

## **Evolución de un diseño funcional en un esquema FBS a través de las terminologías del NIST y B-Cube**

Vicente Chulvi <sup>1</sup>

Rosario Vidal <sup>1</sup>

<sup>1</sup>*GID, Dpt. Enginyeria Mecànica I Construcció, Universitat Jaume I, Castellón, Spain*

### **Abstract**

The FBS (Function, Behaviour, Structure) framework is broadly used by designers as methodology for design analysis process, since it allows to represent a design evolution from a protocols study. This framework allows carrying out computational modelling, this is, computer applications able to search and combine solution design procedures for a problem represented by functions. The possibilities of these systems have been increased with the use of function classifications, this is, the use of taxonomies and ontologies.

The present work shows a design evolution from some given requirements, using taxonomies provided by the functional basis of NIST (National Institute of Standards and Technology) and B-Cube model. With this example it is expected to empirically demonstrate how this model will work into a KBS (Knowledge Based System), and how it can provide alternative valid solutions for the initial problem, supported by the necessary databases.

*Keywords: Functional design; FBS; NIST; B-Cube*

### **Resumen**

El marco FBS (Function, Behaviour, Structure) es ampliamente utilizado por los diseñadores como metodología para el proceso de análisis de diseños, puesto que permite representar la evolución de un diseño a partir de un estudio de protocolos. Este marco permite llevar a cabo el modelado computacional, es decir, aplicaciones informáticas capaces de encontrar y combinar procedimientos de diseños de soluciones para un problema representado por funciones. Las posibilidades de dichos sistemas se han visto incrementadas gracias a las clasificaciones de las funciones, es decir, al uso de taxonomías y ontologías.

El presente trabajo presenta la evolución de un diseño a partir de unos requerimientos dados, a través de las taxonomías propuestas por las funcional basis del NIST (National Institute of Standards and Technology) y por el modelo B-Cube. Con este ejemplo se pretende demostrar empíricamente cómo funcionaría dicho modelo en un KBS (sistema basado en el conocimiento), y cómo, apoyado por las bases de datos necesarias, es capaz de proporcionar soluciones alternativas viables para el enunciado dado.

*Palabras clave: Diseño funcional; FBS; NIST; B-Cube*

## **1 Introducción**

La ingeniería de diseño conlleva un proceso continuo de solución de problemas. A pesar del extendido uso del "ensayo y error" utilizado frecuentemente por muchos ingenieros, los mejores resultados se obtienen del uso de metodologías de diseño. El diseño funcional es una de esas metodologías, que se aplica en la fase de análisis del proceso de diseño. Se define como un inventario formal de capacidades, métodos de proceso y puntos de integración de un sistema particular que sirve como base para una aprobación e inicio de un trabajo. Esta idea de solucionar un problema mediante la partición de un proyecto en varios problemas parciales fue desarrollada a principios de la década de 1960 (Alexander, 1964; Asimow, 1962). Los pilares básicos del diseño funcional son los términos Función, Comportamiento y Estructura, FBS por sus siglas en inglés (Function, Behaviour, Structure).

Estos términos fueron definidos y propuestos como marco de representación por primera vez en 1990 por Gero (Gero, 1990), debido a su funcionalidad. El marco FBS es ampliamente utilizado por los diseñadores como metodología para el proceso de análisis de diseños, puesto que permite representar la evolución de un diseño a partir de un estudio de protocolos (Gero, 2002,2004; Kitamura, 2004; Takeda, 1994; Umeda, 2005; Umeda, 1990). Dentro de este marco, función representa el propósito que el diseño debe llevar a cabo, estructura representa a los elementos físicos de la solución, y comportamiento actúa como vínculo entre estos dos, es decir, la manera específica en que dichos elementos físicos llevan a cabo la función requerida.

El marco FBS permite llevar a cabo el modelado computacional, es decir, aplicaciones informáticas capaces de encontrar y combinar procedimientos de diseños de soluciones para un problema representado por funciones. Las posibilidades de dichos sistemas se han visto incrementadas gracias a las clasificaciones de las funciones (Deng, 2002), es decir, al uso de taxonomías. Una taxonomía consiste en un conjunto de conceptos y relaciones organizados jerárquicamente con clases y subclases (Gilchrist, 2003). Las taxonomías fueron introducidas a nivel industrial de la mano de Gershenson (Gershenson, 1995), pero el primero en diferenciar las funciones fue Szykman (Szykman, 1999) con una extensa revisión de los términos utilizados para describir funciones en un contexto ingenieril entre 1976 y 1998. Desde entonces se han desarrollado bastantes taxonomías de funciones (Feygenson, 2006; Golden, 2005), pero la reconciliación de taxonomías más importante hoy en día nos la proporciona el NIST (National Institute of Standards and Technology) (Hirtz, 2002). Las funcional basis del NIST consisten en una reconciliación e integración de otros trabajos (Altshuller, 1984; Hundal, 1990; Pahl, 1984) para desarrollar una representación formal de funciones, es decir, una taxonomía de términos estándar enfocados hacia el diseño mecánico. El trabajo del NIST pretende cubrir tres necesidades específicas: la representación de funciones para el diseño asistido por ordenador (CAD), un esquema fijo para modelar funciones, y un conjunto de funciones universal para describir sistemas mecánicos. El mayor logro del NIST es la reducción de la ambigüedad y el incremento de la uniformidad en los términos.

Un campo particular dentro de las taxonomías son las ontologías. Una ontología se puede describir como una especificación explícita de una conceptualización compartida, la cual se puede basar en una taxonomía o en axiomas (Gruber, 1993). Las ontologías se pueden basar en una sola taxonomía o en varias siendo conceptos y relaciones que se organizan jerárquicamente y cuyos conceptos pueden ser ordenados como clases e instancias (Gómez-Pérez, 2004). La estructura de una ontología debe estar basada en una taxonomía que tenga en cuenta el modelado de un sistema basado en ciertas descripciones funcionales. De este modo, se han modelado una gran diversidad de metodologías para el análisis del proceso de diseño basadas en el marco FBS. Trabajos previos sobre la materia han demostrado la importancia que el nivel de comportamientos presenta a la hora de desarrollar dichas metodologías (Cebrian-Tarrason, 2008; Chulvi, 2007). Como consecuencia de las conclusiones de dicho trabajo se ha desarrollado un modelo que propone un sistema tridimensional, donde un comportamiento queda delimitado por tres definiciones en lugar de una sola palabra o taxón, que se ha denominado B-Cube o cubo de comportamientos (Chulvi, 2008), cuyas definiciones están basadas principalmente en la ontología de nivel superior DOLCE (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering) (Masolo, 2003).

El presente trabajo presenta la evolución de un diseño a partir de unos requerimientos dados, a través de las funcional basis del NIST y del modelo B-Cube. Con este ejemplo se pretende demostrar empíricamente cómo funcionaría dicho modelo en un sistema basado en el conocimiento (KBS), y cómo, apoyado por las bases de datos necesarias, es capaz de proporcionar soluciones alternativas viables para el enunciado dado.

## 2 Métodos

El modelo B-Cube (Behaviour's Cube o cubo de comportamientos) consiste en una ayuda para el diseño funcional a través del marco FBS. El modelo propone un sistema tridimensional, donde un comportamiento queda delimitado por tres definiciones en lugar de una sola palabra o taxón. El uso de una palabra para definir un comportamiento puede conducir a malinterpretaciones o causar ambigüedad al compartir la información, hecho que se solventa definiéndolo con un vector  $(X, Y, Z)$ , donde el valor de cada parámetro  $X, Y$  o  $Z$  corresponde con una de sus características o cualidades. El punto de partida para establecer estos parámetros es la ontología de nivel superior DOLCE. Así pues, se requieren algunas definiciones de la DOLCE, así como la interpretación que hace de las mismas el modelo B-Cube.

Endurant es la entidad o elemento (estructura) ligada al comportamiento que se va a definir en el modelo B-Cube, y se supone que el número de endurants en el universo tiende al infinito. Se establece una diferenciación entre endurants físicos (PEDs) y no físicos (NPEDs). Perdurant (P) es una característica que define un comportamiento, y se refiere al tipo de comportamiento que afecta al endurant. Los Ps se sitúan en el eje Y del modelo B-Cube. Por último, qualities se definen como características ligadas a otras entidades (endurants y perdurants), y las emplearemos para completar la definición del comportamiento. Existen diferentes tipos de cualidades: temporales (TQs), físicas (PQs) y abstractas (AQs). Las TQs están directamente ligadas a los Ps, por lo tanto sirven para definir el comportamiento y las ubicamos en el eje Z. Por otro lado, las PQs se encuentran ligadas a los PEDs, del mismo modo que las AQs se refieren a los NPEDS. El eje X del está relacionado con los endurants, pero sus valores no son los endurants en sí, pues estos se refieren a las estructuras y no a los comportamientos. Sí lo hacen por su parte las qualities, por lo que el eje X se completa con las PQs en el caso en que el comportamiento se refiera a un PED, y con las AQs si el comportamiento se refiere a un NPED.

Aunque cuando se trabaje con el modelo B-Cube se utilizarán vectores con tres valores numéricos, cada uno de estos valores tiene una correspondencia con un término que lo define. Estos términos han sido extraídos mayoritariamente de la terminología de la DOLCE (Masolo, 2003), incrementados por el trabajo de Garbacz (Garbacz, 2006). Como dichos términos resultaron no ser suficientes para completar las necesidades del modelo B-Cube, se ha tomado el apoyo de la taxonomía de los compartimientos humanos de Rasmussen (Rasmussen, 1983) y de la clasificación de flujos realizada por el NIST (Hirtz, 2002; Nagel, 2007). Los valores finales se muestran en la tabla 1, y quedan definidos como sigue:

Así, en el eje X, los valores positivos se corresponden con la definición de PQ de la ontología DOLCE, que nos proporciona solo un valor, localización espacial (*spatial location*), incrementados por Garbacz con conexión topológica (*topological connectedness*) y energía (*energy*). Además, de acuerdo con el tratamiento sobre flujos y funciones en el modelo Black Box realizado por Nagel, se puede deducir la necesidad de establecer dos términos más para poder definir todos los tipos de flujo que pueden interactuar con una función: magnitud (*magnitude*) y señal (*signal*). Los valores negativos se corresponden a su vez con la definición de las AQs de la DOLCE. Como en ésta no existe ningún término propuesto para este grupo, utilizaremos los términos empleados por Rasmussen en su taxonomía de comportamientos humanos para definir los valores de las AQs: habilidad (*skill*), regla (*rule*) y conocimiento (*knowledge*).

Los valores de los Ps, tal y como han sido definidos en la DOLCE, los encontramos en el eje Y. Este conjunto de valores parece cubrir todas las necesidades en lo que respecta a definiciones del modelo B-Cube, por lo que se utilizarán sin modificar. La DOLCE los diferencia en función de si son acumulativos (*cumulative*), que es cuando la suma mereológica de dos casos del mismo tipo conservan ese mismo tipo; homeomérico

[*homeomeric*], que es cuando al dividir una acción en sub-acciones temporales se puede utilizar la misma expresión para definir cada una de dichas partes que la empleada para definir la acción global; y atómico (*atomic*), que es cuando la acción es muy breve en el tiempo, casi instantánea.

Para el eje Z, en lugar de utilizar las definiciones de las TQs, los valores tomados corresponden con la definición de un subgrupo particular dentro de las TQ, llamado localización temporal (*temporal location*), siguiendo la propuesta de Garbacz. A los dos valores originales que propuso éste, denominados estado al inicio (*initial SoA*) y estado al final (*final SoA*), se le ha añadido uno más, estado inmutable (*immutable SoA*), necesario para poder completar la definición de los posibles comportamientos.

Eje	Valor	Término	Significado	Ejemplos
X	1	Spatial location	Posición de un PED en el espacio	Mover un objeto
	2	Topological connectedness	El tipo de conexión a nivel topológico en que se encuentra un PED	Romper un objeto Juntar un objeto
	3	Energy	Estado energético de un PED	Congelar agua Cargar una batería
	4	Magnitude	Una magnitud física del PED es afectada por el comportamiento	Incrementar el peso Cambiar de color
	5	Signal	Acciones referentes a PEDs cuando actúan como señales	Incrementar una onda Un teléfono móvil mandando una señal
	-1	Skill	El comportamiento no requiere de control consciente por parte del sujeto.	Conducir un coche Tocar el piano
	-2	Rule	El comportamiento requiere de control consciente por el sujeto, pero éste está sujeto a algún tipo de proceso o "regla escrita"	Cocinar siguiendo una receta Afinar un instrumento
	-3	Knowledge	El comportamiento necesita control consciente por parte del sujeto, y éste no está limitado por ningún tipo de proceso o "regla escrita"	Componer una sinfonía Gestionar una empresa
Y	1	Process	El comportamiento es acumulativo y no homeomérico	Correr
	2	State	Acumulativo y homeomérico	Estar sentado
	3	Accomplishment	No-acumulativo y no-atómico	Dar una conferencia
	4	Achievement	No-acumulativo y atómico	Romper un cristal
Z	1	Initial SoA	El comportamiento hace que el PQ o AQ inicial se reduzca o desaparezca.	Enfriar un objeto
	2	Immutable SoA	El comportamiento no varía el grado o cantidad de PQ o AQ afectado por el mismo.	Convertir energía
	3	Final SoA	El comportamiento hace que aparezca o se vea incrementado el nivel o cantidad de PQ o AQ.	Calentar un objeto

Tabla 1. Valores, términos y definiciones del modelo B-Cube

Así pues, un comportamiento está ahora representado por un vector  $(x_i, y_j, z_k)$ . La figura 1 representa el modelo B-Cube con sus valores. Así, un soldador utilizado para soldar tuberías presenta un comportamiento (2, 3, 3):  $X=2$ = topological connectedness, puesto que soldar se refiere al estado físico de la conexión;  $Y=3$ = accomplishment, ya que de la definición de los P se ve que soldar tuberías es no-acumulativo y no-atómico; y finalmente  $Z=3$ = final SoA, porque la unión topológica no está presente al inicio de la acción, pero sí al final de la misma como consecuencia del comportamiento. Del mismo modo, el mismo soldador colocado bajo una probeta calentando la mezcla de su interior presenta un comportamiento

(3, 2, 3): X=3= energy, porque en este caso calentar se refiere al nivel energético de la mezcla; Y=2= state, puesto que calentar presenta un comportamiento acumulativo y homeomérico; Z=3= final SoA, ya que el estado energético aumenta con el comportamiento.

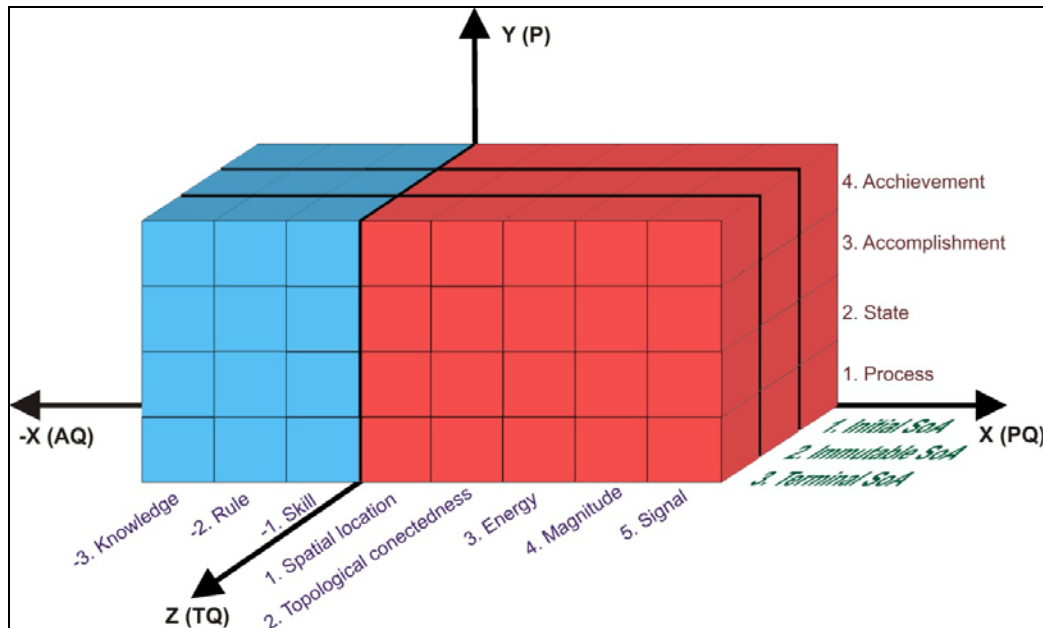


Figura 1. Representación del modelo B-Cube

### 3 Resultados

En un sistema ideal, el diseñador simplemente debería introducir el enunciado de aquello que desea diseñar, y el sistema le proveería de la solución óptima o de varias alternativas que sean consideradas todas ellas como óptimas. Dicho sistema, basado en el conocimiento o KBS (Knowledge Based System), funcionará con herramientas semánticas, bases de datos y sistemas de evaluación de soluciones, además de con el sistema de diseño basado en el marco FBS, del que el modelo B-Cube forma su núcleo central (figura 2). Puesto que el presente trabajo pretende demostrar el funcionamiento del modelo B-Cube dentro del sistema, se supone que tanto la herramienta semántica como el sistema de evaluación funcionan idealmente (o son controlados por el diseñador directamente), y que existen bases de datos completas para el sistema que queremos diseñar.

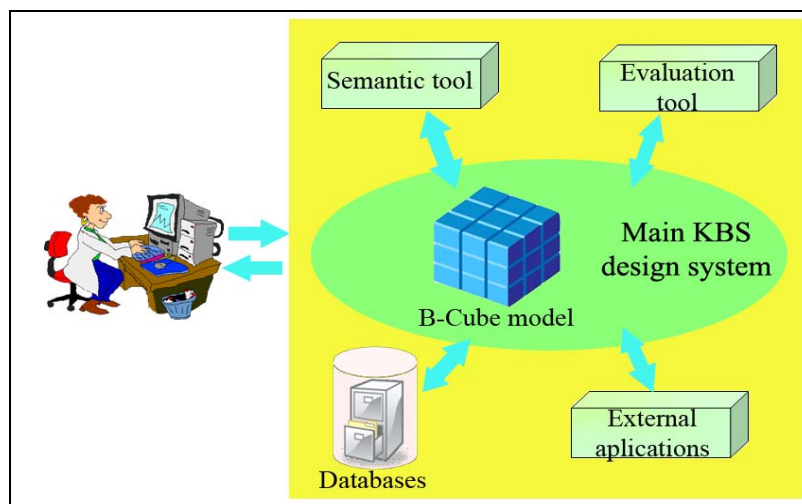


Figura 2. Esquema del KBS

En este caso se quiere diseñar un útil para escribir y borrar sobre papel, capaz de ser utilizado manualmente por una persona y que se pueda guardar cómodamente en la solapa. En este caso el diseñador o la herramienta semántica pueden llegar a distinguir cuatro funciones para desarrollar el correspondiente nivel: escribir, borrar, ser manipulado y sujetarse; y las siguientes restricciones para elaborar el nivel de Medio: persona, mano y solapa (que derivan de la anterior), y papel. También deberán aparecer los signos, vinculados al papel, que es el objetivo a lograr por el útil. Estos dos niveles de inicio se muestran en la figura 3.

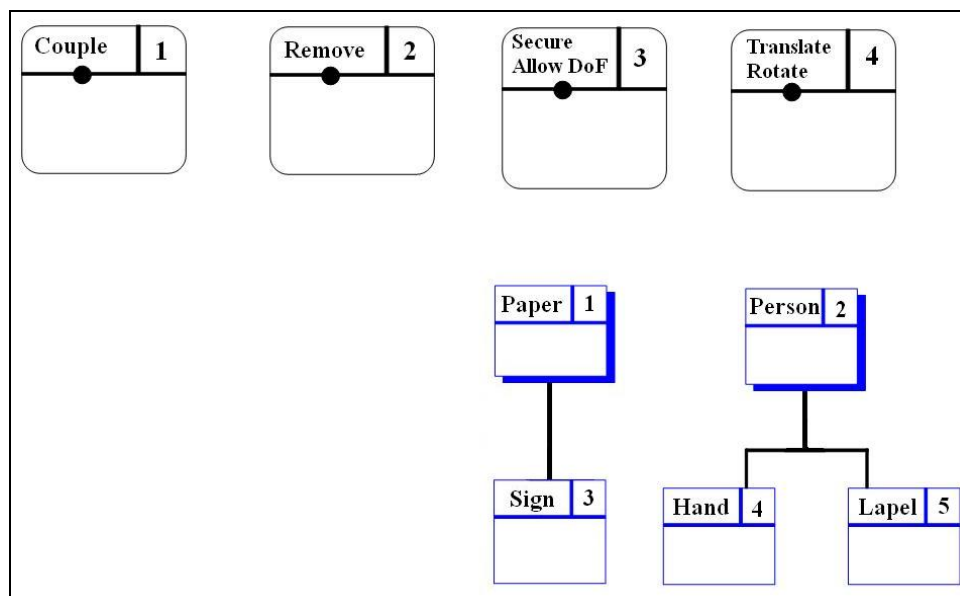


Figura 3. Niveles de funciones y de medio

Partiendo de estos datos, en primer lugar se necesita normalizar las funciones establecidas. Para dicha normalización se utilizan las Functional Basis propuestas por el NIST. La función escribir puede ser considerada como unir los símbolos al papel, por lo que se corresponderá con el término “*connect, couple*” de las Functional Basis. Por su parte la función borrar se corresponde con “*branch, separate, remove*”. Conseguir que un objeto pueda sujetarse puede corresponderse con dos términos diferentes de las Functional Basis, “*support, secure*” y “*channel, guide, (not) allow degree of freedom*”. Aunque inicialmente parezca que se deba escoger un solo término, más adelante veremos que resulta conveniente dejar indicadas ambas opciones. Por último, la función ser manipulado se corresponde tanto al término “*channel, guide, translate*” como a “*channel, guide, rotate*”.

Para empezar a crear el nivel de comportamientos nos apoyamos en una correlación de los términos de las Functional Basis con los términos del modelo B-Cube, elaborada para tal efecto. En esta correlación podemos ver que a la función “*connect, couple*” le corresponde el comportamiento (2,1,3) directamente. En el caso de la función “*branch, separate, remove*” se observa que puede representarse por los comportamientos (1,1,1), (1,3,1), (2,1,1), (2,2,1), por lo que se requiere una mejor definición, bien por parte de la herramienta semántica, bien a través del feedback del mismo diseñador, o bien sea mediante otro sistema automatizado (p.ej. librerías de algoritmos). En este caso, escogemos (2,1,1) puesto que su comportamiento opuesto, es decir, escribir, ha quedado definido como un comportamiento (2,1,3).

La siguiente función hemos visto que podía ser definida tanto por “*support, secure*” como por “*cannel, guide, (not) allow degree of freedom*”. En este caso, para la primera definición le corresponden los valores de comportamientos (1,2,2), (2,1,3) y (2,3,2), mientras que para la

segunda definición le corresponde el único valor (1,2,2). Este valor es el considerado para definir el comportamiento, puesto que coincide con una de las opciones correspondientes a la primera definición. Por último, las funciones “*channel, guide, translate*” y “*channel, guide, rotate*” se corresponden ambas con un único término del modelo B-Cube, (1,1,2).

De estos comportamientos y de sus relaciones con el nivel del medio es de donde se deducirán las estructuras necesarias para el diseño del útil requerido. Para el ejemplo de este trabajo se ha supuesto que el diseñador dispone de una base de datos de estructuras bastante limitada. En este caso se trata de buscar en la base de datos las estructuras que sean capaces de llevar a cabo el comportamiento requerido, considerar el efecto de dichas estructuras con las restricciones del medio para un primer descarte, y luego evaluar las soluciones restantes para ver cuáles cumplen realmente su cometido y bajo qué condiciones, en lo que sería una segunda criba. Las tablas 2 y 3 muestran los ejemplos de búsqueda de estructuras-solución correspondientes a los comportamientos (2,1,3) y (2,1,1), respectivamente.

<b>Estructura</b>	<b>Compatibilidad con papel</b>	<b>Evaluación</b>
Mina de carbono	Buena	Se desgasta. Requiere contenedor.
Tinta	Buena	Se desgasta. Requiere contenedor.
Tiza	Buena	Se desgasta. Requiere contenedor. Mala calidad del trazo. Mancha y se emborriona.
Remache	Mala	-
Soldadura	Mala	-

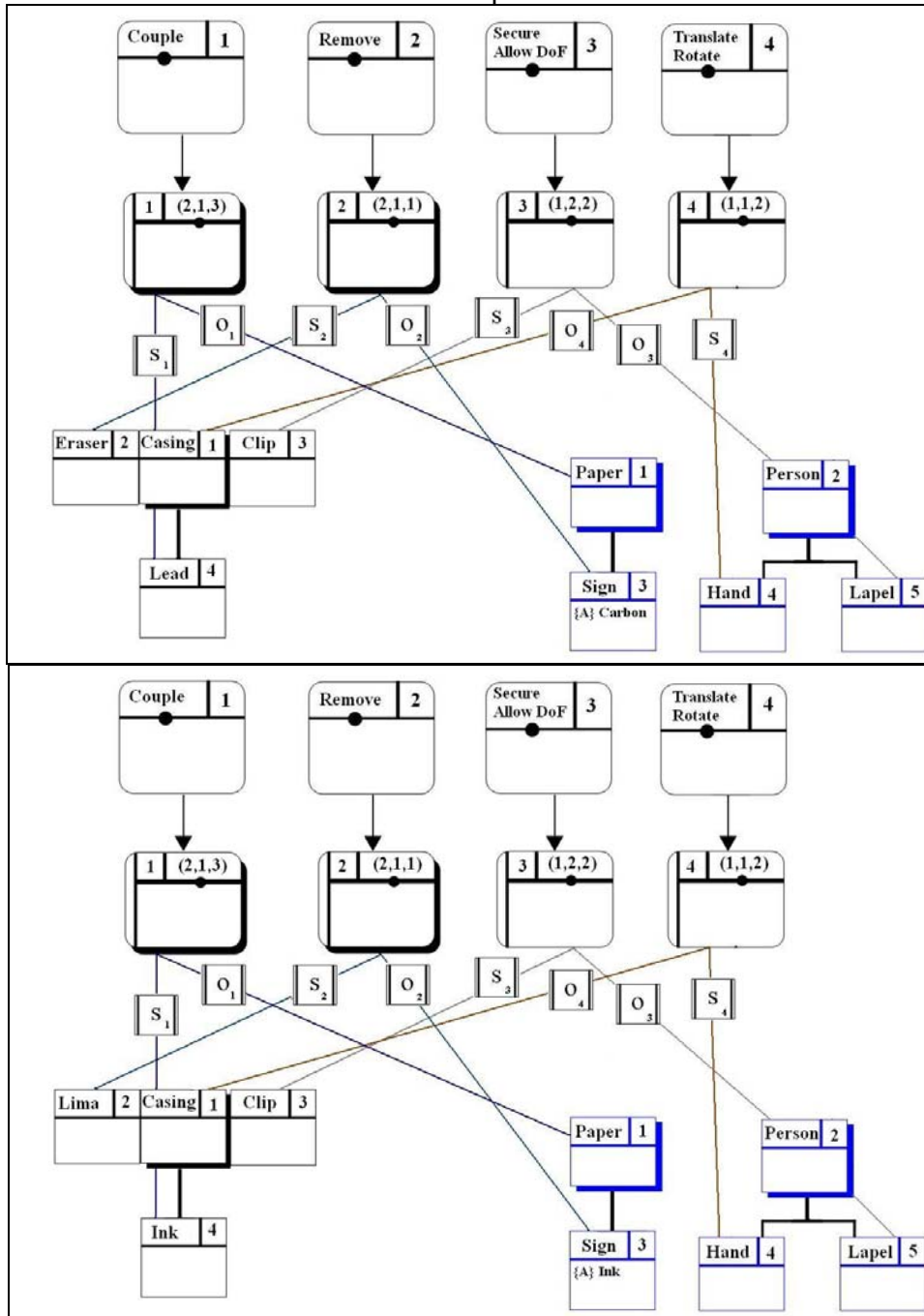
Tabla 2. Búsqueda y evaluación de estructuras para cumplir con el comportamiento (2,1,3)

<b>Estructura</b>	<b>Compatibilidad con papel</b>	<b>Evaluación</b>
Muela	Regular	Daña ligeramente el papel. Requiere fijación. Útil tanto para la tinta como para la mina de carbono.
Lija	Regular	Daña ligeramente el papel. Requiere fijación. Útil tanto para la tinta como para la mina de carbono.
Goma	Buena	Se desgasta. Bueno para la mina de carbono, pero inútil para la tinta. Requiere fijación.
Martillo	Regular	Inútil
Disolvente	Regular	Daños al papel en función de la concentración. Expande la mancha de tinta. Requiere contenedor. Potencialmente peligroso para la salud.

Tabla 3. Búsqueda y evaluación de estructuras para cumplir con el comportamiento (2,1,1)

En este primer caso se observa que en la base de datos de estructuras se han encontrado cinco capaces de llevar a cabo el comportamiento deseado (2,1,3). De estas cinco, dos han sido directamente descartadas por su efecto sobre la restricción, es decir, por dañar al papel. Las tres restantes han sido evaluadas para su propósito final. Como se ve, dos de ellas presentan una desventaja y un requisito cada una, mientras que la tercera presenta tres desventajas y un requisito. Esta última será, por tanto, descartada. Ante la imposibilidad de definir cuál de las dos estructuras-solución restantes es la óptima, el sistema se desdobra a partir de este momento en la evolución paralela de dos útiles, que servirán ambos como solución final y deberán ser evaluados ambos una vez concluido el proceso de diseño. Dichos diseños paralelos les denominaremos solución A para la mina de carbono y solución B para la tinta.

La tabla 3 muestra como el proceso de diseño tiene en consideración la utilidad de las estructuras para interactuar tanto con los signos de carbono como con los de tinta. Como vemos en este caso, la estructura-solución goma, que es la única que presenta buena compatibilidad con el papel, es útil para la evolución del diseño A, mientras que es inútil para el diseño B. En este caso se debe optar por una estructura de compatibilidad dudosa o regular con el papel que presente el menor número de desventajas y requisitos. En este caso tenemos una vez más dos estructuras, lo que sugiere un diseño B1, con muela, y otro diseño B2, con lija, aunque como se ha podido comprobar que en este caso la elección de una estructura u otra no ha influido en la evolución del diseño, se han mantenido ambas opciones como diseño B para continuar con el desarrollo del ejemplo. Las figuras 4A y 4B muestran el desarrollo de ambos diseños en un primer nivel.



Figuras 4A y 4B. Primer nivel del desarrollo del diseño



A partir de este nivel, el sistema evoluciona convirtiendo las desventajas y requisitos de las nuevas estructuras en nuevos comportamientos, que pueden ser cumplidos por las estructuras existentes o requerir de nuevas estructuras. En este caso siempre se considerará como estructura óptima la existente, si la hubiera, pues en este caso no se generarán nuevos comportamientos y se reducirá el número de estructuras. Así, las nuevas estructuras mina de carbono y tinta generan dos comportamientos: uno para reflejar su desgaste con el uso (4,2,1) y otro para reflejar su necesidad de un contenedor (2,2,2). Como se puede apreciar en la figura 5, el comportamiento (4,2,1) deriva de los comportamientos (2,1,3) y (2,1,1), que son los correspondientes al uso normal del útil para lograr las funciones requeridas. Al ser un comportamiento procedente de una desventaja, se considera que es un comportamiento no deseado, y como tal necesitará una consideración distinta a los anteriores. Por su parte, el comportamiento (2,2,2) procede de un requisito, por lo que se considera un comportamiento deseado y se procederá a actuar con él del mismo modo que hemos visto con los comportamientos procedentes de funciones. Si nos fijamos en el caso A (Tabla 4), en este caso la estructura mina de carbono está vinculada al mismo tiempo con el comportamiento deseado y con el comportamiento no deseado. El modo de actuar en este caso será considerar el comportamiento no deseado como un factor en la evaluación de soluciones que nos demandará cumplir un requisito, es decir, lograremos transformar una desventaja (comportamiento no deseado) en un requisito (comportamiento deseado), sobre el cual ya sabemos cómo actuar. En la tabla 4 se representan los requisitos derivados del comportamiento no deseado en cursiva.

<b>Estructura</b>	<b>Compatibilidad con mina de carbono</b>	<b>Evaluación</b>
Tubo: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Metal</li> <li>- Plástico</li> <li>- Madera</li> <li>- Cartón</li> </ul>	Buena	<i>Requiere mecanismo para sacar la mina.</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Viable</li> <li>- Viable</li> <li>- Viable</li> <li>- Viable. Baja resistencia mecánica. Más ecológico.</li> </ul>
Recubrimiento: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasta de madera</li> <li>- Plástico</li> <li>- Resina</li> <li>- Vidrio</li> </ul>	Buena	<i>Requiere mecanismo para retirar cobertura.</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Viable</li> <li>- Viable. Depende de la dureza.</li> <li>- Viable. Depende de la dureza.</li> <li>- Difícil de retirar la cobertura</li> </ul>

Tabla 4. Búsqueda y evaluación de estructuras para cumplir con el comportamiento (2,2,2) en el diseño A (opción con mina de carbono)

La figura 5 muestra el desarrollo del diseño A en su segunda fase. En ella se puede observar cómo se produce otro importante desdoble en los diseños, pues en un caso se avanza hacia la elaboración de un mecanismo para sacar la mina del contenedor, y en el segundo hacia un mecanismo para retirar el contenedor de la mina. Además, se va vislumbrando que los diferentes materiales con que fabricar los contenedores nos conducirán hacia una conjunto más extenso de soluciones de las que solo diferirán los materiales empleados. Este conjunto de soluciones similares lo llamaremos “familia” de soluciones.

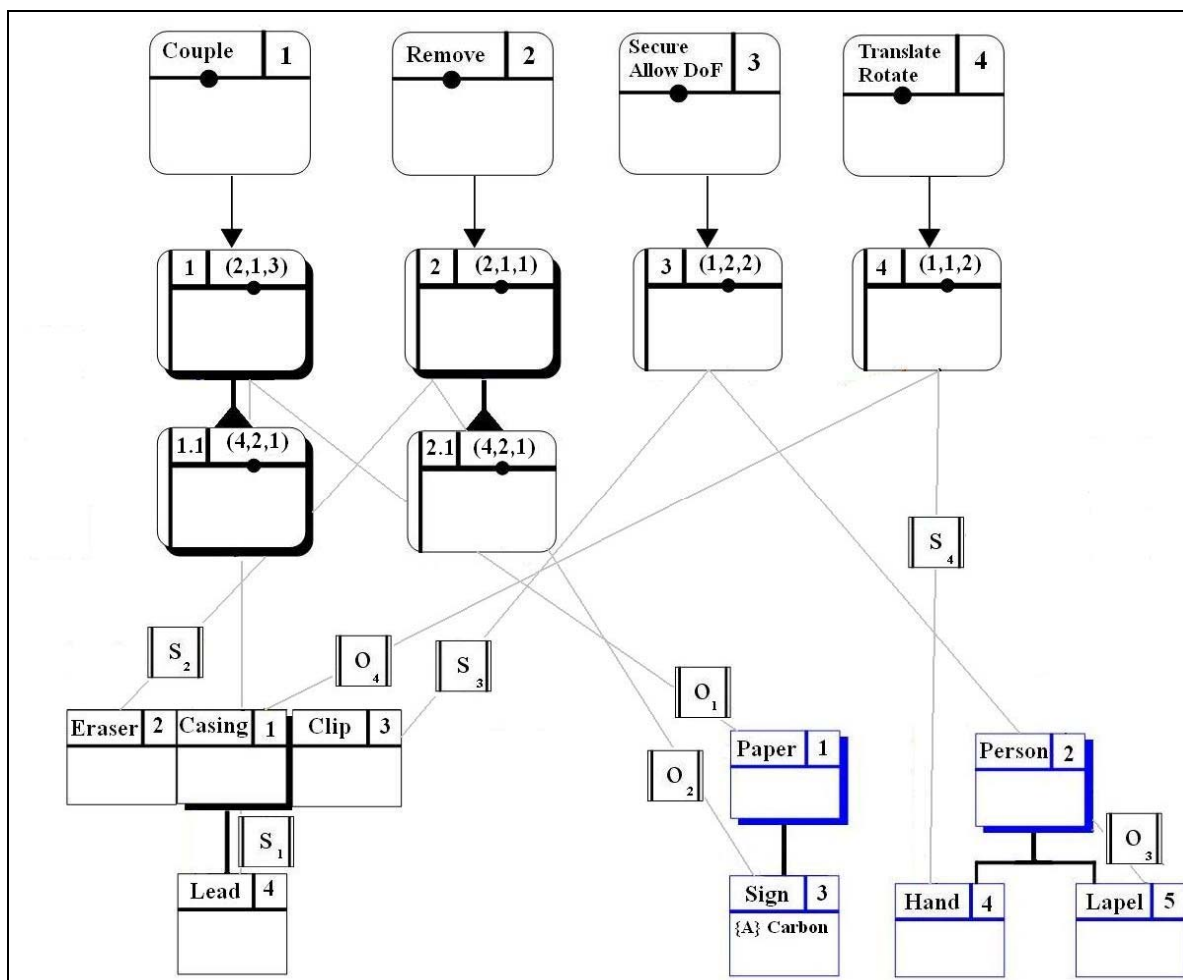


Figura 5. Evolución del desarrollo de la rama del diseño A

El proceso de desarrollo de los diseños seguirá evolucionando siguiendo el mismo patrón expuesto hasta el momento, hasta que todos los comportamientos requeridos puedan ser llevados a cabo por las estructuras existentes, y las estructuras existentes no demanden de ningún nuevo comportamiento no definido. En ese momento se considera que los diseños están finalizados y listos para ser evaluados, bien por el propio diseñador, bien a través de una aplicación externa de evaluación, creada para tal efecto. El esquema resultante para la familia de diseños finales A2 (lápiz) se presenta en la figura 6.

#### 4 Conclusiones

En el presente trabajo se ha probado teóricamente como el modelo B-Cube es viable para la automatización del diseño funcional a través del marco FBS. El buen funcionamiento del sistema se ve complementado por el uso de la taxonomía del NIST para las funciones, y de bases de datos para las estructuras. La evolución del modelo ha permitido ver cómo, a partir de unos requisitos de entrada dados, el sistema puede ser capaz de proveer de soluciones alternativas. La calidad y cantidad de dichas alternativas dependerá en gran medida de las bases de datos de las que dispongamos para alimentar al sistema.

A parte de lo señalado, se observa que para un funcionamiento óptimo del sistema será conveniente contar con una aplicación para gestionar los parámetros de entrada en el sistema (como por ejemplo una herramienta semántica), y la vinculación con una herramienta de evaluación, para filtrar las posibles soluciones para las estructuras que vaya

proveyendo el sistema. El modelo de sistema propuesto también se considera viable para su vinculación con otras herramientas que optimicen los resultados del diseño, como pueden ser herramientas para la innovación o herramientas de evaluación medioambiental.

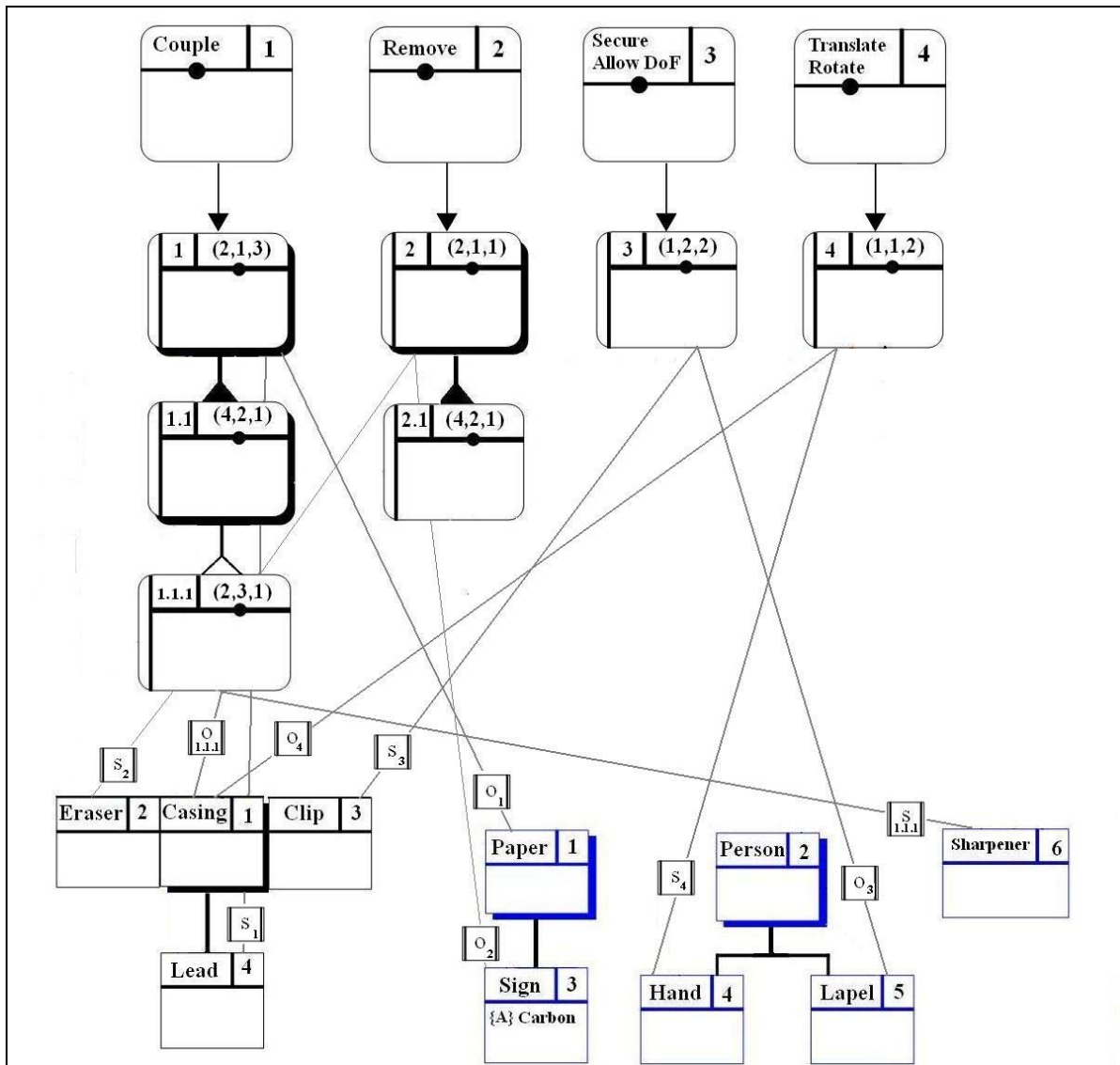


Figura 6. Esquema final para la familia de diseños A2

## Bibliografía

Alexander C., "Notes on the synthesis of form", Harvard University Press, Cambridge, Massachussets, 1964.

Altshuller G., "Creativity as an exact science: The theory of the solution of inventive problems", Gordon and Breach Science Publishers, Luxembourg, 1984.

Asimow M., "Introduction to design", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1962.

Cebrian-Tarrason D., Vidal R. and Munoz C., "Aplicación de ontoRFB a un caso práctico: ¿taxonomías de funciones o de comportamientos?" en XII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO), Zaragoza, Spain, 2008.

Chulvi V. and Vidal R., "Vinculación de triz con el diseño funcional", en XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO), Lugo, Spain, 2007, pp 613-621.

- Chulvi V., Vidal R. and Cebrian-Tarrasón D., "B-cube", en *XII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO)*, Zaragoza, Spain, 2008.
- Deng Y., "Function and behavior representation in conceptual mechanical design", *Artificial intelligence for engineering design, analysis and manufacturing (AIEDAM)*, Vol. 16, 2002, pp 343-362.
- Feyngenson N., "Function synthesis: New methodological tool and case studies", en *ETRIA TRIZ Futures*, Kortrijk, Belgium, 2006.
- Garbacz P., "Towards a standard taxonomy of artifact functions", *Applied Ontology*, Vol. 1, 2006, pp 221-236.
- Gero J.S., "Design prototypes: A knowledge representation schema for design", *AI magazine*, Vol. 11, 1990, pp 26 - 36.
- Gero J.S. and Kannengiesser U., "The situated function-behaviour-structure-framework", *Artificial Intelligence in Design'02*, 2002, pp 89-104.
- Gero J.S. and Kannengiesser U., "The situated function-behaviour-structure framework", *Design Studies*, Vol. 25, 2004, pp 373-391.
- Gershenson J.A. and Stauffer L.A., "The creation of a taxonomy for manufacturability design requirements", en *Design Engineering Technical Conferences*, Vol. 2, 1995, pp 305 - 314.
- Gilchrist A., "Thesauri, taxonomies and ontologies - an etymological note", *Journal of Documentation*, Vol. 59, 2003.
- Golden I.J., "*Function based archival and retrieval: Developing a repository of biologically inspired product concepts*", *Department of Mechanical Engineering*, 2005.
- Gómez-Pérez A., Fernández-López M. and Corcho O., "*Ontological engineering with examples from the areas of knowledge management, e-commerce and the semantic web*", London, 2004.
- Gruber T.R., "Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing", Padova, Italy, 1993.
- Hirtz J., Stone R., McAdams D., Szykman S. and Wood K., "A functional basis for engineering design: Reconciling and evolving previous efforts", *Research in Engineering Design*, Vol. 13, 2002, pp 65 - 82.
- Hundal M., "A systematic method for developing function structures, solutions and concept variants", *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 25, 1990, pp 243-256.
- Kitamura Y. and Mizoguchi R., "Ontology-based systematization of functional knowledge", *Journal of Engineering Design*, Vol. 15, 2004, pp 327-351.
- Masolo C., Borgo S., Gangemi A., Guarino N. and Oltramari A., "*Wonderweb deliverable d18*", 2003.
- Nagel R.L., Vucovich J.P., Stone R.B. and McAdams D.A., "Signal flow grammar from the functional basis", en *16th International Conference on Engineering Design*, France, 2007.
- Pahl G. and Beitz W., "*Engineering design*", *Design Council*, 1984.
- Rasmussen J., "Skills, rules, and knowledge; signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models", *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, Vol. SMC-13, 1983, pp 257 - 266.
- Szykman S., Racz J. and Sriram R., "The representation of function in computer-based design", en *Design Engineering Technical Conferences*, Las Vegas, Nevada, 1999.

Takeda H., Yoshioka M., Tomiyama T. and Shimomura Y., "Analysis of design processes by function, behavior and structure", en *The Delft Protocols Workshop, conference proceedings*, 1994.

Umeda Y., Kondoh S., Shimodura Y. and Tomiyama T., "Development of design methodology for upgradable products based on function-behavior-state modeling", *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AIEDAM)*, Vol. 19, 2005, pp 161-182.

Umeda Y., Takeda H., Tomiyama T. and Yoshikawa H., "Function, behaviour, and structure", *Applications of artificial intelligence in engineering v*, Springer, Berlin, 1990, pp 177-194.

## **Agradecimientos**

Los autores muestran su gratitud al Ministerio de Educación y Ciencia por su financiamiento bajo el proyecto con referencia DPI2006-15570-C02-00 dentro del plan nacional de I+D+i (2004 – 2007) y a los fondos FEDER de la Unión Europea.

## **Correspondencia**

Vicente Chulvi Ramos  
Grupo de Ingeniería del Diseño (GID)  
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I.  
Avenida Sos Baynat s/n. 12071 - Castellón (Spain)  
Teléfono: +34 964 72 9252 Fax: +34 964 72 8106  
E-mail: chulvi@emc.uji.es