

Capítulo 5

Estudio de casos

5.1. Introducción

En este Capítulo se muestran tres casos típicos de conjuntos mecánicos con varios requerimientos funcionales. Los casos se desarrollan utilizando el modelo propuesto de caracterización y representación de los requerimientos funcionales, expuesto en los Capítulos 3 y 4. La resolución de los casos prácticos pretende demostrar la validez del modelo y la secuencia o pasos necesarios para realizar el proceso de caracterización y representación de los requerimientos funcionales en las etapas primarias del proceso de diseño; así como, la validez del «*método de las burbujas*» para la modelación del ensamble y la formulación de las cadenas de cotas.

El primer caso es un conjunto mecánico compuesto por cuatro piezas, donde se caracterizan dos requerimientos funcionales dimensionales y se aplica el «*método de las burbujas*» para el caso de las tolerancias dimensionales.

El segundo caso es un conjunto mecánico de mayor complejidad que el primero, compuesto por cinco piezas, donde se caracterizan seis requerimientos funcionales dimensionales y al igual que el anterior se aplica el «*método de las burbujas*» para el caso de las tolerancias dimensionales. El tercer caso es un conjunto mecánico compuesto por ocho piezas, donde se caracterizan dos requerimientos funcionales geométricos y un requerimiento funcional dimensional con una condición geométrica implícita —a la vez constituye un caso bidimensional—; a los que se les aplica el «*método de las burbujas*» para ambos casos.

5.2. Caso de un conjunto mecánico simple con cotas unidireccionales y requerimientos funcionales dimensionales

Para garantizar una correcta funcionalidad del conjunto mecánico representado en la Figura 5.1, se deben de cumplir las siguientes condiciones funcionales: (A) La pieza 3 debe de encontrarse a una distancia determinada de la pieza 1 y (B) La pieza 2 debe de encontrarse a una distancia —máxima— de la pieza 1.

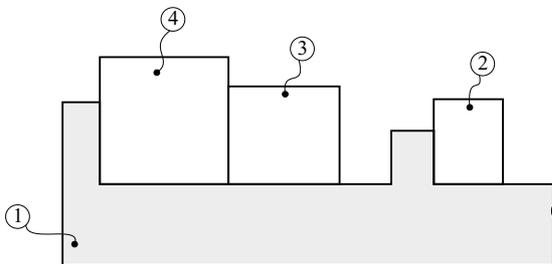


Figura 5.1. Conjunto mecánico

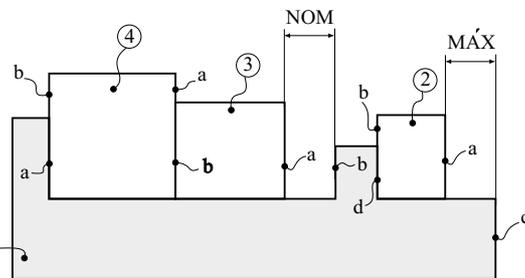


Figura 5.2. Identificación de los elementos y características funcionales

El primer paso consiste en la identificación de los requerimientos funcionales existentes en el conjunto, según la estructura funcional propuesta en el Capítulo 3. Una vez identificadas se pasa a la numeración de cada una de las piezas con importancia funcional (Figura 5.2). En la Tabla 5.1 se muestra la correspondencia entre las condiciones necesarias para el funcionamiento del conjunto y los correspondientes requerimientos funcionales según la estructura funcional propuesta.

Tabla 5.1. Requerimientos funcionales según la estructura funcional propuesta

Identificador	Condición
A	Requerimiento funcional de Dimensión Nominal (NOM)
B	Requerimiento funcional de Dimensión Máxima (MÁX)

Para completar el proceso de identificación, en cada pieza se identifican los requerimientos funcionales expresados en la estructura funcional propuesta (Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Requerimientos funcionales del conjunto mecánico de la Figura 5.1

Pieza	Relaciones entre piezas	Requerimiento funcional
Pieza 1	(Pieza 1)	ENB
	(Pieza 1 - Pieza 3)	NOM
	(Pieza 1 - Pieza 2)	MÁX
	(Pieza 1 - Pieza 4), y (Pieza 1 - Pieza 2)	CPR
Pieza 2	(Pieza 2 - Pieza 1)	MÁX
	(Pieza 2 - Pieza 1)	CPR
Pieza 3	(Pieza 3 - Pieza 1)	NOM
	(Pieza 3 - Pieza 4)	CPR
Pieza 4	(Pieza 4 - Pieza 1) y (Pieza 4 - Pieza 3)	CPR

Para capturar las intenciones del diseñador expresados en el problema, se utilizarán los planteamientos del apartado 4.2.

Representación de las categorías *versus* niveles según la estructura funcional

Para evaluar la importancia funcional de cada una de las piezas que componen el conjunto mecánico de la Figura 5.1, se representarán las categorías *versus* niveles, utilizando la «matriz simplificada de categorías *versus* niveles» o «matriz MSP». Esta

matriz sólo muestra la necesidad de que una determinada capa cumpla con un conjunto de requerimientos funcionales. El símbolo «\» indica la cantidad del mismo tipo de requerimiento que debe de cumplir una determinada capa. En la Figura 5.3 se muestran las matrices *MSP* para las piezas del conjunto mecánico de la Figura 5.1.

El procedimiento para formar las matrices —*MSP*, *RLP*, *MSC* y *MSN*— se basa en la Tabla que contiene los requerimientos funcionales del conjunto mecánico —en este caso la Tabla 5.2. Cada requerimiento se ubica en la estructura funcional de la Figura 3.5 y luego se coloca un punto más claro o más oscuro en función del tipo de requerimiento funcional, siguiendo las indicaciones de las Figuras 3.25 y 3.26.

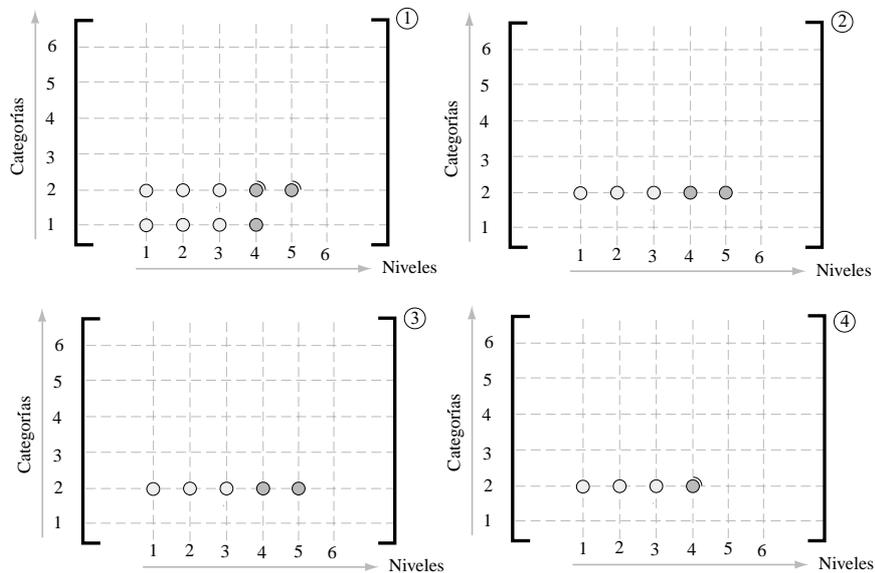


Figura 5.3. Matrices *MSP* para las piezas del conjunto mecánico

Si se realiza una comparación entre las matrices *MSP* expuestas, se puede apreciar gráficamente que la capa con más importancia funcional desde esta perspectiva, resulta ser la pieza 1 del conjunto, por el número de condiciones de funcionamiento en las que está involucrada. Si se analiza el conjunto mecánico se observa que esta pieza posee la característica de ser la pieza de ensamble base, por lo que su importancia es vital para un buen funcionamiento del conjunto mecánico. La matriz *MSP* para la pieza 1 refleja claramente esta intención de diseño.

Como se planteó en el Capítulo 4, para poder representar además de las intenciones de diseño, las relaciones que existen entre las capas desde el punto de vista funcional, se utilizará la matriz *RLP*. En la Figura 5.4 se muestra la configuración inicial de la matriz *RLP* para el caso de la pieza 1 del conjunto que se analiza. A continuación se describen las matrices *RLP* para las restantes piezas con importancia funcional en el conjunto y las restricciones impuestas. En todos los casos, los tres primeros niveles representan a los requerimientos funcionales genéricos (5.1 y 5.4).

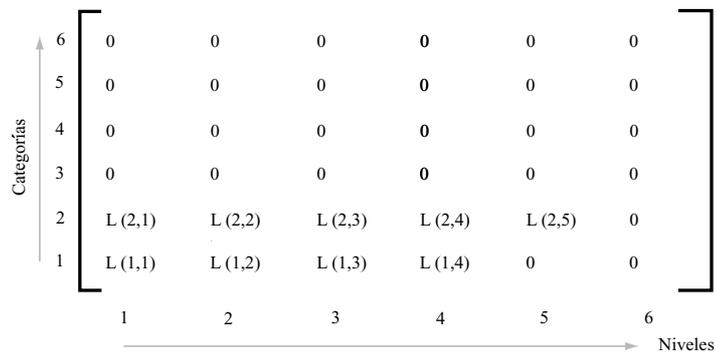


Figura 5.4. Matriz *RLP* para la pieza 1 del conjunto mecánico

Como restricción a este tipo de matriz, se plantea que es una condición necesaria la existencia de los niveles previos a un determinado nivel.

$$L_{(2,1)} = L_{(2,2)} = L_{(2,3)} = \{\text{verdadero}\}, \tag{5.1}$$

$$L_{(2,4)} = \{\{\{\text{verdadero, falso}\} \{0\}\}, \{\{\text{falso, verdadero}\} \{4, 2\}\}\}, \tag{5.2}$$

$$L_{(2,5)} = \{\{\{\text{verdadero, falso, verdadero}\} \{\{3\}, \{0\}, \{2\}\}\}\}, \tag{5.3}$$

$$L_{(1,1)} = L_{(1,2)} = L_{(1,3)} = \{\text{verdadero}\}, \tag{5.4}$$

$$L_{(1,4)} = \{\{\{\text{verdadero}\} \{\text{verdadero, falso, falso, falso, falso, falso}\} \{1\}\}\}, \tag{5.5}$$

La primera sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de al menos un requerimiento funcional de contacto no permanente, por lo que presupone la existencia de la lista $L_{(2,5)}$.

La segunda sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de dos requerimientos funcionales de contacto permanente —*CPR*— y las piezas con las cuales tiene contacto la pieza 1 (5.2). En la lista $L_{(2,5)}$ aparecen representados los requerimientos funcionales de dimensión nominal y de dimensión máxima, así como las piezas relacionadas con dichos requerimientos, (5.3). Las listas $L_{(1,1)}$, $L_{(1,2)}$ y $L_{(1,3)}$, indican los requerimientos genéricos para el caso de la primera categoría. La lista $L_{(1,4)}$ indica que la pieza 1 es la pieza ensamble base, por lo que tendrá una gran importancia en el proceso de ensamblaje (5.5). En la Figura 5.5, se muestra la configuración inicial de la *matriz RLP* para el caso de la pieza 2 del conjunto mecánico que se analiza.

Categorías	6	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	2	$L_{(2,1)}$	$L_{(2,2)}$	$L_{(2,3)}$	$L_{(2,4)}$	$L_{(2,5)}$	0
	1	0	0	0	0	0	0
		1	2	3	4	5	6
		Niveles					

Figura 5.5. Matriz RLP para la pieza 2 del conjunto mecánico

En el caso de la pieza 2, las listas correspondientes a los tres primeros niveles sólo almacenan un valor (5.6).

$$L_{(2,1)} = L_{(2,2)} = L_{(2,3)} = \{\text{verdadero}\}, \quad (5.6)$$

$$L_{(2,4)} = \{\{\{\text{verdadero, falso}\} \{0\}\}, \{\{\text{falso, verdadero}\} \{1\}\}\}, \quad (5.7)$$

$$L_{(2,5)} = \{\{\{\text{falso, falso, verdadero}\} \{\{0\}, \{0\}, \{1\}\}\}\}, \quad (5.8)$$

La primera sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de al menos un requerimiento funcional de contacto no permanente, por lo que presupone la existencia de la lista $L_{(2,5)}$. La segunda sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de un requerimiento funcional de contacto permanente —*CPR*— y la pieza con la cual tiene contacto la pieza 2 (5.7).

En la lista $L_{(2,5)}$ aparece representado el requerimiento funcional de dimensión máxima en la que interviene la pieza 2 (5.8). En la Figura 5.6, se muestra la configuración inicial de la *matriz RLP* para el caso de la pieza 3 del conjunto mecánico que se analiza. En el caso de la pieza 3, las listas correspondientes a los tres primeros niveles sólo almacenan un valor (5.9).

Categorías	6	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	2	$L_{(2,1)}$	$L_{(2,2)}$	$L_{(2,3)}$	$L_{(2,4)}$	$L_{(2,5)}$	0
	1	0	0	0	0	0	0
		1	2	3	4	5	6
		Niveles					

Figura 5.6. Matriz RLP para la pieza 3 del conjunto mecánico

$$L_{(2,1)} = L_{(2,2)} = L_{(2,3)} = \{\text{verdadero}\}, \tag{5.9}$$

$$L_{(2,4)} = \{\{\{\text{verdadero, falso}\} \{0\}\}, \{\{\text{falso, verdadero}\} \{4\}\}\}, \tag{5.10}$$

$$L_{(2,5)} = \{\{\text{verdadero, falso, falso}\} \{\{1\}, \{0\}, \{0\}\}\}, \tag{5.11}$$

La primera sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de al menos un requerimiento funcional de contacto no permanente, por lo que presupone la existencia de la lista $L_{(2,5)}$. La segunda sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de un requerimiento funcional de contacto permanente —CPR— y la pieza con la cual tiene contacto la pieza 3 (5.10). En la lista $L_{(2,5)}$ aparece representado el requerimiento funcional de dimensión nominal en que interviene la pieza 3 (5.11). En la Figura 5.7, se muestra la configuración inicial de la matriz RLP para el caso de la pieza 4 del conjunto mecánico que se analiza. En el caso de la pieza 4, las listas correspondientes a los tres primeros niveles sólo almacenan un valor (5.12).

$$L_{(2,1)} = L_{(2,2)} = L_{(2,3)} = \{\text{verdadero}\}, \tag{5.12}$$

$$L_{(2,4)} = \{\{\{\text{falso, falso}\} \{0\}\}, \{\{\text{falso, verdadero}\} \{1, 3\}\}\}, \tag{5.13}$$

Categorías	6	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	2	L (2,1)	L (2,2)	L (2,3)	L (2,4)	0	0
	1	0	0	0	0	0	0
		1	2	3	4	5	6
		Niveles					

Figura 5.7. Matriz RLP para la pieza 4 del conjunto mecánico

La primera sublista $L_{(2,4)}$ indica que no existe ningún requerimiento funcional de contacto no permanente en esta pieza, por lo que indica que la lista $L_{(2,5)}$ no existe. La segunda sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de dos requerimientos funcionales de contacto permanente —CPR— y las piezas con las cuales tiene contacto la pieza 4 (5.13). De esta forma, a través de las matrices *MSP* y *RLP*, se han representado las intenciones de diseño o requerimientos funcionales. Para sintetizar las condiciones en una sola expresión para cada pieza, se utilizará la notación expresada en (5.14) y (5.15).

$$A = \{L_{(2,1)} \ \&\& \ L_{(2,2)} \ \&\& \ L_{(2,3)} \ \&\& \ L_{(2,4)} \ \&\& \ L_{(2,5)}\} \quad (5.14)$$

$$B = \{L_{(2,1)} \ \&\& \ L_{(2,2)} \ \&\& \ L_{(2,3)} \ \&\& \ L_{(2,4)} \ \&\& \ L_{(2,5)}\} \quad (5.15)$$

Representación de los niveles *versus* capas según la estructura funcional

Para analizar el comportamiento de los requerimientos funcionales en cada una de las categorías de la estructura funcional propuesta, se utilizará la *matriz MSC*. Esta matriz sólo representa la necesidad de que las piezas cumplan con un determinado requisito funcional y caracteriza a cada categoría. Debido a que los requerimientos funcionales específicos para este problema sólo actúan en dos categorías, sólo existirán dos matrices *MSC*.

En la Figura 5.8 se muestran las matrices *MSC* para el caso de la categoría Ct_1 , donde se puede apreciar que sólo lo cumple la capa número uno —pieza de ensamble base—; y la distribución en la segunda capa Ct_2 .

Es apreciable a simple vista, la importancia de las capas en función de los requerimientos funcionales clasificados por niveles según la estructura funcional. Según esta perspectiva, en la categoría Ct_2 la capa 1 es la que más importancia posee, debido a que interviene en cuatro requerimientos funcionales.

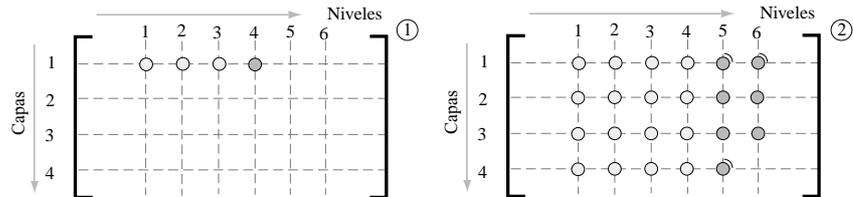


Figura 5.8. Matrices MSC para las categorías Ct_1 y Ct_2 de la estructura funcional

Representación de las categorías versus capas según la estructura funcional

Con la representación de las categorías versus capas de la estructura funcional se puede obtener información acerca de la importancia que tiene cada pieza en el funcionamiento del conjunto mecánico en cada uno de los niveles de la estructura funcional. De esta forma, se puede evaluar el grado de complejidad y se puede apreciar para un nivel en específico, a cuáles piezas el diseñador le proporcionó más importancia desde esta perspectiva. Para ello se utilizará la «matriz funcional simplifica por niveles» o «matriz MSN».

En esta representación, sólo interesan aquellos niveles en los que se representen de forma concreta las intenciones del diseñador —niveles 4, 5 y 6—, pues los demás niveles representan a los requerimientos más abstractos y genéricos. En la Figura 5.9 se muestran las matrices MSN para el cuarto y el quinto nivel de la estructura funcional, pues no existen requerimientos funcionales en el sexto nivel.

De acuerdo con las matrices MSN representadas en la Figura 5.9, se concluye que la pieza 1 del conjunto mecánico es la capa más importante del mismo, por lo que se le debe de mostrar especial atención en su diseño y en el proceso de montaje. De esta forma se corrobora la validez de este tipo de representación.

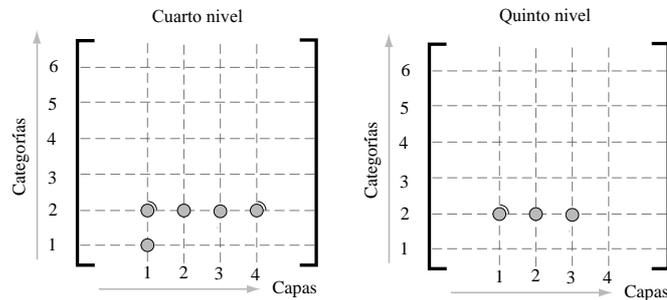


Figura 5.9. Matrices MSN para el cuarto y quinto nivel de la estructura funcional

Una vez que se han caracterizado y representado los requerimientos funcionales según la estructura funcional propuesta, se desarrolla el «método de las burbujas» para el caso en cuestión. Este método integra a los requerimientos funcionales planteados en el Capítulo 3 de forma coherente en un modelo de ensamble para entornos *CAD*. Para modelar estos requerimientos funcionales en el ensamble, se utilizará la metodología mostrada en la Figura 4.12 del Capítulo 4.

La resolución de este caso se guiará por los siguientes pasos:

Paso 1. Identificación de los requerimientos funcionales a partir de las necesidades de los usuarios.

En este caso, la identificación de los requerimientos se muestra en la Figura 5.2 y en las Tablas 5.1 y 5.2 se relacionan con más detalles.

Paso 2. Identificación de las piezas o elementos funcionales del conjunto mecánico. A partir de la identificación de los requerimientos funcionales en el ensamble, se identifican las piezas o elementos indispensables para el cumplimiento de los requerimientos.

Se sugiere utilizar una nomenclatura numérica en orden ascendente, como muestra la Figura 5.2, donde a cada pieza con importancia desde el punto de vista funcional se le asocia un número —1, 2, 3 y 4.

- Paso 3. Identificación en cada una de las piezas numeradas, de las características que garantizan su funcionalidad. En este paso se sugiere utilizar una nomenclatura por orden alfabético para cada pieza, como muestra la Figura 5.2.

La nomenclatura utilizada para este caso es el siguiente: Pieza 1 —a, b, c y d—, Pieza 2 —a y b—, Pieza 3 —a y b— y Pieza 4 —a y b. La colocación de los identificadores de las características de las piezas no sigue ninguna regla o restricción.

- Paso 4. Modelar o construir el algoritmo gráfico para representar las interacciones y los requerimientos funcionales del ensamble mecánico. Este paso se basa en la etapa número cuatro del procedimiento representado en la Figura 4.12.

Para la construcción del gráfico se sugieren las recomendaciones y los pasos mostrados en las Figuras 4.14, 4.15, 4.17 y 4.18 respectivamente. Para este problema, se utilizará el método de la burbuja para el caso de los requerimientos funcionales dimensionales, pues los requerimientos expresados son de este tipo, como se describe a continuación. Por tanto, se seguirán las recomendaciones de las Figuras 4.14 y 4.15, que sugieren:

- a) A cada pieza con importancia funcional se le asocia un nodo principal (Figura 5.10).

En este caso se construyen cuatro burbujas que identifican a cada una de las piezas del conjunto mecánico de la Figura 5.1.

- b) A cada uno de los nodos, se le asocia un nodo de identificación, se define el número de requerimientos funcionales que intervienen en cada pieza y se definen los requerimientos funcionales de ensamble de la pieza (Figura 5.10).

El nodo de identificación contiene el número que se le asignó a cada pieza —paso 2—, el número de requerimientos funcionales en los que interviene cada nodo o pieza —según las Tablas 5.1 y 5.2— y los requerimientos funcionales de ensamble —según la Tabla 5.2.

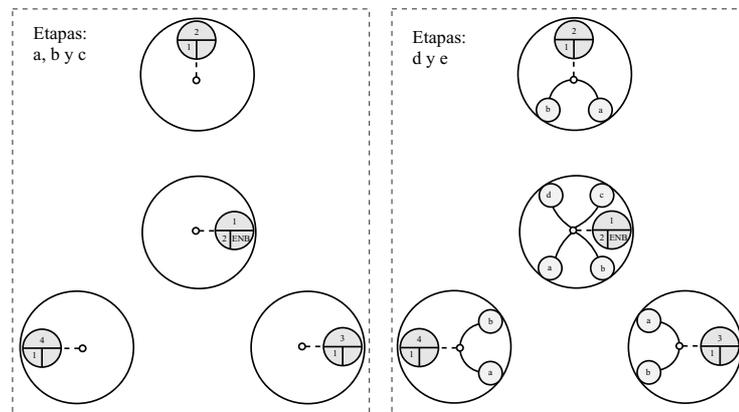


Figura 5.10. Nodos principales en el conjunto mecánico —etapas a, b, c, d y e—

- c) Se construye el nodo de relación y se asocia al nodo de identificación a través del vínculo nodal (Figura 5.10).
- d) De acuerdo con la etapa número tres (Figura 4.12) se construye en el nodo principal, tantos nodos de características como características con importancia funcional tenga la pieza (Figura 5.10), en correspondencia con el Paso 3.

Cada nodo o pieza dispondrá de un conjunto de características que permiten el correcto desempeño o funcionalidad del conjunto mecánico, cada una de estas características se representará a través de un nodo de característica, e identificará a través de la nomenclatura definida en el paso 3, visto anteriormente. Por tanto, el nodo o la burbuja 1 tendrá cuatro nodos de característica —a, b, c y d—, y las burbujas 2, 3 y 4 tendrá dos nodos de característica —a y b— respectivamente.

- e) Cada nodo de característica se une al nodo de relación a través del vínculo geométrico (Figura 5.10).
- f) Las características entre los nodos principales que posean una relación de contacto permanente, se unen a través del vínculo de ensamble (Figura 5.11).

- g) Cada requerimiento funcional se expresa entre las características de las piezas a través del vínculo funcional (Figura 5.11).

En este caso, se representan dos vínculos funcionales, uno para cada requerimiento funcional expresado en la Tabla 5.1.

Paso 5. Formular la ruta o cadena dimensional que garantice el cumplimiento de cada requerimiento funcional.

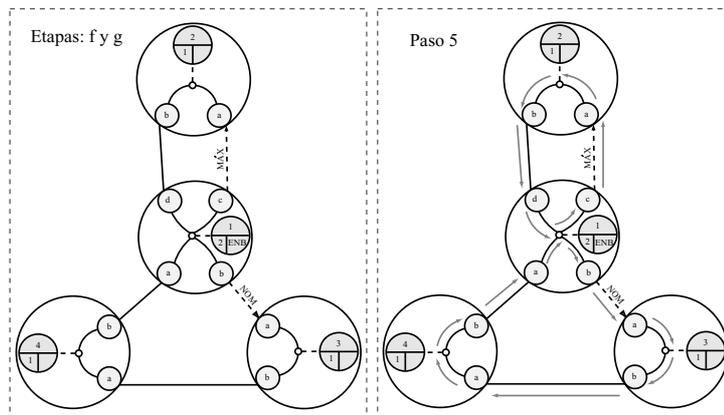


Figura 5.11. Etapas f y g; y Paso número 5 del método de las burbujas

Una vez que se ha construido el gráfico de la Figura 5.11 —etapas f y g—, las cadenas dimensionales pueden ser identificadas de una forma fácil. Se sugiere la secuencia que expresa la Figura 4.20. Por el tipo de requerimientos funcionales que presenta este caso, se utilizará el algoritmo para los casos dimensionales.

Como se observa en la Figura 5.11 —etapas f y g— el gráfico refleja de forma intuitiva cuáles pueden ser las rutas o cadenas dimensionales asociadas a este caso. En todos los casos los gráficos con cíclicos, por lo que siempre tendrán un nodo o burbuja de entrada y un nodo o burbuja de salida. Sólo se seguirán aquellas rutas interiores al requerimiento funcional, para evitar la utilización excesiva de eslabones de la cadena dimensional para un determinado requerimiento. La Figura 4.20 indica utilizar la siguiente secuencia:

- a) Iniciar la construcción de cada cadena dimensional por el extremo del vector que indica el vínculo funcional.

Para el caso del requerimiento *MÁX*, la construcción de la cadena dimensional se iniciaría por la característica *a* del nodo principal 2. En el caso del requerimiento funcional *NOM*, se iniciaría por la característica *a* del nodo principal 3 (Figura 5.11), pues los vínculos funcionales de ambos requerimientos lo indican así.

- b) Seguir la ruta que establece el vínculo geométrico de la característica hasta el nodo de relación (Figura 5.11).
- c) Desde el nodo de relación, seguir el vínculo geométrico hasta la próxima característica, siempre siguiendo una trayectoria en forma de lazo y con la menor cantidad de eslabones (Figura 5.11).

Para el requerimiento *MÁX*, la ruta a seguir es única, pues no existe otra alternativa al pasar de la característica *a* a la característica *b* de la burbuja número 2. Lo mismo sucede para el requerimientos *NOM*, la única alternativa es pasar de la característica *a* a la característica *b* de la burbuja número 3.

Luego, para el requerimiento *MÁX*, sólo existe la alternativa de pasar de la característica *b* de la burbuja 2 a la característica *d* de la burbuja 1. Para el requerimiento *NOM*, sucede de forma análoga, sólo existe la posibilidad de pasar de la característica *b* de la burbuja 3 a la característica *a* de la burbuja 3, de ésta a la característica *b* de la propia burbuja 3 y después, de la característica *b* de la burbuja 3 a la característica *a* de la burbuja 1.

- d) Seguir la trayectoria hasta que se retorne al inicio del vector que representa al vínculo funcional (Figura 5.11).

Al llegar a la característica *d* del nodo 1 y luego al nodo de relación de esta burbuja —caso del requerimiento *MÁX*—, existe la posibilidad de seguir varias rutas —seguir hasta las características *a*, *b* o *c* del nodo 1. En este caso, se seguirá hasta la característica *c* del nodo 1, pues es el

origen del vínculo funcional del requerimiento *MÁX* —el método supone que ningún vínculo funcional puede ser escogido como una alternativa de ruta o camino.

En estos casos se sigue la regla de buscar las rutas o alternativas que comprendan la menor cantidad posible de eslabones o componentes de la cadena dimensional. La cadena de cotas queda establecida de acuerdo a la ruta que se ha seguido. Las cadenas dimensionales se formularían de la siguiente forma:

Condición A: $NOM - 3a - 3b - 4a - 4b - 1a - 1b - NOM$

Condición B: $MÁX - 2a - 2b - 1d - 1c - MÁX$

Paso 6. Evaluar la cadena dimensional

La evaluación de la cadena dimensional se realiza en el gráfico de la Figura 5.11, según muestra la Figura 5.12.

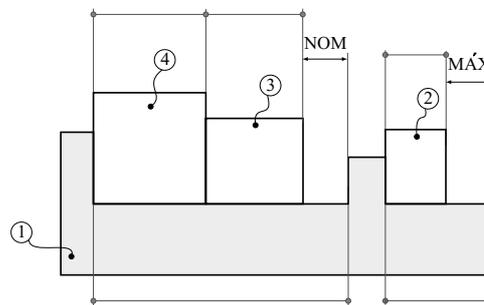


Figura 5.12. Evaluación de la cadena dimensional para el caso 1

La inspección visual de la cadena dimensional permitirá corregir las incorrecciones que puedan haberse cometido en el desarrollo del método.

5.3. Caso de un conjunto mecánico complejo con cotas unidireccionales y requerimientos funcionales dimensionales

Para garantizar una correcta funcionalidad del conjunto mecánico representado en la Figura 5.13, se deben de cumplir las condiciones funcionales expresadas en la Tabla 5.3.

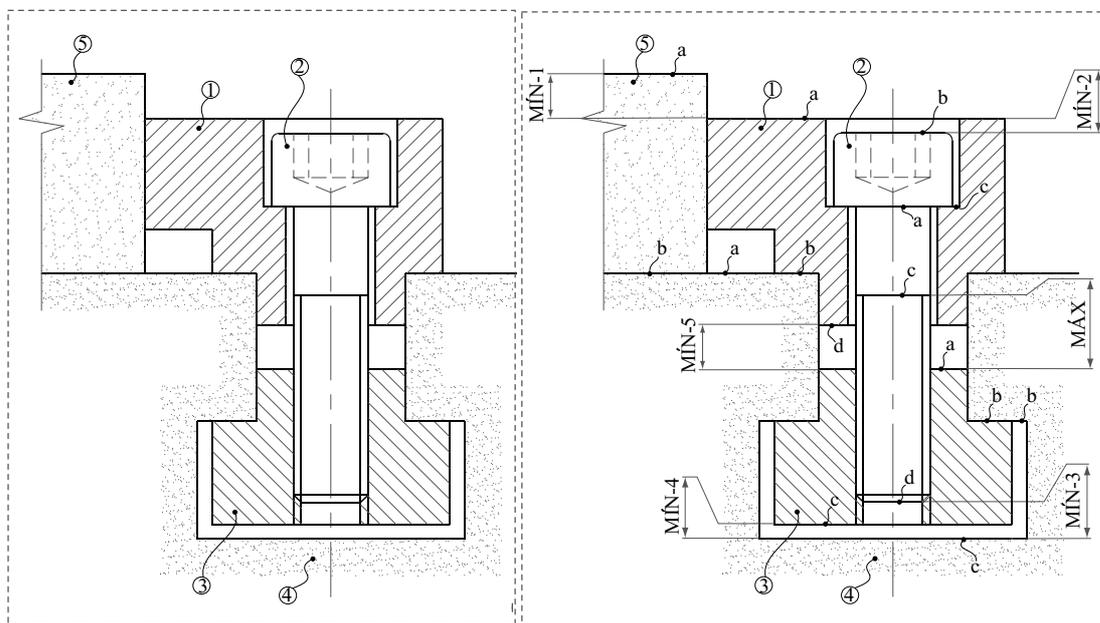


Figura 5.13. Dispositivo de sujeción de una máquina herramienta

El primer paso consiste en la identificación de los requerimientos funcionales existentes en el conjunto mecánico, según la estructura funcional propuesta en el Capítulo 3. Una vez identificadas las condiciones funcionales, se pasa a la numeración de cada una de las piezas con importancia funcional en el conjunto mecánico analizado. En la Tabla 5.3 se muestra la correspondencia entre las condiciones necesarias para el funcionamiento del conjunto y los correspondientes requerimientos funcionales según la estructura funcional propuesta.

Tabla 5.3. Condiciones para un adecuado funcionamiento del conjunto mecánico

Identificador	Requerimiento funcional	Condición
A	MÍN-1	La brida (1) debe de encontrarse en el plano de trabajo de la herramienta de corte
B	MÍN-2	La cabeza del tornillo (2) debe de encontrarse por debajo de la brida (1)
C	MÁX	La altura del filete del tornillo debe de encontrarse a una determinada distancia de la tuerca (3)
D	MÍN-3	Para el montaje, se necesita mantener una distancia entre la tuerca (3) y la bancada (4)
E	MÍN-4	Para el montaje se necesita un juego entre la tuerca (3) y la bancada (4)
F	MÍN-5	Para el montaje, se necesita un juego entre la tuerca (3) y la brida (1)

Para completar el proceso de identificación de los elementos necesarios para realizar una correcta representación de los requerimientos funcionales, se identifican para cada pieza, las relaciones que existen entre las mismas y la existencia de otras condiciones funcionales no planteadas en el problema. En la Tabla 5.4 se expresa para cada pieza, las relaciones que poseen con las demás y la existencia de otros requerimientos expresados implícitamente por el problema. Para capturar las intenciones del diseñador expresados en el problema, se utilizarán los planteamientos del apartado 4.2.

Representación de las categorías *versus* niveles según la estructura funcional

Para evaluar la importancia funcional de cada una de las piezas que componen el conjunto mecánico de la Figura 5.13, se representarán las categorías *versus* niveles, utilizando la «matriz simplificada de categorías *versus* niveles» o «matriz MSP». Esta matriz sólo muestra la necesidad de que una determinada capa cumpla con un conjunto de requerimientos funcionales. El símbolo «\»)» indica la cantidad del mismo tipo de requerimiento que debe de cumplir una determinada capa. En la Figura 5.14 se muestran las matrices MSP para las piezas del conjunto mecánico de la Figura 5.13.

Tabla 5.4. Relaciones entre las piezas y requerimientos funcionales del conjunto mecánico

Pieza	Relación con otras piezas	Requerimiento funcional
Pieza 1	(Pieza 1- Pieza 5), (Pieza 1- Pieza 2) y (Pieza 1- Pieza 3)	MÍN-1, MÍN-2, MÍN-5
	(Pieza 1- Pieza 5), (Pieza 1- Pieza 4) y (Pieza 1- Pieza 2)	CPR
Pieza 2	(Pieza 2- Pieza 1), (Pieza 2- Pieza 3) y (Pieza 2- Pieza 4)	MÍN-2, MÁX, MÍN-3
	(Pieza 2 - Pieza 1) y (Pieza 2- Pieza 3)	CPR
Pieza 3	(Pieza 3 - Pieza 4), (Pieza 3 - Pieza 2) y (Pieza 3 - Pieza 1)	MÍN-4, MÁX, MÍN-5
	(Pieza 3 - Pieza 4) y (Pieza 3 - Pieza 2)	CPR
Pieza 4	Pieza 4	ENB
	(Pieza 4 - Pieza 2) y (Pieza 4 - Pieza 3)	MÍN-3, MÍN-4
	(Pieza 4 - Pieza 3), (Pieza 4 - pieza1) y (Pieza 4 - Pieza5)	CPR
Pieza 5	(Pieza 5 - Pieza 1)	MÍN-1
	(Pieza 5 - Pieza 1) y (Pieza 5 - Pieza 4)	CPR

El procedimiento para formar las matrices —*MSP*, *RLP*, *MSC* y *MSN*— se basa en la Tabla que contiene los requerimientos funcionales del conjunto mecánico —en este caso la Tabla 5.4. Cada requerimiento se ubica en la estructura funcional de la Figura 3.5 y luego se coloca un punto más claro o más oscuro en función del tipo de requerimiento funcional, siguiendo las indicaciones de las Figuras 3.25 y 3.26.

Para poder representar las categorías *versus* niveles, se utilizará la «matriz simplificada de categorías versus niveles» o «matriz *MSP*». En la Figura 5.14 se muestran las matrices *MSP* para las piezas del conjunto mecánico de la Figura 5.13. Si se realiza una comparación entre las matrices *MSP* expuestas, se puede apreciar gráficamente que las piezas con más importancia funcional desde esta perspectiva resultan ser las piezas 1, 2, 3 y 4 del conjunto, por el número de condiciones de funcionamiento en las que están involucradas.

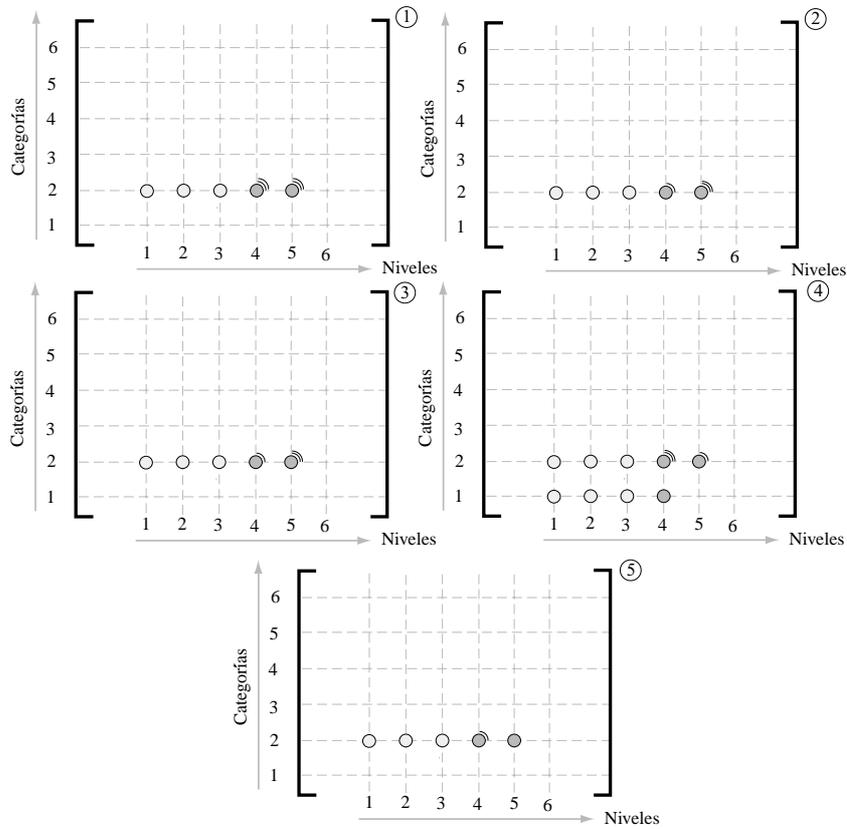


Figura 5.14. Matrices MSP para las piezas del conjunto mecánico del caso 2

Para poder representar, además de las intenciones de diseño, las relaciones que existen entre las capas desde el punto de vista funcional, se utilizará la «matriz funcional relacional por capas» o «matriz RLP». En la Figura 5.15, se muestra la configuración inicial de la matriz RLP para el caso de la pieza 1 del conjunto mecánico que se analiza. A continuación se muestra la descripción de las matrices RLP para cada una de las piezas con importancia funcional en el conjunto mecánico y las restricciones impuestas a esta matriz.

$$L_{(2,1)} = L_{(2,2)} = L_{(2,3)} = \{\text{verdadero}\}, \quad (5.16)$$

$$L_{(2,4)} = \{\{\{\text{verdadero, falso}\} \{0\}\}, \{\{\text{falso, verdadero}\} \{5, 4, 2\}\}\}, \quad (5.17)$$

$$L_{(2,5)} = \{\{\{\text{falso, verdadero, falso}\} \{\{0\}, \{5, 2, 3\}, \{0\}\}\}\}, \quad (5.18)$$

Categorías	6	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	2	L(2,1)	L(2,2)	L(2,3)	L(2,4)	L(2,5)	0
	1	0	0	0	0	0	0
		1	2	3	4	5	6
		Niveles					

Figura 5.15. Matriz RLP para la pieza 1 del conjunto mecánico

La primera sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de al menos un requerimiento funcional de contacto no permanente, por lo que presupone la existencia de la lista $L_{(2,5)}$. La segunda sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de tres requerimientos funcionales de contacto permanente —CPR— y las piezas con las cuales tiene contacto la pieza 1 del conjunto mecánico, expresión (5.17). En la lista $L_{(2,5)}$ aparecen representados tres requerimientos funcionales de dimensión mínima y las piezas relacionadas con dichos requerimientos, expresión (5.18). En la Figura 5.16, se muestra la configuración inicial de la *matriz RLP* para el caso de la pieza 2 del conjunto mecánico que se analiza.

Categorías	6	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	2	L(2,1)	L(2,2)	L(2,3)	L(2,4)	L(2,5)	0
	1	0	0	0	0	0	0
		1	2	3	4	5	6
		Niveles					

Figura 5.16. Matriz RLP para la pieza 2 del conjunto mecánico

A continuación se expone la representación de la matriz RLP de la Figura 5.16.

$$L_{(2,1)} = L_{(2,2)} = L_{(2,3)} = \{\text{verdadero}\}, \quad (5.19)$$

$$L_{(2,4)} = \{ \{ \{ \text{verdadero, falso} \} \{0\} \}, \{ \{ \text{falso, verdadero} \} \{1, 3\} \} \}, \quad (5.20)$$

$$L_{(2,5)} = \{ \{ \{ \text{falso, verdadero, falso} \} \{ \{0\}, \{1, 3, 4\}, \{0\} \} \}, \quad (5.21)$$

La primera sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de al menos un requerimiento funcional de contacto no permanente, por lo que presupone la existencia de la lista $L_{(2,5)}$. La segunda sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de dos requerimientos funcionales de contacto permanente —*CPR*— y las piezas con las cuales tiene contacto la pieza 2 del conjunto mecánico, expresión (5.20).

En la lista $L_{(2,5)}$ aparecen representados tres requerimientos funcionales de dimensión mínima y las piezas relacionadas con dichos requerimientos, expresión (5.21). En la Figura 5.17, se muestra la configuración inicial de la *matriz RLP* para el caso de la pieza 3 del conjunto mecánico que se analiza.

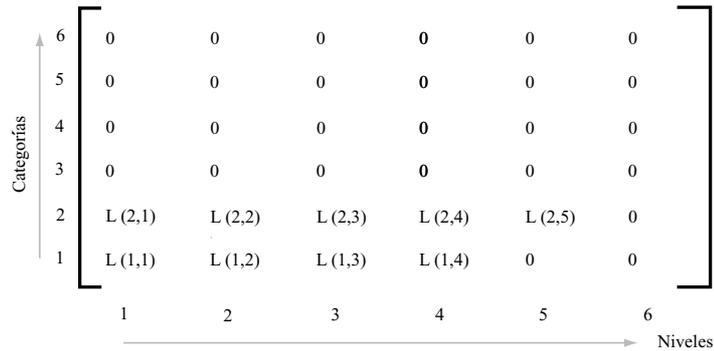


Figura 5.17. Matriz RLP para la pieza 3 del conjunto mecánico

A continuación se expone la representación de la matriz *RLP* de la Figura 5.17.

$$L_{(2,1)} = L_{(2,2)} = L_{(2,3)} = \{ \text{verdadero} \}, \quad (5.22)$$

$$L_{(2,4)} = \{ \{ \{ \text{verdadero, falso} \} \{0\} \}, \{ \{ \text{falso, verdadero} \} \{4, 2\} \} \}, \quad (5.23)$$

$$L_{(2,5)} = \{ \{ \{ \text{falso, verdadero, falso} \} \{ \{0\}, \{4, 2, 1\}, \{0\} \} \}, \quad (5.24)$$

La primera sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de al menos un requerimiento funcional de contacto no permanente, por lo que presupone la existencia de la lista $L_{(2,5)}$. La segunda sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de dos requerimientos funcionales de contacto permanente —*CPR*— y las piezas con las cuales tiene contacto la pieza 3 del conjunto mecánico (5.23). En la lista $L_{(2,5)}$ aparecen representados tres requerimientos funcionales de dimensión mínima y las piezas relacionadas con dichos requerimientos (5.24). En la Figura 5.18, se muestra la configuración inicial de la *matriz RLP* para el caso de la pieza 4 del conjunto mecánico que se analiza.

Categorías	6	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	2	$L_{(2,1)}$	$L_{(2,2)}$	$L_{(2,3)}$	$L_{(2,4)}$	$L_{(2,5)}$	0
	1	$L_{(1,1)}$	$L_{(1,2)}$	$L_{(1,3)}$	$L_{(1,4)}$	0	0
		1	2	3	4	5	6
		Niveles					

Figura 5.18. Matriz RLP para la pieza 4 del conjunto mecánico

A continuación se expone la representación de la matriz *RLP* de la Figura 5.18.

$$L_{(2,1)} = L_{(2,2)} = L_{(2,3)} = \{\text{verdadero}\}, \quad (5.25)$$

$$L_{(2,4)} = \{\{\{\text{verdadero, falso}\} \{0\}\}, \{\{\text{falso, verdadero}\} \{3, 1, 5\}\}\}, \quad (5.26)$$

$$L_{(2,5)} = \{\{\{\text{falso, verdadero, falso}\} \{\{0\}, \{2, 3\}, \{0\}\}\}\}, \quad (5.27)$$

$$L_{(1,1)} = L_{(1,2)} = L_{(1,3)} = \{\text{verdadero}\}, \quad (5.28)$$

$$L_{(1,4)} = \{\{\{\text{verdadero}\} \{\text{verdadero, falso, falso, falso, falso, falso}\} \{4\}\}\}, \quad (5.29)$$

La primera sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de al menos un requerimiento funcional de contacto no permanente, por lo que presupone la existencia de la lista $L_{(2,5)}$. La segunda sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de tres requerimientos funcionales de contacto permanente —*CPR*— y las piezas con las cuales tiene contacto la pieza 4 del conjunto

mecánico (5.26). En la lista $L_{(2,5)}$ aparecen representados dos requerimientos funcionales de dimensión mínima y las piezas relacionadas con dichos requerimientos (5.27).

Las listas $L_{(1,1)}$, $L_{(1,2)}$ y $L_{(1,3)}$, indican los requerimientos genéricos para el caso de la primera categoría. La lista $L_{(1,4)}$ indica que la pieza 4 es la pieza ensamble base, por lo que tendrá una gran importancia en el proceso de ensamblaje (5.28 y 5.29). En la Figura 5.19, se muestra la configuración inicial de la *matriz RLP* para el caso de la pieza 5 del conjunto mecánico que se analiza.

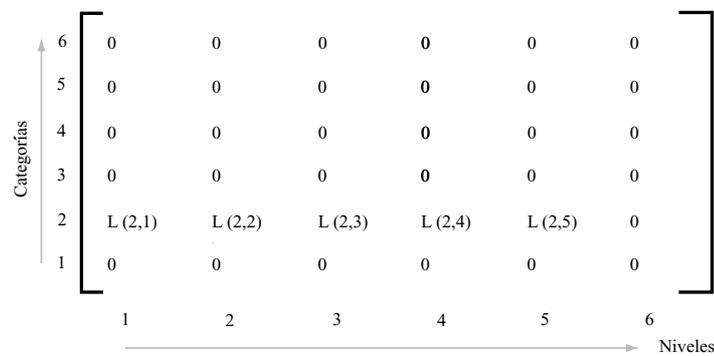


Figura 5.19. Matriz RLP para la pieza 5 del conjunto mecánico

A continuación se expone la representación de la matriz *RLP* de la Figura 5.19.

$$L_{(2,1)} = L_{(2,2)} = L_{(2,3)} = \{\text{verdadero}\}, \tag{5.30}$$

$$L_{(2,4)} = \{\{\{\text{verdadero, falso}\} \{0\}\}, \{\{\text{falso, verdadero}\} \{1, 4\}\}\}, \tag{5.31}$$

$$L_{(2,5)} = \{\{\{\text{falso, verdadero, falso}\} \{\{0\}, \{1\}, \{0\}\}\}\}, \tag{5.32}$$

La primera sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de al menos un requerimiento funcional de contacto no permanente, por lo que presupone la existencia de la lista $L_{(2,5)}$. La segunda sublista $L_{(2,4)}$ indica la existencia de dos requerimientos funcionales de contacto permanente —*CPR*— y las piezas con las cuales tiene contacto la pieza 4 del conjunto mecánico (5.31). En la lista $L_{(2,5)}$ aparecen representados un requerimiento funcional de dimensión mínima y la pieza relacionada con dicho requerimiento (5.32).

De esta forma, se han representado las intenciones de diseño o requerimientos funcionales, a través de las matrices *MSP* y *RLP*. Para sintetizar las condiciones en una sola expresión para cada pieza, se utilizarán las expresiones (5.33, 5.34, 5.35, 5.36, 5.37 y 5.38).

$$A = \{L_{(2,1)} \ \&\& \ L_{(2,2)} \ \&\& \ L_{(2,3)} \ \&\& \ L_{(2,4)} \ \&\& \ L_{(2,5)}\} \quad (5.33)$$

$$B = \{L_{(2,1)} \ \&\& \ L_{(2,2)} \ \&\& \ L_{(2,3)} \ \&\& \ L_{(2,4)} \ \&\& \ L_{(2,5)}\} \quad (5.34)$$

$$C = \{L_{(2,1)} \ \&\& \ L_{(2,2)} \ \&\& \ L_{(2,3)} \ \&\& \ L_{(2,4)} \ \&\& \ L_{(2,5)}\} \quad (5.35)$$

$$D = \{L_{(2,1)} \ \&\& \ L_{(2,2)} \ \&\& \ L_{(2,3)} \ \&\& \ L_{(2,4)} \ \&\& \ L_{(2,5)}\} \quad (5.36)$$

$$E = \{L_{(2,1)} \ \&\& \ L_{(2,2)} \ \&\& \ L_{(2,3)} \ \&\& \ L_{(2,4)} \ \&\& \ L_{(2,5)}\} \quad (5.37)$$

$$F = \{L_{(2,1)} \ \&\& \ L_{(2,2)} \ \&\& \ L_{(2,3)} \ \&\& \ L_{(2,4)} \ \&\& \ L_{(2,5)}\} \quad (5.38)$$

Representación de los niveles *versus* capas según la estructura funcional

Para analizar el comportamiento de los requerimientos funcionales en cada una de las categorías de la estructura funcional propuesta, se utilizará la *matriz MSC*. Debido a que los requerimientos funcionales específicos para este problema sólo actúan en dos categorías, sólo habrán dos matrices *MSC*. En la Figura 5.20 se muestran las matrices *MSC* para el caso de las categorías Ct_1 , donde se puede apreciar que sólo lo cumple la capa número cuatro —pieza de ensamble base—; y la distribución según las capas en la segunda capa Ct_2 de la estructura funcional.

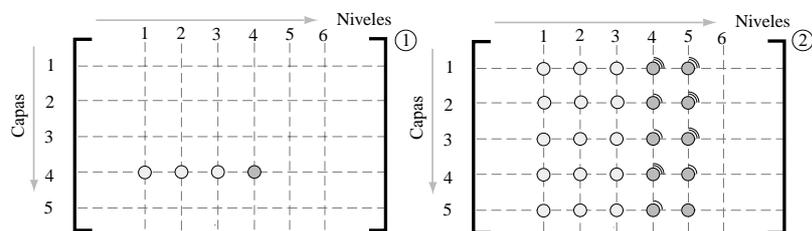


Figura 5.20. Matrices *MSC* para las categorías Ct_1 y Ct_2 de la estructura funcional

Es apreciable a simple vista, la importancia de las capas en función de los requerimientos funcionales clasificados por niveles según la estructura funcional. Desde esta perspectiva, se observa un equilibrio en la distribución de los requerimientos funcionales en todo el ensamble mecánico.

Representación de las categorías *versus* capas según la estructura funcional

Para evaluar el grado de complejidad o grado de importancia de las piezas y apreciar para un nivel en específico a cuáles piezas el diseñador le proporcionó más importancia funcional en el conjunto mecánico, se utilizará la «matriz funcional simplificada por niveles» o «matriz MSN». En esta representación, sólo interesan aquellos niveles en los que se representen de forma concreta las intenciones del diseñador —niveles 4, 5 y 6—, pues los demás niveles representan a los requerimientos más abstractos y genéricos. En la Figura 5.21 se muestra la matriz MSN para el cuarto y el quinto nivel de la estructura funcional.

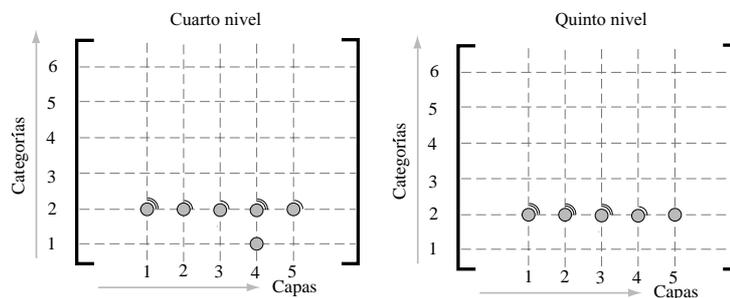


Figura 5.21. Matrices MSN para el cuarto y quinto nivel de la estructura funcional

En este caso, al igual que en las matrices MSP, se observa una distribución equitativa de la funcionalidad del conjunto mecánico.

Una vez que se han caracterizado y representado los requerimientos funcionales según la estructura funcional propuesta, se desarrolla el «método de las burbujas» para el caso en cuestión. Este método integra a los requerimientos funcionales planteados en el Capítulo 3 de forma coherente en un modelo de ensamble para entornos CAD. Para modelar estos requerimientos funcionales en el ensamble, se utilizará la metodología mostrada en la Figura 4.12 del Capítulo 4.

La resolución de este caso se guiará por los siguientes pasos:

- Paso 1. Identificación de los requerimientos funcionales a partir de las necesidades de los usuarios.

En este caso, la identificación de los requerimientos se muestra en la Figura 5.13 y en las Tablas 5.3 y 5.4 se relacionan con más detalles.

- Paso 2. Identificación de las piezas o elementos funcionales del conjunto mecánico. A partir de la identificación de los requerimientos funcionales en el ensamble, se identifican las piezas o elementos indispensables para el cumplimiento de los requerimientos.

Se sugiere utilizar una nomenclatura numérica en orden ascendente, como muestra la Figura 5.13, donde a cada pieza con importancia desde el punto de vista funcional se le asocia un número —1, 2, 3, 4 y 5.

- Paso 3. Identificación en cada una de las piezas numeradas, de las características que garantizan su funcionalidad. En este paso se sugiere utilizar una nomenclatura por orden alfabético para cada pieza, como muestra la Figura 5.13.

La nomenclatura utilizada para este caso es el siguiente: Pieza 1 —a, b, c y d—; Pieza 2 —a, b, c y d—; Pieza 3 —a, b y c—; Pieza 4 —a, b y c—; y Pieza 5—a y b. La colocación de los identificadores de las características de las piezas no sigue ninguna regla o restricción.

- Paso 4. Modelar o construir el algoritmo gráfico para representar las interacciones y los requerimientos funcionales del ensamble mecánico. Este paso se basa en la etapa número cuatro del procedimiento representado en la Figura 4.12.

Para la construcción del gráfico se sugieren las recomendaciones y los pasos mostrados en las Figuras 4.14, 4.15, 4.17 y 4.18 respectivamente. Para este problema, se utilizará el método de la burbuja para el caso de los requerimientos funcionales dimensionales, pues los requerimientos expresados son de este tipo, como se describe a continuación. Por tanto, se seguirán las recomendaciones de las Figuras 4.14 y 4.15, que sugieren:

- a) A cada pieza con importancia funcional se le asocia un nodo principal (Figura 5.22).

En este caso se construyen cinco burbujas que identifican a cada una de las piezas del conjunto mecánico de la Figura 5.13.

- b) A cada uno de los nodos, se le asocia un nodo de identificación, se define el número de requerimientos funcionales que intervienen en cada pieza y se definen los requerimientos funcionales de ensamble de la pieza (Figura 5.22).

El nodo de identificación contiene el número que se le asignó a cada pieza —paso 2—, el número de requerimientos funcionales en los que interviene cada nodo o pieza —según las Tablas 5.3 y 5.4— y los requerimientos funcionales de ensamble —según la Tabla 5.4.

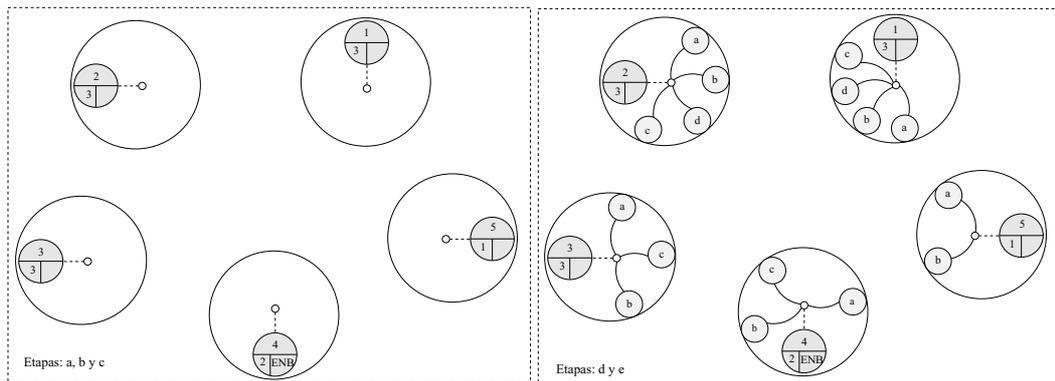


Figura 5.22. Nodos principales en el conjunto mecánico —etapas a, b, c, d y e—

- c) Se construye el nodo de relación y se asocia al nodo de identificación a través del vínculo nodal (Figura 5.22).
- d) De acuerdo con la etapa número tres (Figura 4.12) se construye en el nodo principal, tantos nodos de características como características con importancia funcional tenga la pieza (Figura 5.22), en correspondencia con el Paso 3.

Cada nodo o pieza dispondrá de un conjunto de características que permiten el correcto desempeño o funcionalidad del conjunto mecánico, cada una de estas características se representará a través de un nodo de característica, y se identificará a través de la nomenclatura definida en el paso, 3 visto anteriormente. Por tanto, los nodos o las burbujas 1 y 2 tendrá cuatro nodos de característica —a, b, c y d—, las burbujas 3 y 4 tendrá tres nodos de característica —a, b y c— y la burbuja 5 tendrá dos nodos de característica —a y b.

- e) Cada nodo de característica se une al nodo de relación a través del vínculo geométrico (Figura 5.22).
- f) Las características entre los nodos principales que posean una relación de contacto permanente, se unen a través del vínculo de ensamble (Figura 5.23).
- g) Cada requerimiento funcional se expresa entre las características de las piezas a través del vínculo funcional (Figura 5.23).

En este caso, se representan seis vínculos funcionales, uno para cada requerimiento funcional expresado en la Tabla 5.3.

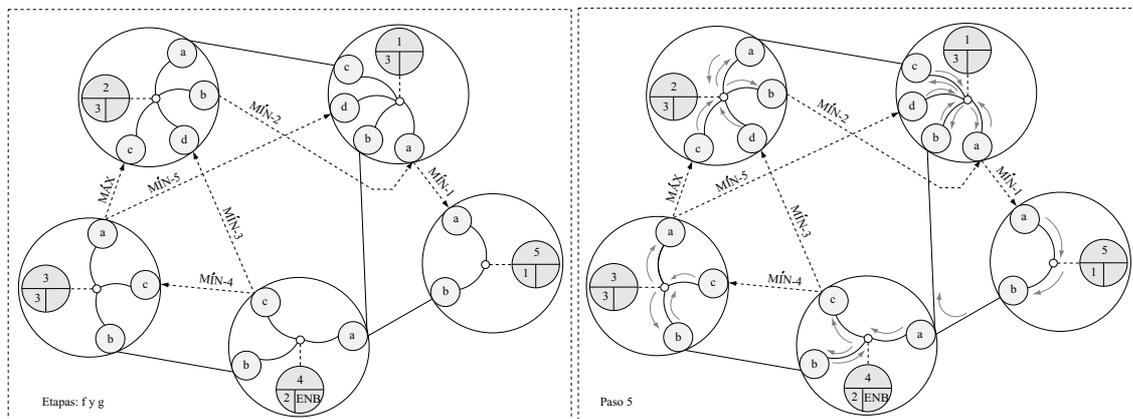


Figura 5.23. Etapas f y g; y Paso número 5 del método de las burbujas

Paso 5. Formular la ruta o cadena dimensional que garantice el cumplimiento de cada requerimiento funcional.

Una vez que se ha construido el gráfico de la Figura 5.23 —etapas f y g—, las cadenas dimensionales pueden ser identificadas de una forma fácil. Se sugiere la secuencia que expresa la Figura 4.20.

Por el tipo de requerimientos funcionales que presenta este caso, se utilizará el algoritmo para los casos dimensionales. Como se observa en la Figura 5.23 —etapas f y g— el gráfico refleja de forma intuitiva cuáles pueden ser las rutas o cadenas dimensionales asociadas a este caso. En todos los casos los gráficos con cíclicos, por lo que siempre tendrán un nodo o burbuja de entrada y un nodo o burbuja de salida. Sólo se seguirán aquellas rutas interiores al requerimiento funcional, para evitar la utilización excesiva de eslabones de la cadena dimensional para un determinado requerimiento. La Figura 4.20 indica utilizar la siguiente secuencia:

- e) Iniciar la construcción de cada cadena dimensional por el extremo del vector que indica el vínculo funcional.

Para el caso del requerimiento *MÍN-1*, la construcción de la cadena dimensional se iniciaría por la característica *a* de la burbuja 5; en el caso del requerimiento *MÍN-2*, se iniciaría por la característica *a* de la burbuja 1; en el caso del requerimiento *MÍN-3*, se iniciaría por la característica *d* de la burbuja 2; en el caso del requerimiento *MÍN-4*, se iniciaría por la característica *c* de la burbuja 3; en el caso del requerimiento *MÍN-5*, se iniciaría por la característica *d* de la burbuja 1; y el requerimiento *MÁX*, se iniciaría por la característica *c* de la burbuja 2 (Figura 5.23), pues los vínculos funcionales de los requerimientos lo indican así.

- f) Seguir la ruta que establece el vínculo geométrico de la característica hasta el nodo de relación (Figura 5.23).
- g) Desde el nodo de relación, seguir el vínculo geométrico hasta la próxima característica, siempre siguiendo una trayectoria en forma de lazo y con la menor cantidad de eslabones (Figura 5.23).

- h) Seguir la trayectoria hasta que se retorne al inicio del vector que representa al vínculo funcional (Figura 5.23).

Para el requerimiento *MÍN-1*, la ruta a seguir en la burbuja 5 es única, pues no existe otra alternativa al pasar de la característica *a* a la característica *b* de la burbuja número 5. Una vez en esa característica, sólo existe la posibilidad de pasar por la característica *a* de la burbuja 4 hacia la característica *b* de la burbuja 1, pues no existen otros vínculos de ensamble que permitan seguir una ruta en forma de lazo. En este modelo, los vínculos funcionales no se pueden seleccionar para construir lazos.

De la característica *b* de la burbuja 1, sólo existe la posibilidad de pasar a la característica *a* de esta propia burbuja — no existen otros vínculos de ensamble que permitan seguir una ruta en forma de lazo—, que constituye el inicio del vínculo funcional que se analiza. De esta forma se construye la cadena de cotas para el requerimiento *MÍN-1*.

La construcción de la ruta para el requerimiento *MÍN-2* se inicia en la característica *a* de la burbuja 1, luego sólo existe una posibilidad, la de pasar a la característica *c* de esta burbuja para completar la cadena de cotas. No existen otros vínculos de ensamble que permitan seguir una ruta en forma de lazo que garantice el cumplimiento de éste requerimiento.

De la característica *c* de la burbuja 1, sólo existe la posibilidad de pasar a la característica *a* de la burbuja 2, y luego sólo existe la alternativa de pasar a la característica *b* de la burbuja 2, que constituye el inicio del vínculo funcional que se analiza. En esta burbuja no existen otros vínculos de ensamble que permitan buscar otras alternativas. De esta forma se construye la cadena de cotas para el requerimiento *MÍN-2*.

La cadena de cotas para el caso del requerimiento *MÍN-3* se inicia en la característica *d* de la burbuja 2. Como se aprecia, sólo existe la posibilidad de pasar a la característica *a* de la propia burbuja 2, pues no existen más vínculos de ensamble; por la misma causa, sólo existe la alternativa de pasar a la característica *c* de la burbuja 1; al existir un sólo

vínculo de ensamble no recorrido, la única posibilidad es pasar a la característica b de la burbuja 1.

Una vez en la característica b de la burbuja 1, la única posibilidad es pasar a la característica a de la burbuja 4. De las alternativas posibles para seguir la ruta de la cadena de cotas, se pasa a la característica c de ésta burbuja que constituye el inicio del vínculo funcional que se analiza. Las otras dos opciones —pasar a la característica b de la burbuja 4 ó a la característica b de la burbuja 5—, no son factibles, pues no forman un bucle o lazo respecto al vínculo funcional. De esta forma se construye la cadena de cotas para el requerimiento $MÍN-3$.

En el caso del requerimiento $MÍN-4$, la cadena de cotas se inicia en la característica c de la burbuja 3, como se aprecia, sólo existe la posibilidad de pasar a la característica b de la propia burbuja 3, pues no existen más vínculos de ensamble; por la misma causa, sólo existe la alternativa de pasar a la característica b de la burbuja 4; pues existen dos vínculos más de ensambles no recorridos pero no garantizan un lazo respecto al requerimiento funcional que se analiza. La única posibilidad es pasar a la característica c de la burbuja 4, que constituye el inicio del vínculo funcional. De esta forma se construye la cadena de cotas para el requerimiento $MÍN-4$.

La formulación de la ruta o cadena dimensional, para el caso del requerimiento funcional $MÍN-5$, se inicia en la característica d de la burbuja 1, luego existen dos posibilidades: o se pasa a la característica c o a la característica b de ésta burbuja —ambas características poseen vínculos de ensamble. En este caso se pasará a la característica b , pues la otra variante no garantiza el lazo de la cadena de cotas.

De la característica b de la burbuja 1 se pasa a la característica a de la burbuja 4, existiendo dos nuevas posibilidades: o se pasa a la característica b de la burbuja 5 ó a la característica b de la burbuja 4 —ambas características poseen vínculos de ensamble. En este caso, se pasará a la característica b de la burbuja 4, pues la otra variante no garantiza el lazo de la cadena de cotas.

Una vez que la ruta se encuentra en la característica b de la burbuja 4, la única posibilidad es pasar a la característica b de la burbuja 3, luego, la única alternativa es pasar a la característica a de la burbuja 3, que constituye el inicio del vínculo funcional que se analiza. De esta forma se construye la cadena de cotas para el requerimiento $MÍN-5$.

La ruta o cadena de cotas del último de los requerimientos funcionales — $MÁX$ — se inicia en la característica c de la burbuja 2, luego se pasa a la única posibilidad, a la característica a de la propia burbuja —sólo existe un vínculo de ensamble. Por la misma razón, sólo se puede pasar a la característica c de la burbuja 1. Como solamente queda un nodo de característica con vínculo de ensamble sin recorrer, se pasa a la característica b de la burbuja 1, y luego a la característica a de la burbuja 4.

En éste último nodo de característica existe dos posibilidades: o se pasa a la característica b de la burbuja 5 ó a la característica b de la burbuja 4 —ambas características poseen vínculos de ensamble. En este caso, se pasará a la característica b de la burbuja 4, pues la otra variante no garantiza el lazo de la cadena de cotas.

Una vez que la ruta se encuentra en la característica b de la burbuja 4, la única posibilidad es pasar a la característica b de la burbuja 3, luego, la única alternativa es pasar a la característica a de la burbuja 3, que constituye el inicio del vínculo funcional que se analiza. De esta forma se construye la cadena de cotas para el requerimiento $MÁX$.

Las cadenas dimensionales se obtienen de la siguiente forma:

Condición A: $MÍN_1 - 5a - 5b - 4a - 1b - 1a - MÍN_1$

Condición B: $MÍN_2 - 1a - 1c - 2a - 2b - MÍN_2$

Condición C: $MÁX - 2c - 2a - 1c - 1b - 4a - 4b - 3b - 3a - MÁX$

Condición D: $MÍN_3 - 2d - 2a - 1c - 1b - 4a - 4c - MÍN_3$

Condición E: $MÍN_4 - 3c - 3b - 4b - 4c - MÍN_4$

Condición F: MÍN5 - 1d - 1b - 4a - 4b - 3b - 3a - MÍN5

Paso 6. Evaluar la cadena dimensional

La evaluación de la cadena dimensional se realiza en el gráfico de la Figura 5.23 según muestra la Figura 5.24. La inspección visual de la cadena dimensional permitirá corregir las incorrecciones que puedan haberse cometido en el desarrollo del método.

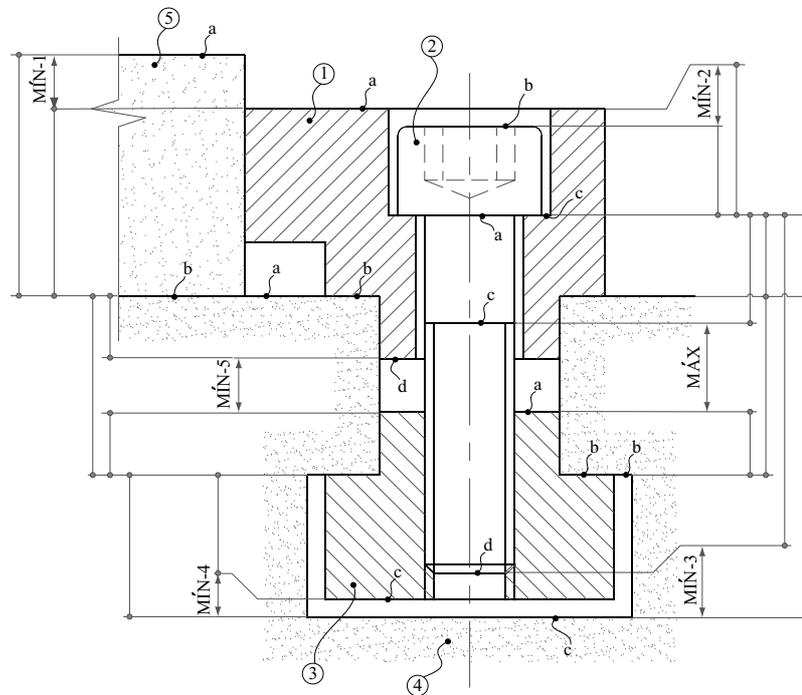


Figura 5.24. Evaluación de la cadena dimensional del caso 2

5.4. Caso de un conjunto mecánico con cotas bidireccionales y requerimientos funcionales geométricos y dimensionales

Para garantizar una correcta funcionalidad del conjunto mecánico representado en la Figura 5.25, se debe de cumplir con las condiciones expuestas en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5. Condiciones para un adecuado funcionamiento del conjunto mecánico

Identificador	Requerimiento funcional	Condición
A	CXM	Garantizar una coaxialidad máxima entre la superficie a de la pieza 2 y el eje del husillo de la pieza 1
B	CCM	Garantizar una concentricidad máxima entre la superficie f de la pieza 2 y el extremo f de la pieza 1
C	NOM	La distancia entre la superficie e de la pieza 2 y el extremo f de la pieza 1, debe de ser una dimensión nominal

El primer paso consiste en la identificación de los requerimientos funcionales existentes en el conjunto, según la estructura funcional propuesta en el Capítulo 3. Una vez identificadas, se pasa a la numeración de cada una de las piezas con importancia funcional.

La condición (A), equivale en la estructura funcional, a un requerimiento funcional de coaxialidad máxima —CXM—; la condición (B) equivale a una condición funcional de concentricidad máxima —CCM—; y la condición (C) equivale a una condición funcional de dimensión nominal —NOM—.

Luego, en cada pieza se identifican los requerimientos funcionales expresados en la estructura funcional propuesta (Tabla 5.6). Para capturar las intenciones del diseñador expresados en el problema, se utilizarán los planteamientos del apartado 4.2.

Tabla 5.6. Requerimientos funcionales del conjunto mecánico

Pieza	Relaciones entre piezas	Requerimiento funcional
Pieza 1	(Pieza 1 – Pieza 7) – X	CPR
	(Pieza 1 – Pieza 3) – X	CPR
	(Pieza 1 – Pieza 3) – Y	CPR
	(Pieza 1 - Pieza 4) – X	CPR
	(Pieza 1- Pieza 2) – X	CXM
	(Pieza 1- Pieza 2) – X	CCM
	(Pieza 1- Pieza 2) – Y	NOM
Pieza 2	(Pieza 2 – Pieza 1) – X	CXM
	(Pieza 2 - Pieza 1) – X	CXM
	(Pieza 2 - Pieza 1) – Y	NOM
	(Pieza 2 - Pieza 7) – X	CPR
	(Pieza 2- Pieza 4) – X	CPR
	(Pieza 2- Pieza 4) – Y	CPR
	(Pieza 2- Pieza 3) – X	CPR
Pieza 3	(Pieza 3 - Pieza 1) – X	CPR
	(Pieza 3- Pieza 1) – Y	CPR
	(Pieza 3- Pieza 2) – X	CPR
	(Pieza 3- Pieza 4) – Y	CPR
Pieza 4	(Pieza 4 - Pieza 3) – Y	CPR
	(Pieza 4- Pieza 1) – X	CPR
	(Pieza 4- Pieza 2) – X	CPR
	(Pieza 4- Pieza 2) – Y	CPR
Pieza 7	(Pieza 7 - Pieza 1) – X	CPR
	(Pieza 7- Pieza 2) – X	CPR

Representación de las categorías *versus* niveles según la estructura funcional

Para poder representar las categorías *versus* niveles, se utilizará la «matriz simplificada de categorías *versus* niveles» o «matriz MSP». Esta matriz sólo muestra la necesidad de que una determinada capa cumpla con un conjunto de requerimientos funcionales. El símbolo «\» indica la cantidad del mismo tipo de requerimiento que debe de cumplir una determinada capa. Debido a que en este caso existen dos direcciones de estudio —caso bidireccional—, se representarán las matrices *MSP*, *RLP*, *MSC* y *MSN* en las dos direcciones de estudio. En la Figura 5.26, se muestran las matrices *MSP* para las piezas 1, 2, 3, 4 y 7 del conjunto mecánico, en el eje «x».

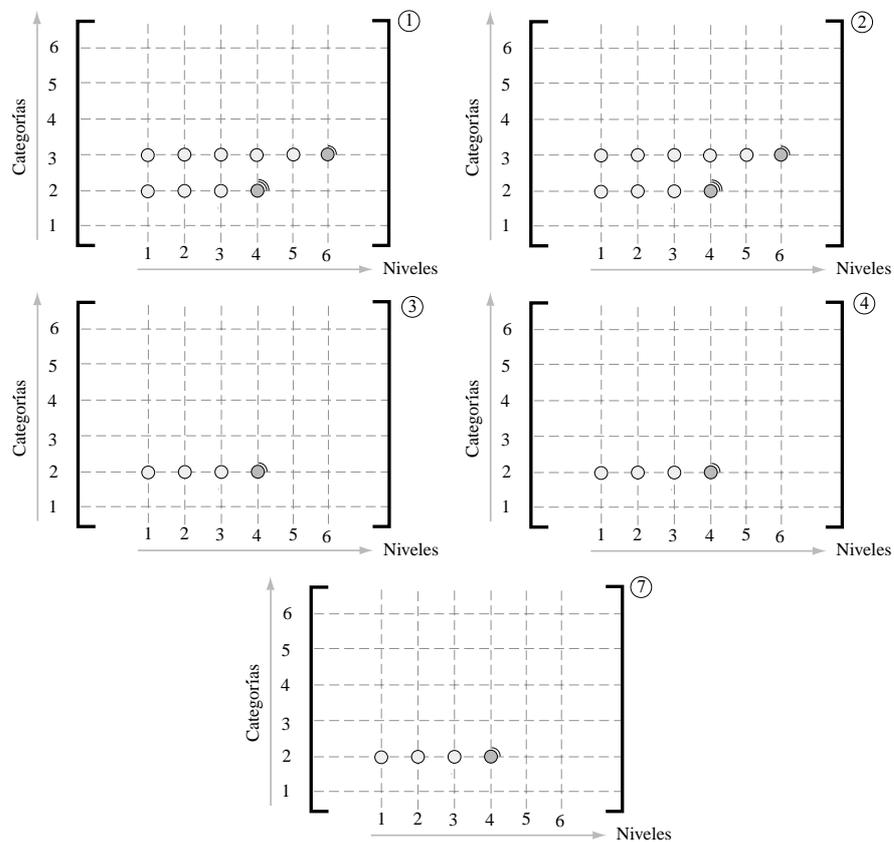


Figura 5.26. Matrices *MSP* para las piezas 1, 2, 3, 4 y 7 del conjunto mecánico —dirección horizontal—

Si se realiza una comparación entre las matrices *MSP* expuestas, se puede apreciar gráficamente que las piezas 1 y 2 poseen una importancia semejante desde esta perspectiva, por el número de condiciones de funcionamiento en las que están involucradas. En la Figura 5.27 se muestran las matrices *MSP* en la dirección del eje «y», observándose una uniformidad en la distribución de los requerimientos funcionales.

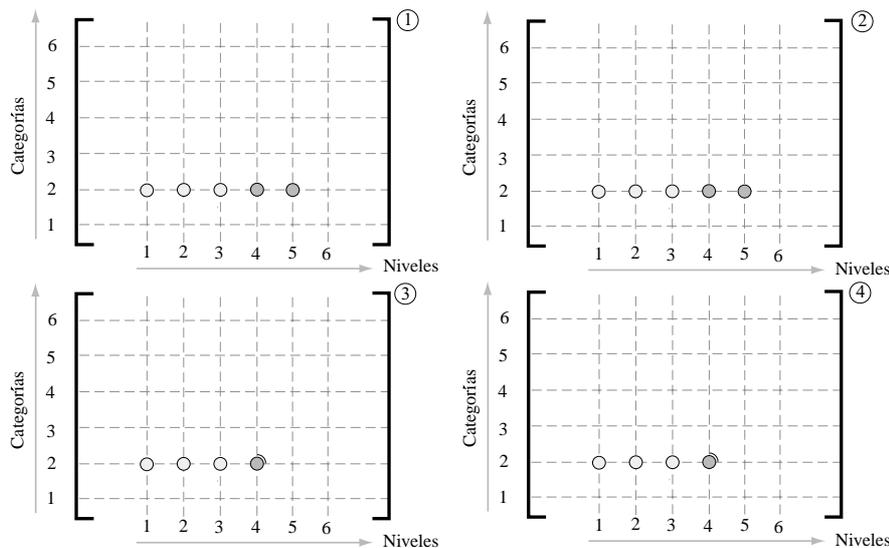


Figura 5.27. Matrices *MSP* para las piezas 1, 2, 3 y 4 del conjunto mecánico —dirección vertical—

Para poder representar, además de las intenciones de diseño, las relaciones que existen entre las capas desde el punto de vista funcional, se utilizará la *matriz RLP*. La descripción de las matrices *RLP* para cada una de las piezas con importancia funcional en el conjunto mecánico y las restricciones impuestas a esta matriz, siguen los mismos criterios expuestos en los dos casos anteriores, por lo que sólo se mostrará para este caso, las matrices *RLP*.

En la Figura 5.28 se muestra la configuración inicial de la *matriz RLP* para el caso de la pieza 1 del conjunto mecánico que se analiza, en las direcciones «x» e «y».

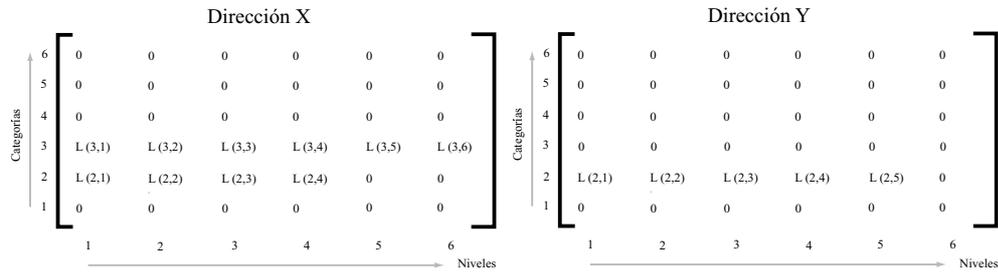


Figura 5.28. Matriz RLP para la pieza 1 del conjunto mecánico

En la Figura 5.29 se muestra la configuración inicial de la *matriz RLP* para el caso de la pieza 2 del conjunto mecánico que se analiza, en las direcciones «x» e «y».

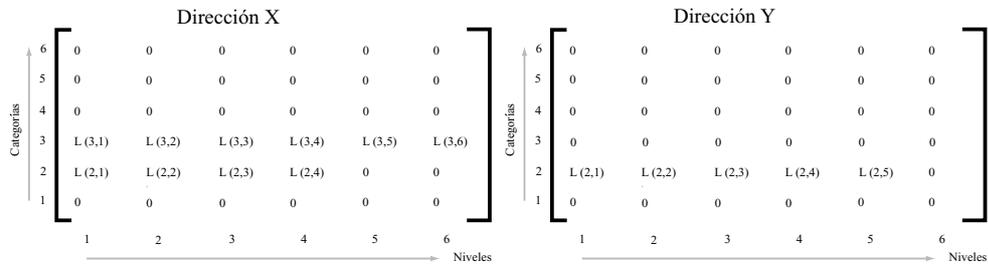


Figura 5.29. Matriz RLP para la pieza 2 del conjunto mecánico

En la Figura 5.30 se muestra la configuración inicial de la *matriz RLP* para el caso de la pieza 3 del conjunto mecánico que se analiza, en las direcciones «x» e «y».

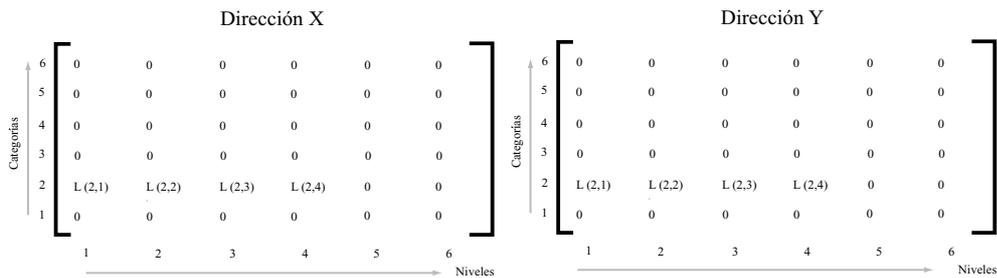


Figura 5.30. Matriz RLP para la pieza 3 del conjunto mecánico

En la Figura 5.31 se muestra la configuración inicial de la *matriz RLP* para el caso de la pieza 4 del conjunto mecánico que se analiza, en las direcciones «x» e «y».

		Dirección X								Dirección Y					
Categorías	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	2	L (2,1)	L (2,2)	L (2,3)	L (2,4)	0	0	L (2,1)	L (2,2)	L (2,3)	L (2,4)	0	0		
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
		Niveles						Niveles							

Figura 5.31. Matriz RLP para la pieza 4 del conjunto mecánico

En la Figura 5.32 se muestra la configuración inicial de la *matriz RLP* para el caso de la pieza 7 del conjunto mecánico que se analiza, en la dirección «x».

Categorías	6	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	2	L (2,1)	L (2,2)	L (2,3)	L (2,4)	0	0
	1	0	0	0	0	0	0
		1	2	3	4	5	6
		Niveles					

Figura 5.32. Matriz RLP para la pieza 7 del conjunto mecánico

Representación de los niveles versus capas según la estructura funcional

Para analizar el comportamiento de los requerimientos funcionales en cada una de las categorías de la estructura funcional propuesta, se utilizará la *matriz MSC*. Debido a que los requerimientos funcionales específicos para este problema sólo actúan en tres categorías, sólo existirán tres matrices *MSC*. En la Figura 5.33 se muestran las matrices *MSC* para el caso de las categorías Ct_1 , Ct_2 y Ct_3 —dirección «x»— y la categoría Ct_2 —dirección «y»—. En el caso de la categoría Ct_1 , se aprecia que sólo lo cumple la capa número uno —pieza de ensamble base.

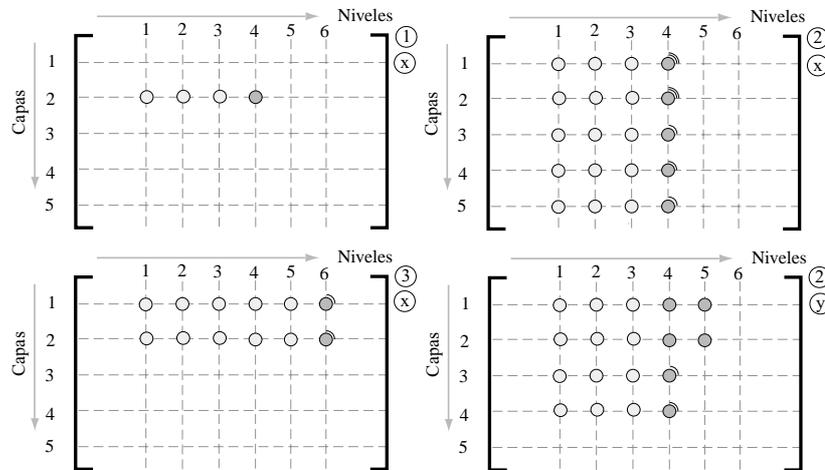


Figura 5.33. Matrices MSC para las categorías Ct_1 , Ct_2 y Ct_3 de la estructura funcional

El análisis de las matrices revela la importancia, desde esta perspectiva, que las piezas con más importancia haciendo un balance bidimensional, son las piezas 1, 2, 3 y 4, que es donde se concentran la mayor cantidad de requerimientos funcionales.

Representación de las categorías *versus* capas según la estructura funcional

Para evaluar el grado de complejidad de las piezas y apreciar para un nivel en específico a cuáles piezas el diseñador le proporcionó más importancia funcional en el conjunto mecánico, se utilizará la «matriz MSN».

En esta representación, sólo interesan aquellos niveles en los que se representen de forma concreta las intenciones del diseñador —niveles 4, 5 y 6, en las direcciones «x» e «y»—, pues los demás niveles representan a los requerimientos más abstractos y genéricos. En la Figura 5.34 se muestran las matrices MSN para el cuarto, quinto y el sexto nivel de la estructura funcional en ambas direcciones.

Desde el punto de vista bidimensional, se puede apreciar que el cuarto nivel de la estructura funcional es el más representado en el conjunto mecánico.

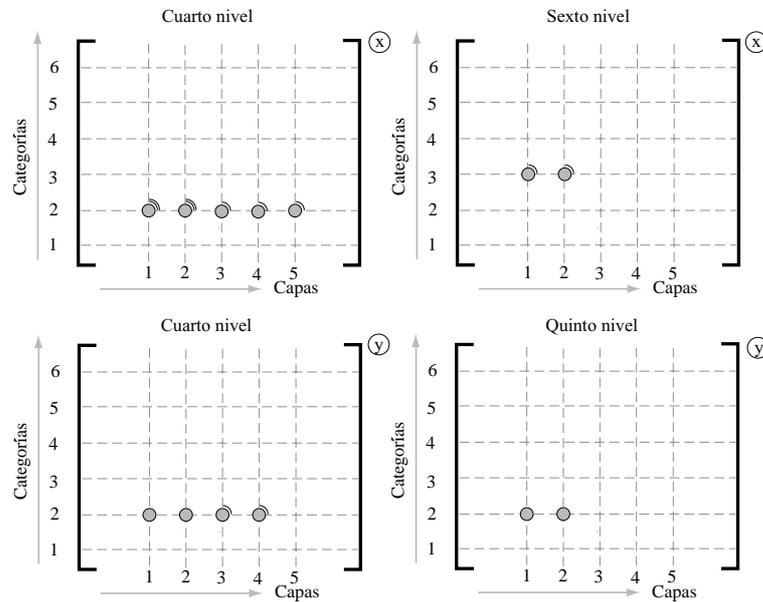


Figura 5.34. Matrices MSN para el cuarto, quinto y sexto nivel de la estructura funcional

Una vez que se han caracterizado y representado los requerimientos funcionales según la estructura funcional propuesta, se desarrolla el «método de las burbujas» para el caso en cuestión. Este método integra a los requerimientos funcionales planteados en el Capítulo 3 de forma coherente en un modelo de ensamble para entornos CAD. Para modelar estos requerimientos funcionales en el ensamble, se utilizará la metodología mostrada en la Figura 4.12 del Capítulo 4.

La resolución de este caso se guiará por los siguientes pasos:

Paso 1. Identificación de los requerimientos funcionales a partir de las necesidades de los usuarios.

En este caso, la identificación de los requerimientos se muestra en la Figura 5.25 y en las Tablas 5.5 y 5.6 se relacionan con más detalles.

Paso 2. Identificación de las piezas o elementos funcionales del conjunto mecánico.

A partir de la identificación de los requerimientos funcionales en el ensamble, se identifican las piezas o elementos indispensables para el cumplimiento de los requerimientos. Se sugiere utilizar una nomenclatura numérica en orden ascendente, como muestra la Figura 5.25, donde a cada pieza con importancia desde el punto de vista funcional se le asocia un número —1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8.

- Paso 3. Identificación en cada una de las piezas numeradas, de las características que garantizan su funcionalidad. En este paso se sugiere utilizar una nomenclatura por orden alfabético para cada pieza, como muestra la Figura 5.25.

La nomenclatura utilizada para este caso es el siguiente: Pieza 1 —a, b, c, d, e y f—; Pieza 2 —a, b, c, d, e y f—; Pieza 3 —a, b, c y d—; Pieza 4 —a, b, c y d—; y Pieza 7 —a y b. La colocación de los identificadores de las características de las piezas no sigue ninguna regla o restricción.

- Paso 4. Modelar o construir el algoritmo gráfico para representar las interacciones y los requerimientos funcionales del ensamble mecánico. Este paso se basa en la etapa número cuatro del procedimiento representado en la Figura 4.12.

Para la construcción del gráfico se sugieren las recomendaciones y los pasos mostrados en las Figuras 4.14, 4.15, 4.17 y 4.18 respectivamente. Para este problema, se utilizará el método de la burbuja para el caso de los requerimientos funcionales dimensionales y geométricos, pues en este conjunto mecánico existen los dos tipos de casos, como se describe a continuación. Por tanto, se seguirán las recomendaciones de las Figuras 4.14, 4.15, 4.17 y 4.18, que sugieren:

- a) A cada pieza con importancia funcional se le asocia un nodo principal (Figura 5.35). En este caso se construyen cinco burbujas que identifican a cada una de las piezas con importancia funcional del conjunto mecánico de la Figura 5.25.
- b) A cada uno de los nodos, se le asocia un nodo de identificación, se define el número de requerimientos funcionales que intervienen en cada pieza y se definen los requerimientos funcionales de ensamble de la pieza (Figura 5.35).

El nodo de identificación contiene el número que se le asignó a cada pieza —paso 2—, el número de requerimientos funcionales en los que interviene cada nodo o pieza —según las Tablas 5.5 y 5.6— y los requerimientos funcionales de ensamble —según la Tabla 5.6.

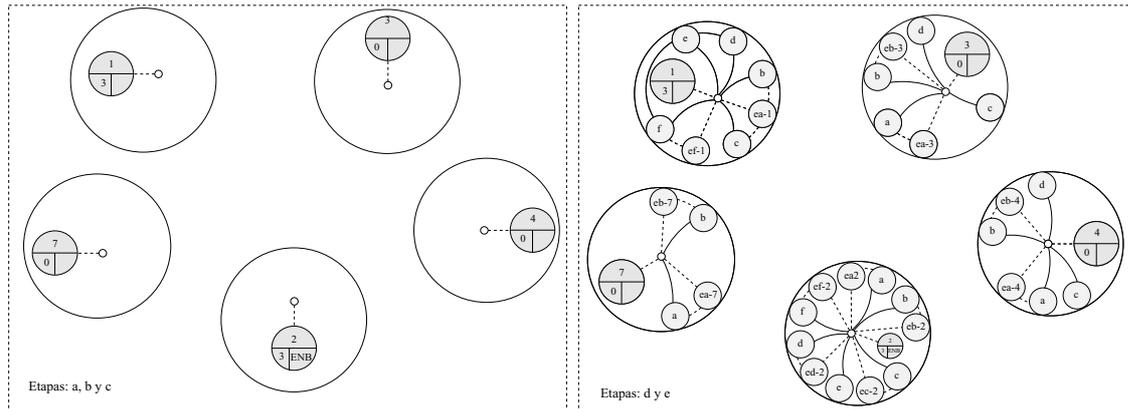


Figura 5.35. Nodos principales en el conjunto mecánico —etapas a, b, c, d y e—

- c) Se construye el nodo de relación y se asocia al nodo de identificación a través del vínculo nodal (Figura 5.35).
- d) De acuerdo con la etapa número tres (Figura 4.12) se construye en el nodo principal, tantos nodos de características como características con importancia funcional tenga la pieza (Figura 5.35), en correspondencia con el Paso 3.

Cada nodo o pieza dispondrá de un conjunto de características que permiten el correcto desempeño o funcionalidad del conjunto mecánico, cada una de estas características se representará a través de un nodo de característica, y se identificará con la nomenclatura definida en el paso 3, visto anteriormente.

Por tanto, el nodo o la burbuja 1 tendrá cinco nodos de característica —b, c, d, e y f— y dos nodos del eje —ea-1 y ef-1—; la burbuja 2 tendrá seis nodos de característica —a, b, c, d, e y f— y cinco nodos del eje —ea-2, eb-2, ec2, ed-2 y ef-2—; la burbuja 3 tendrá cuatro nodos de característica

—a, b, c y d— y dos nodos de eje —ea-3 y eb-3—; la burbuja 4 tendrá cuatro nodos de característica —a, b, c y d— y dos nodos de eje —ea-4 y eb-4—; y la burbuja 7 tendrá dos nodos de característica —a y b— y dos nodos de eje —ea-7 y eb-7.

- e) Cada nodo de característica se une al nodo de relación a través del vínculo geométrico (Figura 5.35). En caso de que el nodo posea un eje asociado, como sucede en todas las burbujas de este caso, construir el nodo del eje y asociarlo al nodo de relación a través del indicador de eje. Utilizar el indicador de pertenencia para indicar cuál o cuáles son los nodos de característica con los que está asociado.
- f) Las características entre los nodos principales que posean una relación de contacto permanente, se unen a través del vínculo de ensamble (Figura 5.36). Para diferenciar la dirección de estudio cuando existen casos bidimensionales, en una de las direcciones se utiliza como vínculo de ensamble un trazo más grueso que el utilizado para la otra dirección de estudio.
- g) Cada requerimiento funcional se expresa entre las características de las piezas a través del vínculo funcional (Figura 5.36). En este caso, se representan tres vínculos funcionales, uno para cada requerimiento funcional expresado en la Tabla 5.5.

Paso 5. Formular la ruta o cadena dimensional que garantice el cumplimiento de cada requerimiento funcional. Una vez que se ha construido el gráfico de la Figura 5.36 —etapas f y g—, las cadenas dimensionales pueden ser identificadas de una forma fácil. Se sugiere la secuencia que expresa la Figura 4.20.

Por el tipo de requerimientos funcionales que presenta este caso, se utilizará el algoritmo para los casos dimensionales y geométricos. Como se observa en la Figura 5.36 —etapas f y g— el gráfico refleja de forma intuitiva cuáles pueden ser las rutas o cadenas dimensionales asociadas a este caso. En todos los casos los gráficos con cíclicos, por lo que siempre tendrán un nodo o burbuja de entrada y un nodo o burbuja de salida.

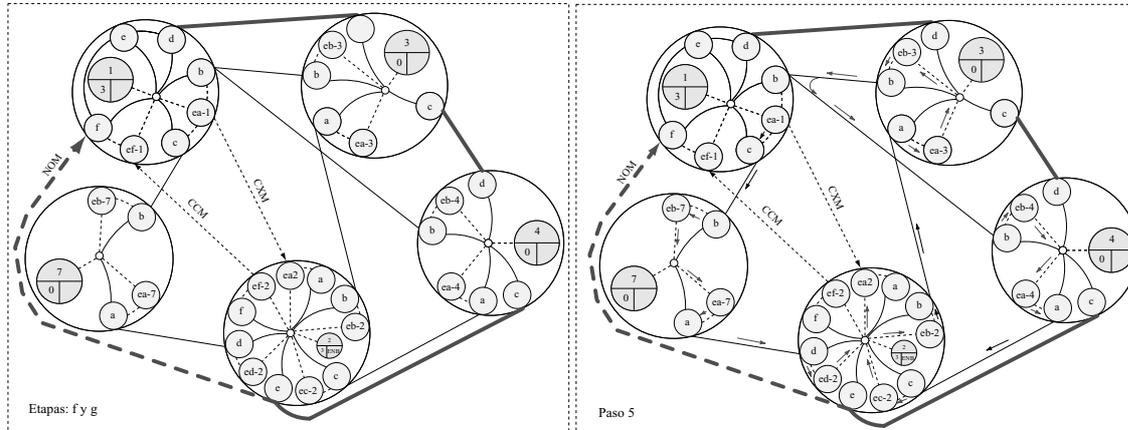


Figura 5.36. Etapas *f* y *g*; y Paso número 5 del método de las burbujas

Sólo se seguirán aquellas rutas interiores al requerimiento funcional, para evitar la utilización excesiva de eslabones de la cadena dimensional para un determinado requerimiento. La Figura 4.20 indica utilizar la siguiente secuencia:

- a) Iniciar la construcción de cada cadena dimensional por el extremo del vector que indica el vínculo funcional —caso dimensional—. En el caso geométrico, iniciar la cadena dimensional por el nodo del eje del origen del vínculo funcional.

Para el caso del requerimiento *CXM*, la construcción de la cadena dimensional se iniciaría por el nodo del eje *ea-1* de la burbuja 1 —se considera que el eje *ea-1* satisface a las características *a*, *b* y *c* de la pieza 1, en caso de que se quiera obtener una mayor exactitud se deben de considerar los ejes restantes—; en el caso del requerimiento *CCM*, se iniciaría por el nodo del eje *ef-2* de la burbuja 2; en el caso del requerimiento *NOM* —se encuentra en una dirección distinta a los otros requerimientos—, se iniciaría por la característica *f* de la burbuja 1.

- b) Seguir la ruta que establece el vínculo geométrico de la característica hasta el nodo de relación (Figura 5.36); o en el caso geométrico, seguir la ruta del indicador de pertenencia hasta el nodo de la característica.

- c) Desde el nodo de relación, seguir el vínculo geométrico hasta la próxima característica, siempre siguiendo una trayectoria en forma de lazo y con la menor cantidad de eslabones (Figura 5.36); en el caso geométrico, seguir el próximo indicador de eje, luego al nodo del eje y al nodo de la característica que posea un vínculo de ensamble.
- d) Seguir la trayectoria hasta que se retorne al inicio del vector que representa al vínculo funcional (Figura 5.36). Debido a la similitud del método de búsqueda de las cadenas de cotas entre los requerimientos *CCM* y *CXM*, se mostrará sólo la secuencia del requerimiento *CXM*.

Para el requerimiento *CXM*, la ruta a seguir en la burbuja 1 tiene varias posibilidades, la cadena se inicia a través del indicador de pertenencia de la característica *c* de la burbuja 1 que posee un vínculo de ensamble. Luego pasa hacia la característica *b* de la burbuja 7 —el elemento a utilizar para construir la cadena de cotas es el eje asociado a esta característica—; a partir del nodo del eje *eb-7* se pasa al nodo de relación; la única posibilidad que queda es seguir por el eje asociado a la característica *a* del nodo 7, pues es el único que posee un vínculo de ensamble no recorrido.

De la característica *a* del nodo 7 se pasa a la característica *d* del nodo 2; se pasa por el eje asociado a ésta; existen entonces dos posibilidades para realizar la ruta, se selecciona cualesquiera de ellas. Siguiendo las mismas consideraciones, la secuencia es *ed-2*, *eb-2*, *ea-3*, *e-a3*, *e-b3*, *e-b4*, *ea-4*, *ec-2* y *ea-2*. Para el caso del requerimiento *NOM*, se siguen las mismas recomendaciones vistas para los casos dimensionales anteriores. Las cadenas dimensionales se obtienen de la siguiente forma: (A) *CXM*; *ea-1*; *eb-7*; *ed-2*; *eb-2*; *ea-3*; *eb-3*; *eb-4*; *ea-4*; *ec-2*; *ea-2*; *CXM*; (B) *CCM*; *ef-1*; *ea-1*; *eb-7*; *ea-7*_ed-2; *eb-2*; *ea-3*; *eb-3*; *eb-4*; *ea-4*; *ec-2*; *ef-2*; *CCM*; (C) *NOM* -1f -1e - 1d - 3d - 3c - 4d - 4c - 2e - *NOM*.

Paso 6. Evaluar la cadena dimensional

La evaluación de la cadena dimensional se expresa en el gráfico de la Figura 5.37. La inspección visual de la cadena dimensional permitirá corregir las incorrecciones que puedan haberse cometido en el desarrollo del método.

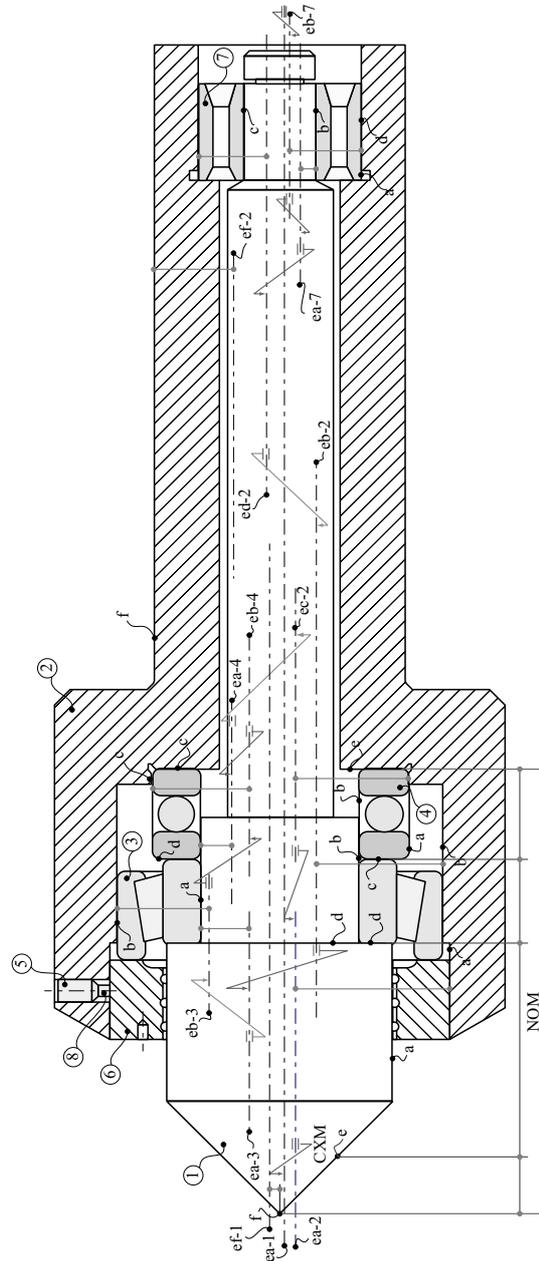


Figura 5.37. Evaluación de la cadena dimensional del caso 3