sin la distracción de los pasos y datos que requiere un software comercial determinado.

Las operaciones están ordenadas según una secuencia lógica siguiendo un procedimiento básico. De esta forma, las casillas cumplimentadas se aproximarán a varias diagonales principales de la Matriz de Operaciones que muestran los diferentes módulos en los que se ha descompuesto la pieza.

Una de las características relevantes de la metodología de modelado propuesta es el concepto de módulos. Al descomponer el producto conviene hacerlo por subsistemas funcionales y componentes funcionales. De esta forma, si la geometría de uno de los bloques funcionales se modifica, los otros bloques funcionales permanecen intactos. Solamente se necesita rehacer alguna de las operaciones Booleanas o requerimientos del sólido de los pasos finales.

El gran potencial del CAD paramétrico radica en la posibilidad de realizar cambios introduciendo directamente los nuevos datos del rediseño, permitiendo analizar las geometrías afectadas.

Hay que analizar para que se quiere el modelo. Considerar qué y cómo cambiarán las dimensiones y las características del diseño. Hacer una parametrización flexible, anticipándose a los cambios que puedan producirse.

Una de las herramientas de validación del método, que garantice su idoneidad, es la realización de modificaciones que prueben la correcta respuesta de las restricciones establecidas. Los criterios de selección de las modificaciones para las pruebas se tomarán según la funcionalidad del componente, comenzando por aquellas que afecten a la función principal, se continuará con las modificaciones que afecten a las funciones secundarias. Para el resto de niveles de funcionalidad se puede realizar un chequeo aleatorio de un porcentaje de los parámetros.

### 4. Conclusiones

Los protocolos generados permiten recopilar datos de diferentes programas de CAD, y extraer conclusiones comparables. Esto permite la discusión del proceso en lugar de discutir sobre las posibilidades de un programa de CAD específico. Esta conclusión responde al primer objetivo.

Se puede aprender a utilizar una metodología CAD, y se puede evaluar esta competencia, sin emplear un ordenador y además ser independiente de la aplicación de CAD específica. De esta manera se ha conseguido el segundo objetivo, que es de aplicación en el aula.

Dedicar un tiempo en preparar la forma de digitalizar un elemento conlleva un ahorro de tiempo mayor en las posteriores interpretaciones y modificaciones. Este era el segundo de los objetivos.

Es importante el conocimiento de una metodología CAD (genérica) del ingeniero de diseño, porque el proyectista continuará siendo la persona que sea el creador de nuevos productos.

El personal de la empresa que debe utilizar el sistema de CAD debe conocer sus posibilidades. Es necesario que en la planificación, previa a la adquisición del sistema, se



considere el factor humano y su preparación técnica como base para una aplicación, con éxito, de esta tecnología.

La aplicación correcta del CAD permite obtener importantes aumentos de productividad, mejor calidad del diseño y en menor tiempo. Objetivo práctico que se citaba en tercer lugar.

Una correcta implementación del Know-how del diseñador o técnico en CAD, supondría una menor dependencia por parte de la empresa de la persona experta en cuestión.

Es fundamental realizar un análisis detallado del modelo para establecer el proceso de modelado, aunque los diseñadores de software de aplicaciones anuncien que todo se puede modificar sin que surjan alteraciones inesperadas.

## 5. Referencias

- Chaur Bernal, J. (2005). *Diseño conceptual de productos asistido por ordenador: Un estudio analítico sobre aplicaciones y definición de la estructura básica de un nuevo programa*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. I.S.B.N.: 84-689-3152-7.
- Ferreiro Prieto, J. I., & Esclapés Jover, F. J. (2008). ¿Qué enseñar en las asignaturas de Expresión Gráfica?. What should be taught in Graphic Expression courses?. *Actas del 20 Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica* (pp. 931-938). Valencia, Spain. I.S.B.N.: 978-84-8363-275-8.
- Font Andreu, J. (2007). *Impacto tecnológico del CAD en la docencia de la expresión gráfica en la Ingeniería*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. I.S.B.N.: 978-84-690-8405-2
- López Soto, J., Caro Rodríguez, J. L., & Ramírez López-Para, P. (2010). Análisis de métodos de modelizado en el diseño paramétrico. Relaciones geométricas. *Actas del XIV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos - 1ª Conferencia Latinoamericana de Ingeniería de Proyectos* (pp. 2240-2249). Madrid, Spain. I.S.B.N.: 978-84-614-2607-2
- López Soto, J., Ramírez López-Para, P., & Caro Rodríguez, J. L. (2011). Métodos de modelizado en el diseño paramétrico. Matriz de operaciones. *Actas del XV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos* (pp. 1984-1997). Huesca, Spain.
- Miles, L. D. (1970). *Análisis del Valor*. Ediciones Deusto - Bilbao, Spain.
- Ortega Arceo, J. M., Urraza Digón G., & Muniozguren Colindres J. I. (2010). Las competencias en dibujo de ingeniería industrial ante las necesidades de la empresa. *DYNA, volumen 85, número 2* (pp. 139-147). I.S.S.N.: 0012-7361.

## 6. Correspondencia

Para más información contacte con:

Jaime LÓPEZ SOTO

Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería

E.U.I.T.I. de Bilbao. Plaza La Casilla 3. 48012 Bilbao. Spain.

Universidad del País Vasco UPV/EHU

Phone: +34 946014314, Fax: +34 946014300

E-mail : jaime.lopez@ehu.es

URL: <http://www.ehu.es/jaimelopezsoto>