

Capítulo 3

Caracterización de los requerimientos funcionales y las tolerancias en la etapa de especificación

3.1. Introducción

En el proceso de diseño mecánico las tolerancias constituyen un aspecto crítico, debido a que las decisiones relacionadas con las tolerancias pueden influir de forma decisiva en la calidad y los costes del producto. La utilización de tolerancias muy amplias puede provocar dificultades en el proceso de diseño, mientras que el empleo de tolerancias muy estrechas puede incrementar el tiempo de fabricación y los problemas en el proceso de montaje o ensamblaje.

En la actualidad existen numerosos enfoques e investigaciones relacionadas con el análisis y/o síntesis de tolerancias, donde a menudo se requiere un conocimiento detallado de la geometría de las piezas que conforman el producto y son aplicables en su mayoría en las etapas avanzadas del proceso de diseño. En este proceso, los requerimientos funcionales se consideran como el modo más adecuado para capturar las intenciones funcionales del diseñador relacionados con las tolerancias, además de considerarse como un vínculo de información entre las diferentes etapas que conforman el ciclo de vida de un producto.

Para lograr una mejor integración de las tolerancias en el proceso de diseño, en esta investigación se desarrolla un modelo que permite considerar los requerimientos funcionales y las tolerancias en la etapa de especificación. Para caracterizar de forma adecuada a los requerimientos funcionales y a las tolerancias se utiliza el análisis de la jerarquía, el chequeo de las dependencias funcionales y la descomposición. Estos aspectos se encuentran relacionados entre sí y se utilizan para explorar la estructura funcional y los requerimientos funcionales, de acuerdo con las necesidades del usuario y a las intenciones del diseñador.

En este Capítulo se abordarán los fundamentos necesarios para lograr un adecuado tratamiento de los requerimientos funcionales y las tolerancias en la etapa de especificación, de forma tal que se garantice la síntesis de tolerancias en la etapa de diseño básico y de detalle. Para ello se establecen los fundamentos conceptuales que permiten caracterizar los requerimientos funcionales y las tolerancias, y se define una estructura funcional que posibilita la integración de las diferentes categorías de especificaciones de tolerancias en función de los dominios *DFM* y *DFA* de la Ingeniería Concurrente.

3.2. Análisis jerárquico de los requerimientos funcionales

En el proceso de diseño, la fase de especificación se define como un conjunto de requerimientos detallados que debe de cumplir o satisfacer el producto (Pug, 1991). Por tanto, la formulación de los requerimientos funcionales constituye el primer paso en el

diseño de un sistema. En esta fase, se ha de poner de manifiesto las características esenciales del problema, de manera que sirva de guía para la generación de soluciones (Cab, 1998). Cuando se desarrolla un producto, usualmente existen varios requerimientos funcionales iniciales relacionados con las tolerancias, transformados a partir de las necesidades de los usuarios o de la especificación inicial. Algunos surgen del departamento de ventas y marketing y otros de los departamentos de Ingeniería.

Aunque las investigaciones realizadas han mejorado la comprensión de la etapa de especificación, ésta aún no refleja totalmente las ideas de ingeniería en varios de los niveles de abstracción que se necesitan en el diseño conceptual (Kus, 1991). La etapa de especificación puede resultar una de las más difíciles en la aplicación de métodos formales adecuados para su implantación en ordenadores. Por otra parte, los futuros sistemas CAD inteligentes deberán asistir al diseñador a través de todo el proceso de diseño (Kim, 1989).

Con el objetivo de caracterizar los requerimientos funcionales relacionados con las tolerancias en la etapa de especificación, los requerimientos se han agrupado en cuatro categorías principales: especificaciones de diseño, descripción del usuario, desempeño esperado y otros requerimientos. Si se analiza la anterior clasificación de acuerdo con el enfoque de la Ingeniería Concurrente, se puede concluir que ésta clasificación contiene de forma implícita a los requerimientos funcionales de diseño, de fabricación y de ensamble (Figura 3.1).

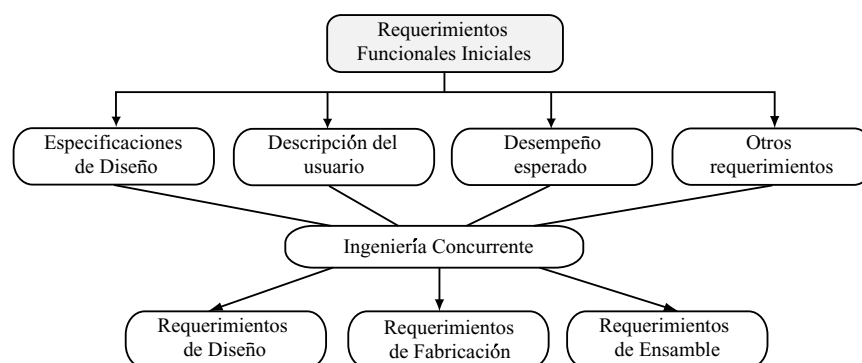


Figura 3.1. Requerimientos funcionales iniciales

Se definen a los «*requerimientos funcionales de diseño*» como aquellas especificaciones que define el diseñador para garantizar la funcionalidad y el destino de servicio del producto. Pueden clasificarse en dimensionales y geométricos. Los «*requerimientos funcionales dimensionales*» —*DML*—, son las especificaciones que define el diseñador para garantizar que se cumplan las exigencias dimensionales del producto. Los «*requerimientos funcionales geométricos*» son las especificaciones que define el diseñador para cumplir con las exigencias de las tolerancias geométricas del producto.

Se definen los «*requerimientos funcionales de fabricación*» —*FBC*— como las especificaciones que deben de cumplir las piezas de un determinado ensamble para garantizar la fabricación de las mismas. Son los requerimientos que desde el punto de vista de la Ingeniería Concurrente, representan el dominio del diseño para la fabricación —*DFM*. Se sugiere clasificar a los requerimientos funcionales de fabricación en requerimientos de colocación, operacionales, materiales, procesos y equipamientos. Debido a lo extenso que resultaría su estudio, en esta investigación sólo se indica una posible clasificación.

Los «*requerimientos funcionales de colocación*» —*CLC*— son aquellas especificaciones que permiten ubicar y colocar una determinada pieza de un ensamble en el dispositivo o en la mesa de la Máquina Herramienta. A su vez, Los «*requerimientos funcionales operacionales*» —*OPL*— son los que representan la forma en que se realizará el proceso de maquinado de una pieza.

Se definen los «*requerimientos funcionales de ensamble*» —*ENS*— como aquellas especificaciones que posibilitan la ubicación de una determinada pieza en un ensamble o la ubicación de un subensamble en un ensamble. Estos requerimientos representan el dominio del diseño para el ensamble —*DFA*—, según el paradigma de la Ingeniería Concurrente.

Para caracterizar a los requerimientos funcionales y a sus relaciones con las formas geométricas, se definen dos dominios: el dominio físico y el dominio funcional (Figura 3.2). El dominio funcional está formado por todos los requerimientos obtenidos a partir de las necesidades del usuario o de las funciones que se requieren para un adecuado

desempeño del producto. El dominio físico se pone de manifiesto a través de las formas geométricas del diseño más la información suplementaria no geométrica que incluye a las tolerancias, la rugosidad superficial y el material (Suh, 1990, 1998; Che, 1994).

A través del proceso de desarrollo del producto, los requerimientos funcionales iniciales son transformados en características de diseño que poseen un vínculo más estrecho con las tolerancias. En esta investigación los requerimientos funcionales se caracterizan a través de dos grupos principales:

- Requerimientos funcionales cualitativos
- Requerimientos funcionales cuantitativos

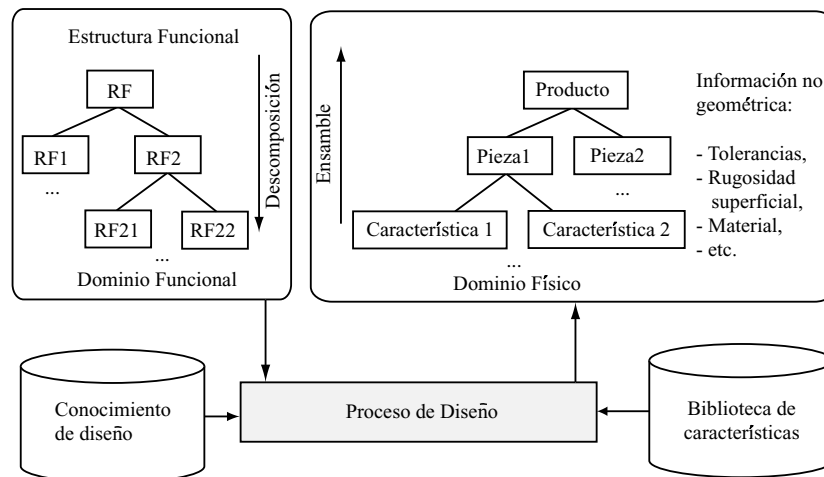


Figura 3.2. Dominios físico y funcional (Che, 1994)

Los «requerimientos funcionales cuantitativos» se definen como aquellas características de ingeniería que pueden expresarse directamente a través de un valor numérico o un rango de valores (Che, 1994). Estas características de ingeniería se obtienen a partir de las especificaciones funcionales iniciales y generalmente están relacionadas con aspectos propios de la resistencia de materiales, el cálculo a la fatiga, etc. Los «requerimientos funcionales cualitativos», por su parte, son a menudo mucho más abstractos y cualitativos, y no pueden expresarse directamente a través de valores cuantitativos o cálculos simples.

3.2.1. Requerimientos funcionales cuantitativos

En muchas ocasiones, las especificaciones funcionales iniciales requieren de valores cuantitativos para definir el producto. Estas características pueden expresarse a través de valores definidos o pueden expresarse a través de valores que se encuentren dentro de un cierto rango. Por lo tanto, existen dos subcategorías para los «*requerimientos funcionales cuantitativos*» (Figura 3.3): los cuantitativos invariables y los cuantitativos de rango.

Los «*requerimientos funcionales cuantitativos invariables*» —CNI— son aquellas especificaciones que se pueden expresar a través de un valor numérico determinado. Los «*requerimientos funcionales cuantitativos de rango*» —CRG—, son las especificaciones en los que su valor numérico se encuentra dentro de un cierto rango.

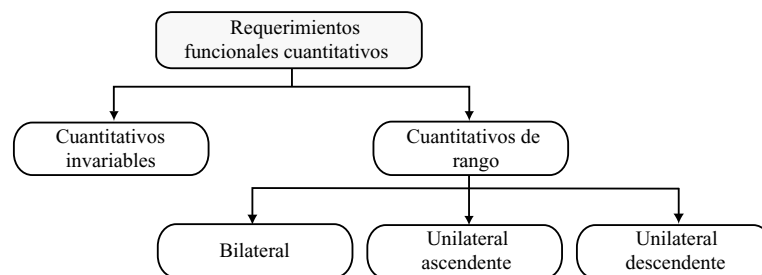


Figura 3.3. Requerimientos funcionales cuantitativos

A su vez, los «*requerimientos funcionales de rango*» pueden ser clasificados en «*requerimientos bilaterales*» —BLT—, cuando el valor puede variar en dos direcciones a partir de un valor inicial; en «*requerimientos unilaterales ascendentes*» —UNA—, donde el requerimiento puede variar a partir de un rango definido por un valor inicial y sólo podrá variar en un sentido; y los «*requerimientos unilaterales descendentes*» —UND—, donde el requerimiento puede variar en un rango definido a partir de un valor inicial, en dirección contraria a los «*requerimientos unilaterales ascendentes*» (Figura 3.4).

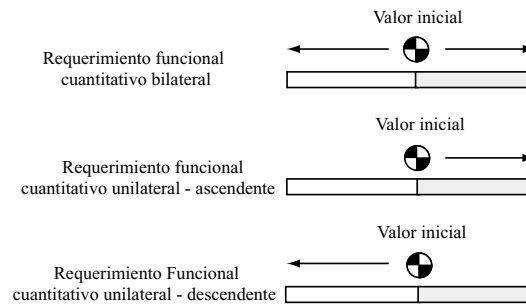


Figura 3.4. Requerimientos funcionales cuantitativos de rango

3.2.2. Requerimientos funcionales cualitativos

En un producto mecánico las tolerancias constituyen un elemento importante a considerar en todas las fases de su ciclo de vida y están estrechamente relacionadas con las formas geométricas. Estas formas geométricas a su vez, permiten el desempeño de las funciones del producto y garantizan una adecuada funcionalidad.

Los «*requerimientos funcionales cuantitativos*» son de especial importancia para la determinación de los parámetros de diseño, sin embargo, no pueden caracterizar todo el proceso de desarrollo de un producto, debido a que muchas de las funciones que se requieren no pueden expresarse a través de variables cuantitativas. Estas variables que no se pueden expresar a través de valores numéricos se pueden expresar a través de los «*requerimientos funcionales cualitativos*».

Para lograr una adecuada caracterización de los requerimientos funcionales en la etapa de especificación del proceso de diseño, se consideran cuatro tipos fundamentales de subcategorías para los requerimientos cualitativos. Esta clasificación se basa en la necesidad de integrar en esta etapa, las diferentes fases de desarrollo del producto según el enfoque de la Ingeniería Simultánea, por tanto, se clasificarán en *requerimientos funcionales dimensionales, geométricos, de fabricación y de ensamble* (Figura 3.5).

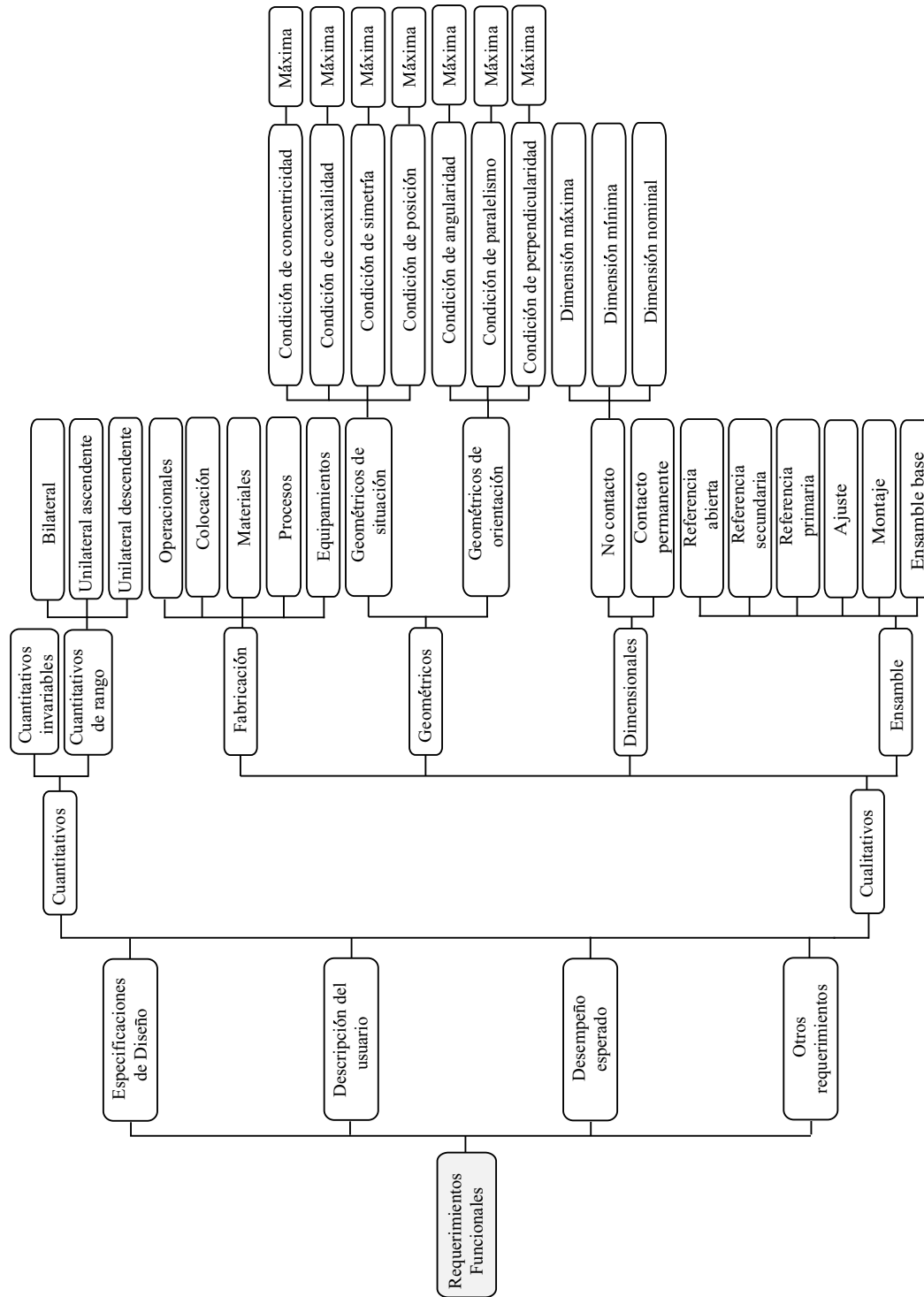


Figura 3.5. Estructura funcional para los requerimientos funcionales

Como se aprecia en la Figura 3.5, los «*requerimientos funcionales de fabricación*» están constituidos por los requerimientos operacionales —*OPL*—, de colocación —*CLC*—, la consideración de los materiales —*MTR*—, procesos —*PRC*— y equipamientos —*EQP*. Los requerimientos funcionales geométricos están formados por los requerimientos de orientación —*GTO*— y de situación —*GTS*—, con sus respectivas condiciones funcionales. A su vez, los requerimientos funcionales dimensionales están formados por los requerimientos de no contacto —dimensión máxima, dimensión mínima y dimensión nominal— y los requerimientos de contacto permanente.

Los «*requerimientos funcionales de ensamble*» están formados por los requerimientos de ensamble base, de ajuste, de montaje, de referencia primaria, de referencia secundaria y de referencia abierta.

En cuanto a los requerimientos funcionales geométricos, sólo se abordarán en este estudio los casos más utilizados de tolerancias geométricas según la norma ISO 1101 de 1983: las tolerancias de orientación —angularidad, paralelismo y perpendicularidad— y de situación —posición, simetría, coaxialidad y concentricidad—, debido a lo extenso que sería un estudio de todos los tipos de tolerancias geométricas (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Tolerancias geométricas según la norma ISO 1101-1983 (ISO, 1983^a, 1983^b)

Elementos y tipos de tolerancias		Características	Simbología
Elementos simples	Forma	Rectitud	—
		Planicidad	
		Redondez	
		Cilindricidad	
		Forma de una línea	
Elementos asociados	Forma	Forma de una superficie	
		Orientación	Paralelismo
	Perpendicularidad		
	Angularidad		
	Situación	Posición	
		Concentricidad/Coaxialidad	
		Simetría	
	Oscilación	Circular	
Total			

En esta investigación, se ha desarrollado una simbología que permite al diseñador identificar en un dibujo de conjunto mecánico, cuáles son los requerimientos funcionales o intenciones de diseño. La simbología expresa en el ámbito conceptual, las necesidades funcionales de un conjunto mecánico que están relacionadas con las tolerancias y/o con los enfoques del diseño para la fabricación o el diseño para el ensamble.

Para poder definir en un ensamble los requerimientos funcionales vinculados con las tolerancias geométricas, se necesita al menos la existencia de dos entidades geométricas —punto, eje o superficie. Una de ellas constituirá la entidad geométrica de referencia y las restantes serán las entidades geométricas que deben de satisfacer el requerimiento funcional geométrico. Para definir la entidad geométrica de referencia, se seguirán las indicaciones ofrecidas por las normas vigentes (ISO, 1981, 1983^a, 1983^b, 1985^b, 1987^a, 1987^b; ASM, 1995; Fos, 1997), es decir, las entidades geométricas de referencia serán el punto, el eje o la superficie en cuestión.

Para representar los requerimientos funcionales relacionados con las tolerancias geométricas de orientación y posición, se propone una simbología que permite expresar la intención del diseñador en un nivel abstracto. En la Figura 3.6 se puede apreciar la estructura de la simbología propuesta.

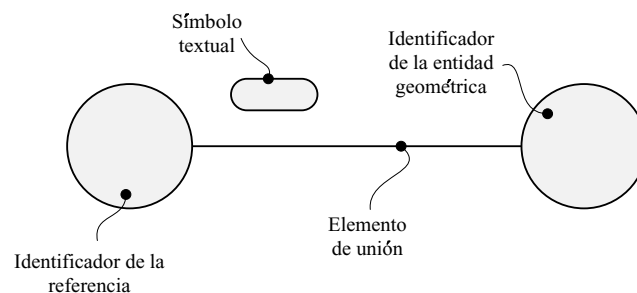


Figura 3.6. Estructura de la simbología correspondiente a los requerimientos funcionales geométricos de orientación y situación

En la Tabla 3.2 se muestran los identificadores de la referencia, los elementos de unión y los identificadores de las entidades geométricas para representar los requerimientos funcionales geométricos de orientación y posición.

Tabla 3.2. Simbología para los requerimientos funcionales geométricos de orientación y posición

Requerimientos funcionales		Simbología				Entidades geométricas
		Textual	Identificador de la referencia	Elemento de unión	Identificador de la entidad geométrica	
GTO	Paralelismo máximo	PLM	=		▼	Ejes o superficies
	Perpendicularidad máxima	PDM		└	▼	Ejes o superficies
	Angularidad máxima	AGM	//	⤿	▲	Ejes o superficies
GTS	Simetría máxima	SMM	■	⤿	□	Ejes o superficies
	Posición máxima	PSM	◆	⤿	◇	Puntos, ejes o superficies
	Coaxialidad máxima	CXM	●	⤿	○	Ejes
	Concentricidad máxima	CCM	▲	⤿	△	Puntos o ejes

Para representar de forma explícita cuáles son las entidades geométricas que relacionan los requerimientos funcionales expresados en la Tabla 3.2, se propone la utilización de las siguientes convenciones:

- Indicar los requerimientos funcionales según muestra la Tabla 3.2, siguiendo las consideraciones planteadas para cada requerimiento.
- Indicar en el símbolo textual del requerimiento el tipo de entidad geométrica que relaciona el requerimiento funcional. En el caso de que se trate de un plano, indicarlo con la letra «p»; en el caso de un punto por la letra «t» y en el caso de un eje por la letra «e» —por ser uno de los más utilizados, en caso de que en la

indicación del requerimiento no aparezca ninguna especificación, se induce que se trata de un eje.

- Estos modificadores se deben de utilizar como supraíndices en los símbolos de los diferentes requerimientos funcionales (Tabla 3.2).

En la Tabla 3.3 se relaciona la simbología propuesta para los restantes requerimientos funcionales que no se incluyen en la Tabla 3.2.

Tabla 3.3. Simbología para los requerimientos funcionales no incluidos en la Tabla 3.2

Requerimientos funcionales		Simbología textual
Cuantitativo invariable		CNI
CRG	Bilateral	BLT
	Unilateral ascendente	UNA
	Unilateral descendente	UND
FBC	Operacionales	OPL
	Colocación	CLC
	Materiales	MTR
	Procesos	PRC
	Equipamientos	EQP
DML	Dimensión máxima	MAX
	Dimensión mínima	MÍN
	Dimensión nominal	NOM
	Contacto permanente	CPR
ENS	Referencia abierta	RFA
	Referencia secundaria	RFS
	Referencia primaria	RFP
	Ajuste	AJT
	Montaje	MTJ
	Ensamble base	ENB

3.2.3. Requerimientos funcionales dimensionales

Los «*requerimientos funcionales dimensionales*» —*DML*— garantizan la captura de las exigencias relacionadas con las características dimensionales del producto. Están formados por los «*requerimientos funcionales de no contacto*» y los «*requerimientos funcionales de contacto permanente*».

– Requerimientos funcionales de no contacto —*NCT*—

Los «*requerimientos funcionales de no contacto*» permiten expresar los diferentes tipos de eslabones de cierre de las cadenas dimensionales en un determinado conjunto mecánico. Al eslabón cuya dimensión se le asocie esta especificación, no podrá ser igual a cero —dimensión no nula. Constituye un requerimiento genérico y está formado por los requerimientos funcionales: de dimensión nominal; máxima y mínima. La especificación *NCT* se establece cuando en un ensamble o subensamble, cualesquiera sea la configuración espacial, dos superficies pertenecientes a dos piezas diferentes nunca estarán en contacto.

«*Requerimiento funcional de dimensión nominal*» —*NOM*—: Constituye un caso particular de la especificación *NCT* (Ser, 1993; Ciu, 1997). La especificación *NOM* tiene lugar cuando en un ensamble o subensamble, cualesquiera sea la configuración espacial, la dimensión asociada al requerimiento entre dos superficies pertenecientes a dos piezas diferentes, tendrá un valor numérico determinado (Figura 3.7). En un ensamble o subensamble pueden existir varios requerimientos de tipo *NOM*. Es indispensable que el ensamble o subensamble esté compuesto por al menos dos piezas.

«*Requerimiento funcional de dimensión máxima*» —*MÁX*—: Constituye un caso particular de la especificación *NCT* (Ser, 1993; Ciu, 1997) (Figura 3.8). El requerimiento *MÁX* tiene lugar cuando en un ensamble o subensamble, cualesquiera sea la configuración espacial, la dimensión asociada al requerimiento entre dos superficies pertenecientes a dos piezas diferentes, tendrá como máximo un valor

límite. Pueden existir varios requerimientos *MÁX* en un ensamble o subensamble, con la restricción de que el ensamble o subensamble debe de estar compuesto por al menos dos piezas.

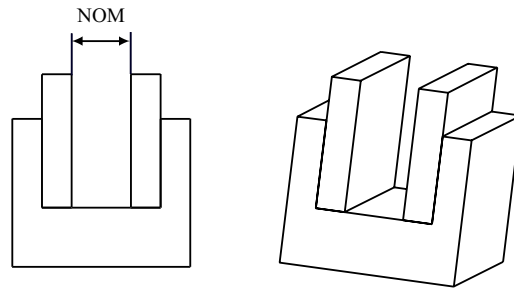


Figura 3.7. Requerimiento funcional de dimensión nominal

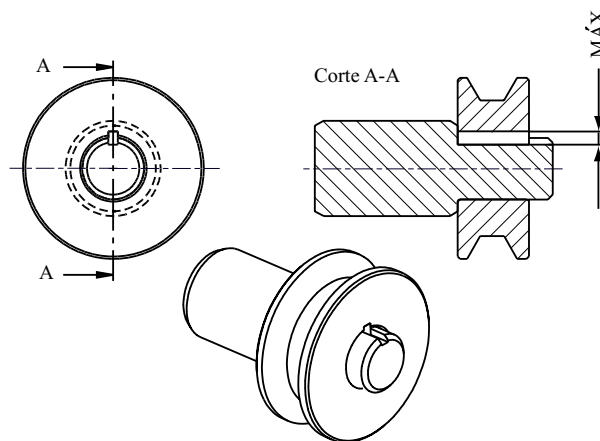


Figura 3.8. Requerimiento funcional de dimensión máxima

«Requerimiento funcional de dimensión mínima» —*MÍN*—: Constituye un caso particular del requerimiento funcional de no contacto (Ser, 1993; Ciu, 1997) (Figura 3.9). Cuando en un ensamble o subensamble, cualesquiera sea la configuración espacial, la dimensión asociada al requerimiento funcional entre dos superficies pertenecientes a dos piezas diferentes tiene como mínimo un valor límite, se está en presencia de un requerimiento *MÍN*. En un ensamble o subensamble, pueden existir varios requerimientos funcionales de dimensión mínima.

Como restricción indispensable, el ensamble o subensamble debe de estar compuesto por al menos dos piezas.

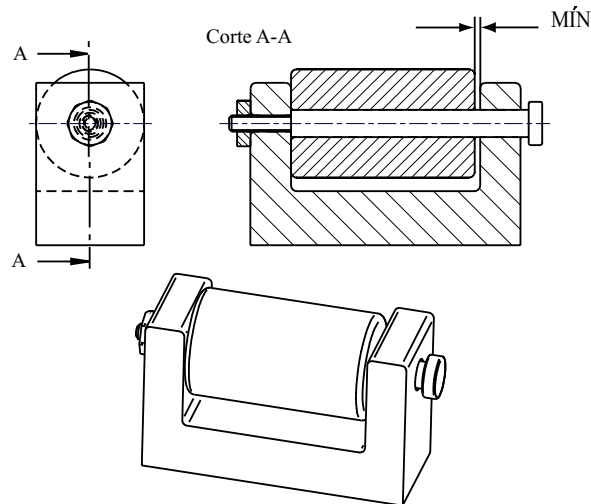


Figura 3.9. Requerimiento funcional de dimensión mínima

– Requerimiento funcional de contacto permanente —CPR—

Este requerimiento expresa el acoplamiento entre superficies, es decir, el vínculo o unión que asegura la posición relativa entre las piezas. El eslabón cuya dimensión tenga asociada esta especificación, tendrá un valor igual a cero —dimensión nula— e implica una relación de coincidencia entre superficies de dos o más piezas en un conjunto mecánico (Ser, 1993; Ciu, 1997). El requerimiento *CPR* se establece cuando en un ensamble o subensamble, cualesquiera sea la configuración espacial, dos superficies pertenecientes a dos piezas diferentes siempre estarán en contacto (Figura 3.10).

En un ensamble o subensamble debe de existir al menos un «*requerimiento funcional de contacto permanente*» y el ensamble o subensamble debe de estar compuesto por al menos dos piezas. Esta condición funcional equivale a un «*requerimiento funcional de dimensión mínima*» —MÍN—, siempre que el valor numérico del requerimiento MÍN sea menor o igual a cero.

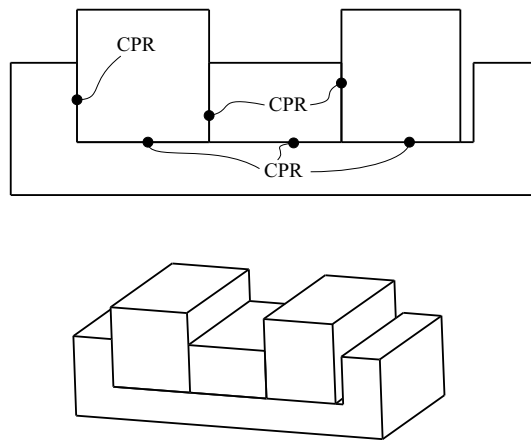


Figura 3.10. Requerimiento funcional de contacto permanente

Cuando un eslabón cumple con este requerimiento funcional y se encuentra en contacto con más de una superficie de la misma pieza o de otras piezas del conjunto mecánico, existe la posibilidad de que este eslabón constituya un eslabón de una cadena dimensional en serie o en paralelo —«*eslabón coincidente*».

3.2.4. Requerimientos funcionales geométricos

Los «*requerimientos funcionales geométricos*» garantizan la captura de las exigencias relacionadas con las tolerancias geométricas del producto. Los «*requerimientos funcionales geométricos*» están constituidos por los «*requerimientos funcionales de situación*» y los «*requerimientos funcionales de orientación*». Los requerimientos funcionales geométricos constituyen los eslabones de cierre de las cadenas dimensionales en un determinado conjunto mecánico.

– Requerimientos funcionales geométricos de orientación —*GTO*—

Este tipo de especificación permite especificar las condiciones de paralelismo, perpendicularidad y angularidad entre entidades geométricas de una pieza o entre piezas de un conjunto mecánico. Está formado por las condiciones de paralelismo, perpendicularidad y angularidad. Para que se pueda especificar correctamente un

«*requerimiento funcional geométrico de orientación*» deben de existir en las piezas del conjunto mecánico, las entidades geométricas que garantizan la especificación de las condiciones funcionales.

- Condición funcional de paralelismo

La condición funcional de paralelismo se asocia entre dos superficies planas, ejes o la combinación de éstas en las piezas de un conjunto mecánico. Está constituida por el «*requerimiento funcional de paralelismo máximo*». Cuando se especifica una condición de paralelismo entre dos entidades geométricas pertenecientes a las piezas de un conjunto mecánico, sólo se expresa la necesidad de que se cumpla con esta condición. En la especificación no se define el valor numérico de la tolerancia, ni los posibles modificadores existentes.

El «*requerimiento funcional de paralelismo máximo*» —PLM— constituye un caso particular de la condición de paralelismo. Cuando se expresa este requerimiento, se establece que el paralelismo máximo entre las entidades geométricas seleccionadas tendrá como máximo un valor determinado (Figura 3.11).

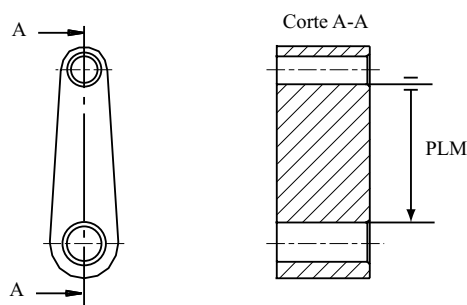


Figura 3.11. Requerimiento funcional geométrico de paralelismo máximo

Para obtener una correcta especificación de la condición de paralelismo máximo se debe de iniciar la especificación por la superficie plana o eje de referencia y

terminar por la entidad geométrica que debe de cumplir con el requerimiento. Siempre se unirán los elementos a través de una línea recta (Tabla 3.2).

○ Condición funcional de perpendicularidad

La condición de perpendicularidad se asocia entre dos superficies planas, ejes o la combinación de éstas en las piezas de un conjunto mecánico. Está constituida por el «*requerimiento funcional de perpendicularidad máxima*». Al especificar esta condición, sólo se expresa la necesidad que existe de que las entidades geométricas sean perpendiculares entre sí. En la especificación no se define el valor numérico de la tolerancia, ni los posibles modificadores existentes para las tolerancias geométricas.

«*Requerimiento funcional de perpendicularidad máxima*» —PDM—: Caso particular de la condición de perpendicularidad. Cuando se expresa este requerimiento, se establece que la perpendicularidad entre las entidades geométricas seleccionadas tendrá un valor máximo determinado (Figura 3.12).

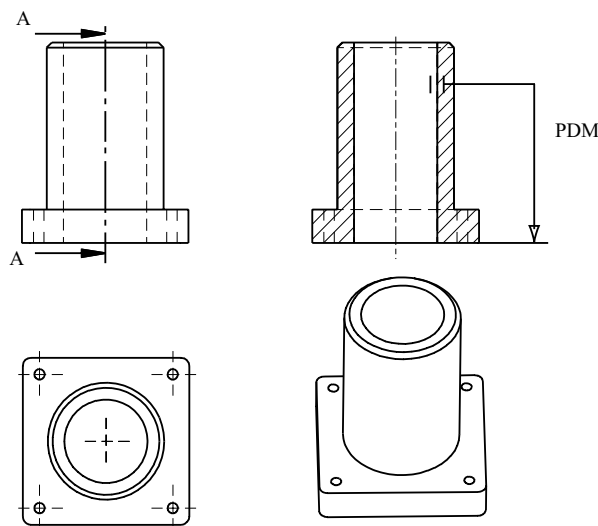


Figura 3.12. Requerimiento funcional de perpendicularidad máxima

Para obtener una correcta especificación de perpendicularidad máxima, la especificación debe de iniciarse por la superficie plana o eje de la pieza que sirve de referencia y terminar en la entidad geométrica que debe de cumplir con el requerimiento de perpendicularidad (Tabla 3.2).

- Condición funcional de angularidad

La condición de angularidad se asocia entre dos superficies planas, ejes o la combinación de las mismas en las piezas de un conjunto mecánico. Está constituida por el «*requerimiento funcional de angularidad máxima*». Al especificar una condición de angularidad, no se define su valor numérico ni los modificadores de las tolerancias geométricas, sólo se indica la que los elementos relacionados deben de cumplir con esta condición para garantizar un adecuado funcionamiento.

«*Requerimiento funcional de angularidad máxima*» —AGM—: Caso particular de la condición de angularidad. Cuando se expresa esta especificación, se establece que la angularidad entre las entidades geométricas seleccionadas tendrá un valor máximo determinado (Figura 3.13).

Para especificar de forma correcta una especificación de angularidad máxima, se debe de iniciar la especificación por la superficie plana o eje de referencia y terminarla por la entidad geométrica que debe de cumplir con esta condición.

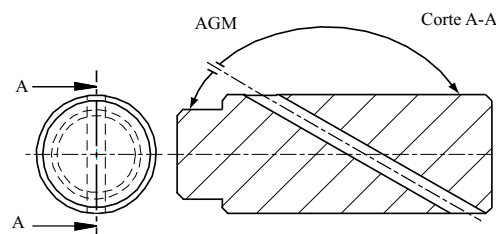


Figura 3.13. Requerimiento funcional de angularidad máxima

– Requerimientos funcionales geométricos de situación —GTS—

Este requerimiento tiene como objetivo la especificación de las condiciones de posición, simetría y coaxialidad entre entidades geométricas de una pieza o entre piezas de un conjunto mecánico. Para que se pueda especificar correctamente una especificación *GTS*, deben de existir en la pieza o en las piezas del conjunto, las entidades geométricas que garanticen la especificación de las condiciones funcionales.

○ Condición de simetría

La condición funcional de simetría se asocia entre dos o más planos de simetrías o ejes de una pieza de un conjunto mecánico, o la combinación de las mismas. Está constituida por el «*requerimiento funcional de simetría máxima*». Sólo se especifica que los elementos geométricos relacionados deben de cumplir con la condición de simetría para garantizar el funcionamiento de la pieza o el conjunto mecánico. Al establecerse este requerimiento, no se define su valor numérico ni los modificadores de las tolerancias geométricas.

«*Requerimiento funcional de simetría máxima*» —*SMM*—: Caso particular de la condición de simetría. Cuando se expresa esta especificación, se establece que la simetría para las entidades geométricas seleccionadas tendrá como valor una simetría máxima determinada (Figura 3.14).

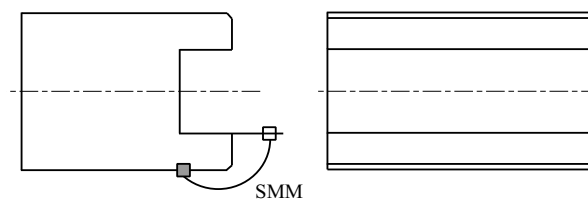


Figura 3.14. Requerimiento funcional geométrico de simetría máxima

Si se especifica una condición de simetría máxima, se debe de iniciar la especificación por el eje o el plano de simetría de referencia y terminar en la entidad geométrica que debe de cumplir con esta condición.

○ Condición de posición

La condición funcional de posición se asocia entre dos o más ejes o puntos o superficies de una pieza o conjunto mecánico. Está constituida por el «*requerimiento funcional de posición máxima*». En este caso, sólo se especifica que las entidades relacionadas deben de cumplir con una condición de posicionamiento, no se define su valor numérico ni los posibles modificadores de las tolerancias geométricas.

«*Requerimiento funcional de posición máxima*» —PSM—: Caso particular de la *condición de posición*. Cuando se expresa esta especificación, se establece que la posición de las entidades geométricas seleccionadas tendrá un valor máximo determinado (Figura 3.15). Para especificar de forma correcta esta condición, se debe de iniciar la especificación por el punto, eje o la superficie de referencia y terminar en la entidad geométrica que deba de cumplir con el posicionamiento.

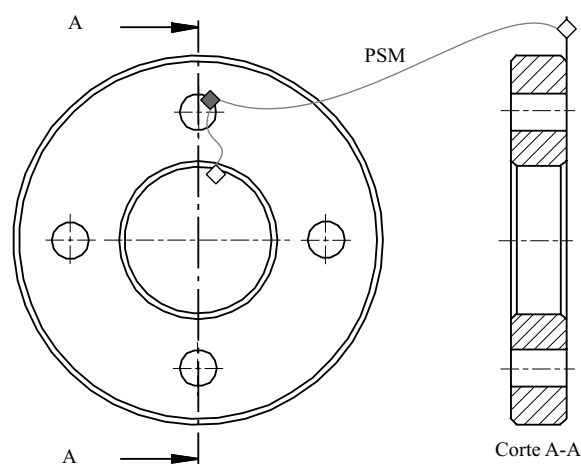


Figura 3.15. Requerimiento funcional geométrico de posición máxima

- Condición de coaxialidad

La condición funcional de coaxialidad se asocia entre ejes en las piezas de un conjunto mecánico. Está constituida por el «*requerimiento funcional de coaxialidad máxima*». Sólo se especifica que los elementos relacionados deben de cumplir con la condición de coaxialidad. No se requiere la definición de su valor numérico ni los modificadores de las tolerancias geométricas

«*Requerimiento funcional de coaxialidad máxima*» —*CXM*—: Caso particular de la condición de coaxialidad. Cuando se expresa esta especificación, se establece que la coaxialidad entre las entidades geométricas seleccionadas tendrá un valor máximo determinado (Figura 3.16).

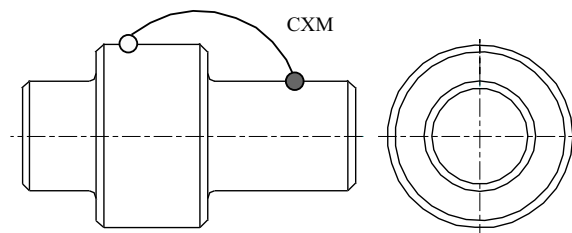


Figura 3.16. Requerimiento funcional geométrico de coaxialidad máxima

Al especificar este requerimiento, se debe de iniciar por la especificación del eje de la pieza de referencia y terminarse en la entidad geométrica que deba de cumplir con el requerimiento.

- Condición de concentricidad

La condición funcional de concentricidad se asocia a elementos puntuales o ejes de una pieza de un determinado conjunto mecánico. Esta condición está formada por el «*requerimiento funcional de concentricidad máxima*» —*CCM*. Al utilizar esta especificación, sólo se expresa que los elementos puntuales o ejes relacionados deben de cumplir con la condición de concentricidad. No se

requiere la definición de su valor numérico ni de los modificadores de las tolerancias geométricas.

«*Requerimiento funcional de concentricidad máxima*» —CCM—: es un caso particular de la condición de concentricidad. Cuando el diseñador expresa esta especificación, se establece que la concentricidad del punto o eje especificado tendrá un valor máximo respecto a la entidad geométrica de referencia (Figura 3.17).

Cuando se especifique este requerimiento, se debe de iniciar por la especificación del punto o eje de la pieza que deba de cumplir con la condición de concentricidad y terminarse por especificar la entidad geométrica de referencia.

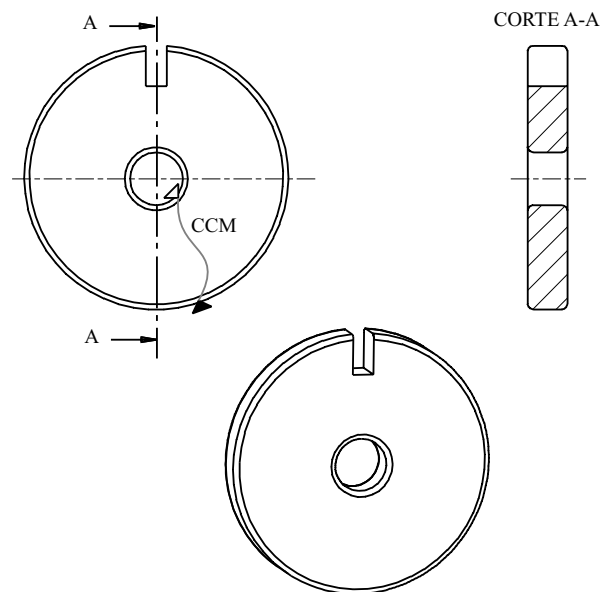


Figura 3.17. Requerimiento funcional geométrico de concentricidad máxima

3.2.5. Requerimientos funcionales de ensamble

El proceso de ensamblaje o montaje, es la etapa del ciclo de vida del producto donde éste adquiere funcionalidad. El ensamble posibilita la existencia de las relaciones entre las piezas que permiten el desempeño del producto. A su vez, es un proceso que origina flujos de información y relaciones entre los diferentes actores que intervienen en el proceso de diseño. Por tanto, resulta necesario capturar en la etapa de especificación, aquellos aspectos relacionados con el proceso de montaje o ensamblaje de las piezas. En esta investigación, los requerimientos funcionales de ensamble —enfoque *DFA*— se clasifican en requerimientos funcionales de ajuste, montaje, ensamble base, referencia primaria, referencia secundaria y referencia abierta.

– Requerimiento funcional de ajuste —*AJT*—

El «*requerimiento funcional de ajuste*» (Figura 3.18) se cumple cuando en un ensamble o subensamble, dos piezas poseen una superficie en común y una está contenida dentro de la otra. Este requerimiento está caracterizado por el ajuste máximo y el ajuste mínimo (Ser, 1993; Ciu, 1997). En esta etapa sólo se tendrá que verificar que se cumple el requerimiento, no se tiene en cuenta su determinación numérica. Esta especificación representa la imposición de inmovilidad entre las piezas.

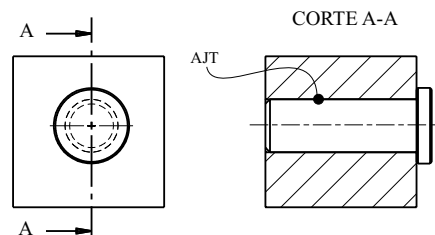


Figura 3.18. Requerimiento funcional de ajuste

En un ensamble o subensamble pueden existir varios requerimientos funcionales de ajuste. Para que se cumpla, el ensamble o subensamble debe de estar compuesto por al menos dos piezas.

– Requerimiento funcional de montaje —*MTJ*—

El «*requerimiento funcional de montaje*» (Figura 3.19) se asocia al hecho de que en un ensamble o subensamble, una pieza debe de ser ensamblada o montada en otra pieza —«*requerimiento de montaje local*»—, o que una pieza debe de ser ensamblada o montada en el conjunto de piezas que conforman el ensamble —«*requerimiento de montaje general*» (Ser, 1993; Ciu, 1997). En un ensamble o subensamble, debe de existir al menos un requerimiento *MTJ*. Para que se cumpla este requerimiento, el ensamble o subensamble debe de estar compuesto por al menos dos piezas.

Debido a que esta especificación constituye una condición indispensable para que exista un determinado ensamble, no es necesario identificarla en el dibujo, sólo se debe de comprobar de forma visual. En la Figura 3.19 se expone un ejemplo donde se identifican estos requerimientos de forma ilustrativa para el caso del husillo de una máquina herramienta rectificadora de superficies interiores (Bal, 1974).

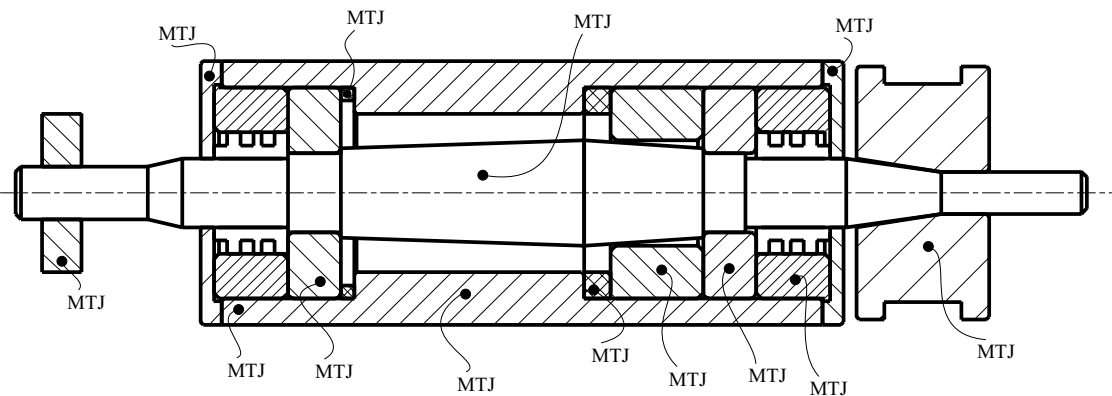


Figura 3.19. Requerimiento funcional de montaje

– Requerimiento funcional de ensamble base —ENB—

En un conjunto mecánico, a la pieza que sirve como base para el montaje y para asegurar las posiciones relativas de las demás piezas respecto a ella, se le denomina pieza ensamble base. Para capturar la intención del diseñador de establecer una pieza como pieza ensamble base, se define el «*requerimiento funcional de ensamble base*».

Este requerimiento se cumple cuando la pieza que posea esta especificación, constituya la base de colocación de las demás piezas en el ensamble o subensamble. En un ensamble o subensamble sólo puede existir un requerimiento *ENB*. Para que se cumpla, el ensamble o subensamble debe de estar compuesto por al menos dos piezas. En la Figura 3.20 se observa la pieza que cumple con el requerimiento funcional de ensamble base, para el caso del conjunto mecánico de la Figura 3.19.

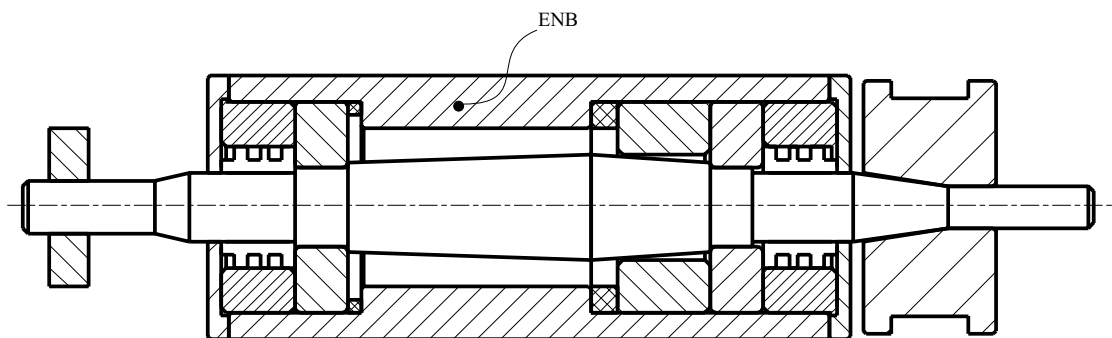


Figura 3.20. Requerimiento funcional de ensamble base

Para identificar este requerimiento funcional en un ensamble mecánico se sugieren los siguientes pasos:

- Seleccionar la pieza del conjunto mecánico que sirve de base a las demás piezas en el conjunto.
- Seleccionar en la pieza la superficie o superficies que cumplan con este requerimiento.

De las superficies que constituyen la pieza de ensamble base, sólo interesan aquellas que están relacionadas con las demás piezas del ensamble.

– Requerimiento funcional de referencia primaria —RFP—

Desde el punto de vista funcional, las superficies de una pieza que forman parte de un conjunto mecánico pueden clasificarse en varios tipos (Bal, 1974). Las superficies respecto a las cuales se determina la posición de las demás superficies se les denomina superficies base o de basamento. Para capturar este tipo de superficie en la etapa de especificación se define el «*requerimiento funcional de referencia primaria*». Este requerimiento permite establecer las superficies que definen la posición de las demás piezas respecto a ésta, por tanto, constituye un eslabón potencial de la cadena dimensional.

El «*requerimiento funcional de referencia primaria*» (Figura 3.21) se cumple cuando la superficie o superficies de la pieza que posean este requerimiento, determinan la posición de la pieza respecto a las demás piezas en el conjunto mecánico. En una pieza del ensamble o subensamble pueden existir varios requerimientos RFP. Para que se cumpla, el ensamble o subensamble debe de estar compuesto por al menos dos piezas. Esta especificación funcional puede indicar la existencia de un eslabón de la cadena dimensional, siempre y cuando el eslabón no sea el eslabón extremo de la cadena dimensional.

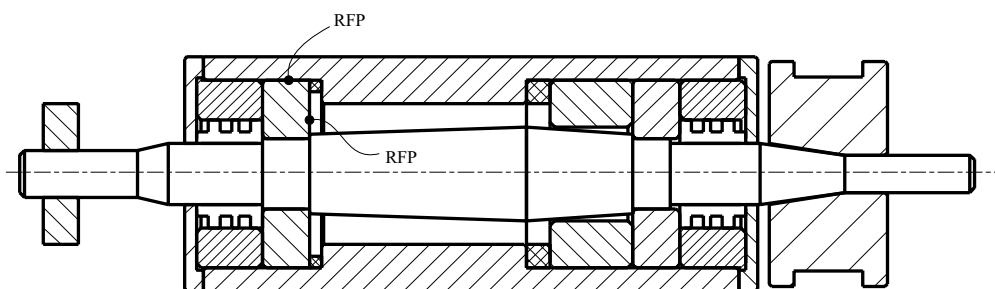


Figura 3.21. Requerimiento funcional de referencia primaria

– Requerimiento funcional de referencia secundaria —RFS—

Para capturar en la etapa de especificación las superficies de la pieza que determinan la posición de las demás piezas respecto a ella se define el «*requerimiento funcional de referencia secundaria*».

El «*requerimiento funcional de referencia secundaria*» (Figura 3.22) se cumple cuando la superficie o superficies de la pieza que posean esta especificación, determinen la posición de las demás piezas respecto a éstas superficies. En una pieza del ensamble o subensamble pueden existir varios requerimientos RFS. Para que se cumpla, el ensamble o subensamble debe de estar compuesto por al menos tres piezas.

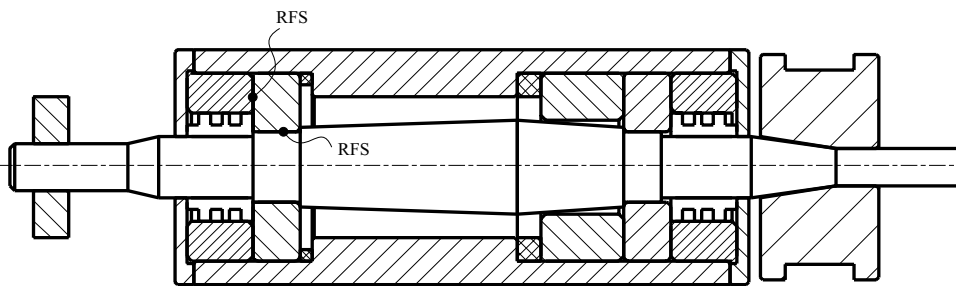


Figura 3.22. Requerimiento funcional de referencia secundaria

– Requerimiento funcional de referencia abierta —RFA—

El «*requerimiento funcional de referencia abierta*» (Figura 3.23) se cumple para aquellas superficies de la pieza que no constituya algún tipo de las condiciones funcionales antes vistas y que permiten que la pieza disponga de las formas constructivas que exige su designación de servicio. En una pieza del ensamble o subensamble pueden existir varios requerimientos RFA. Para que se cumpla, el ensamble o subensamble debe de estar compuesto por al menos dos piezas.

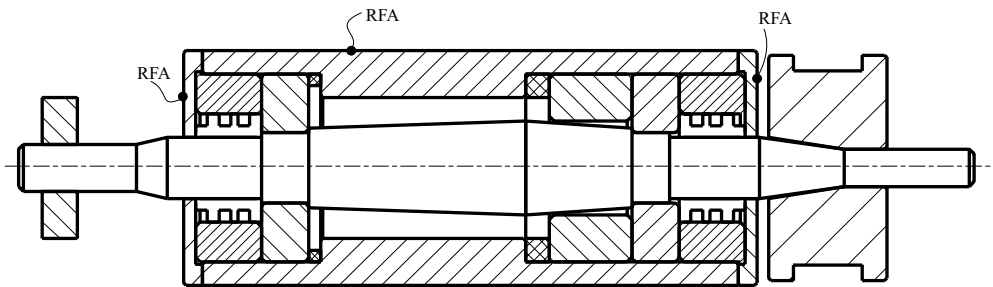


Figura 3.23. Requerimiento funcional de referencia abierta

3.3. Estructura de los requerimientos funcionales

A través del análisis de la jerarquía se propone una estructura funcional que permite representar las relaciones existentes entre los requerimientos funcionales. La jerarquía de la estructura funcional es similar a un sistema de coordenadas de tres ejes en el espacio, como muestra la Figura 3.24. A los ejes de la estructura funcional se les denomina: Niveles eje *X*—, Categorías eje *Y*— y Capas eje *Z*—.

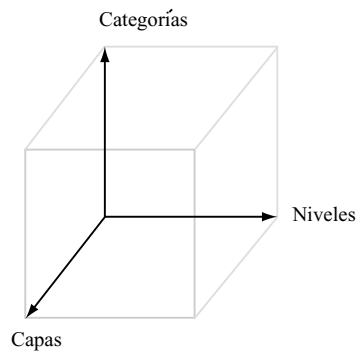


Figura 3.24. Análisis de la jerarquía de los requerimientos funcionales

En la Figura 3.24, cada capa representa una pieza del conjunto mecánico con importancia desde el punto de vista funcional. El nivel inicial para cada capa —nivel genérico— está compuesto por los requerimientos funcionales iniciales clasificados en cuatro categorías denominadas: especificaciones de diseño, descripción del usuario, desempeño esperado y otros requerimientos (Figura 3.1). Como se expresó

anteriormente, estos requerimientos incluyen a los requerimientos funcionales de diseño, de fabricación y ensamble según el enfoque de la Ingeniería Concurrente. Una vez que estos requerimientos funcionales iniciales son transformados en características relacionadas con la ingeniería, son clasificados en dos categorías, los requerimientos funcionales cuantitativos y los requerimientos funcionales cualitativos.

Para poder representar las intenciones funcionales del diseñador de cada capa —pieza— del conjunto mecánico, se utiliza una representación que captura los diferentes requerimientos funcionales expresados en el apartado anterior. En la Figura 3.25 se aprecia cómo se establecen las diferentes categorías según la estructura funcional propuesta, para una determinada capa —pieza— de un conjunto mecánico en estudio. Cada categoría —excepto la número seis y las categorías genéricas— está formada por varias subcategorías que representan varios requerimientos funcionales o intenciones del diseñador.

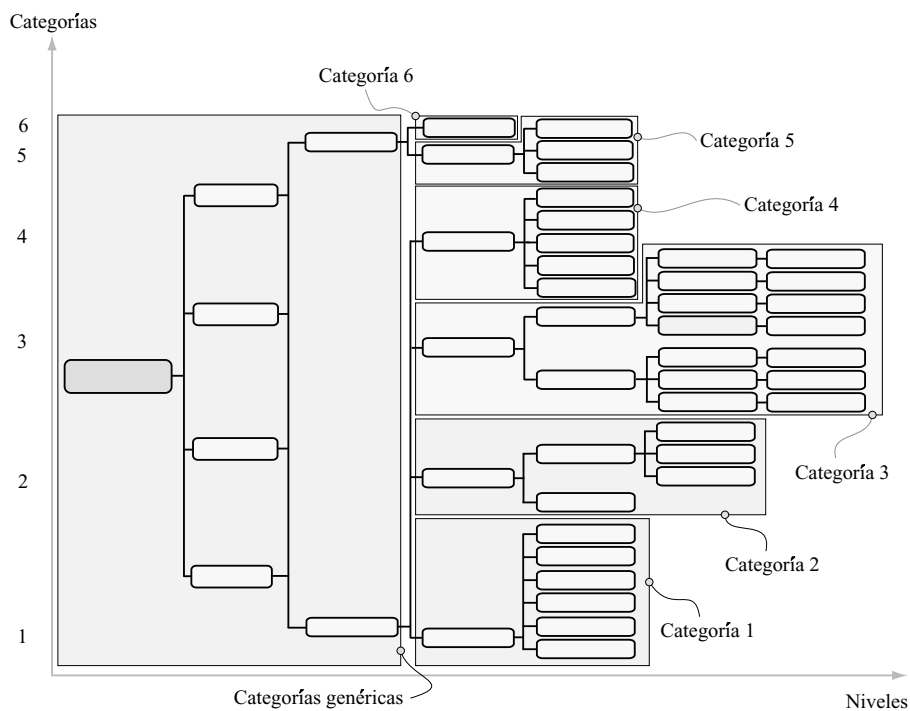


Figura 3.25. Composición por categorías de la estructura funcional

De la misma forma, en la Figura 3.26 se muestran los diferentes niveles que componen la estructura funcional para la capa en estudio. A medida que se aumenta el número de los niveles se hace más concreta la información relativa a los requerimientos funcionales, por tanto, los niveles más bajos representan las intenciones funcionales más abstractos del diseñador y los niveles más altos representan las intenciones funcionales que poseen mayor grado de concreción.

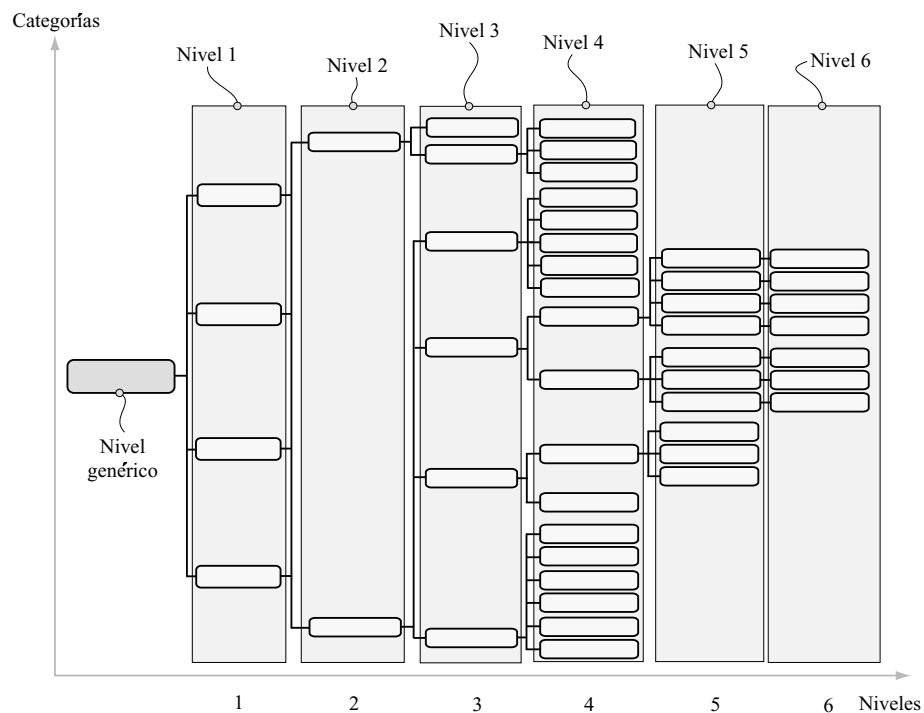


Figura 3.26. Composición por niveles de la estructura funcional

El primer nivel de la estructura funcional orientada a la síntesis de tolerancias en el diseño conceptual, representa a las especificaciones de diseño, a la descripción del usuario, al desempeño esperado y otros requerimientos. El segundo nivel representa a los requerimientos funcionales cuantitativos y cualitativos. Al igual que en el caso del nivel genérico y del primer nivel, el segundo nivel constituye un nivel genérico donde la información relativa al requerimiento funcional aún es bastante abstracta.

Es a partir del tercer nivel cuando la intención del diseñador comienza a concretarse y a relacionarse de forma más estrecha con las tolerancias —ver Capítulo 4. A continuación se muestra la representación de la jerarquía de la estructura funcional según la Figura 3.24. En la Figura 3.27 se puede apreciar los diferentes niveles para el caso de un conjunto mecánico con dos capas con importancia funcional.

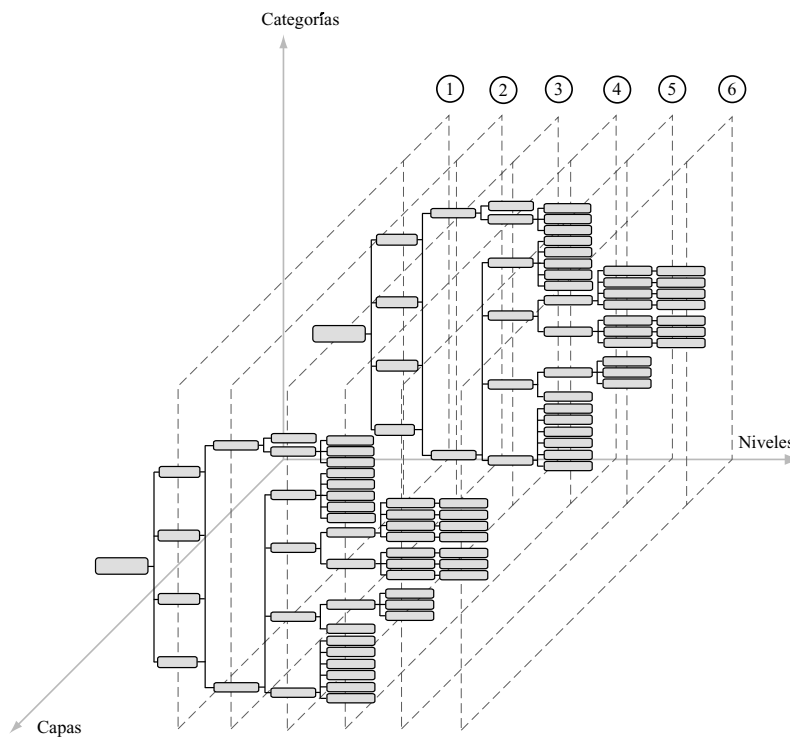


Figura 3.27. Requerimientos funcionales por niveles en la estructura funcional

Debido a que los requerimientos funcionales cuantitativos y cualitativos poseen varios subniveles, la estructura funcional puede extenderse hasta el sexto nivel. En el último nivel de cada categoría en la estructura funcional propuesta, un requerimiento funcional debe de expresar un aspecto concreto desde el punto de vista funcional relacionado con las tolerancias, que exprese la intención del diseñador de lograr un correcto funcionamiento del conjunto mecánico.

El objetivo de esta estructura funcional consiste en proporcionar una forma adecuada de captura en la etapa de especificación del producto, de las especificaciones funcionales y las tolerancias dimensionales y geométricas (Figura 3.28).

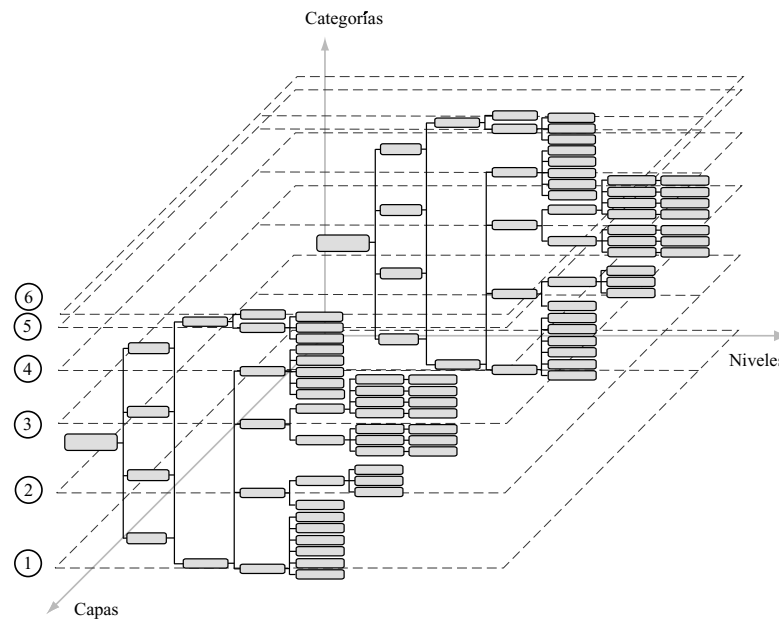


Figura 3.28. Requerimientos funcionales por categorías en la estructura funcional

En cada nivel de la estructura funcional existen diferentes categorías. Las categorías constituyen el reflejo de la intención del diseñador de forma horizontal, es decir, muestra la distribución de los requerimientos funcionales de un mismo nivel presentes en todas las piezas del conjunto mecánico. Nos indica de una forma transparente, cuáles son las piezas que presentan mayor importancia desde el punto de vista funcional (Figura 3.28).

Por otra parte, para un producto en particular, pueden existir varios requerimientos funcionales que pertenezcan a la misma categoría, pero pueden estar asociados a diferentes piezas. Por tanto, es necesario extender la estructura funcional en la dirección del eje de las capas —eje Z— para incluir estos requerimientos (Figura 3.29).

Al tercer eje —eje Z— se le denomina dirección de las capas. El número de capas indica el número de piezas del conjunto mecánico. Las capas nos permiten determinar la cantidad de piezas que poseen un comportamiento funcional importante para el desempeño de un conjunto mecánico.

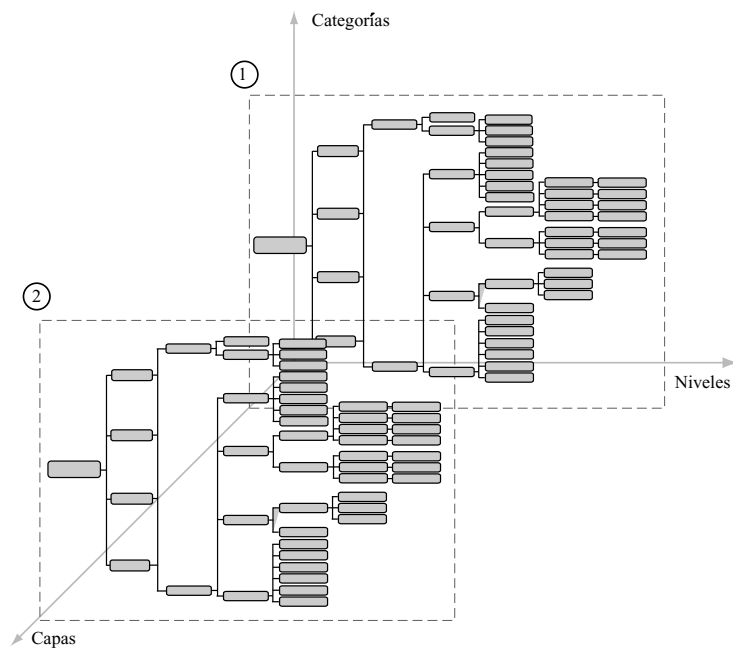


Figura 3.29. Requerimientos funcionales por capas en la estructura funcional

Se puede resumir planteando que la estructura funcional es fija en la dirección de los niveles y las categorías y sólo es variable en la dirección de las capas, para poder incluir los requerimientos funcionales que posean una importancia funcional en el conjunto mecánico. La estructura funcional propuesta (Figura 3.5) permite analizar un problema de especificación relacionado con los requerimientos funcionales y las tolerancias en la etapa de especificación de una manera sistemática y permite la integración en esta fase de diferentes aspectos concernientes al ciclo de vida del producto.

3.4. Descomposición de los requerimientos funcionales

Con el aumento de la competencia a escala mundial y el aumento de la demanda de integración del ciclo de vida del producto en el proceso de diseño, se manifiestan nuevos problemas que no aparecían en las metodologías tradicionales. Un requerimiento funcional relacionado con las tolerancias expresa la intención del diseñador de garantizar una determinada exactitud dimensional o geométrica, por lo que en un determinado producto pueden aparecer numerosos requerimientos de este tipo que pueden resultar difíciles de gestionar. Una de las formas de simplificar y mejorar la gestión de los requerimientos funcionales es el proceso de descomposición.

El objetivo del proceso de descomposición de los requerimientos consiste en simplificar el problema de diseño y facilitar la toma de decisiones. En esta investigación, se utiliza la descomposición para simplificar los requerimientos funcionales y para determinar los grupos potenciales de requerimientos que permiten el desempeño del conjunto mecánico. A través de este proceso, los requerimientos funcionales iniciales son convertidos en características relacionadas con las tolerancias.

La descomposición de las especificaciones o requerimientos del proceso de diseño se ha considerado como un aspecto clave en el diseño de un producto por diversos autores. Sin embargo, éste proceso es analizado de diferentes formas. Kusiak *et al.* (Kus, 1991) proponen un método para la descomposición de las especificaciones de diseño y la búsqueda de soluciones. Las especificaciones de diseño son representadas en árboles binarios AND/OR. El método de búsqueda se basa en un conjunto de reglas de producción para la descomposición de los requerimientos, las funciones y sus relaciones.

Otros autores como Ennis y Gyeszly (Enn, 1992) investigaron cómo mejorar la formulación de los problemas en el diseño de sistemas en ingeniería y desarrollaron un método de formulación en función de la información y el conocimiento en el diseño. Kusiak y Wang (Kus, 1993) propusieron un método matricial para la descomposición del proceso de diseño. Utilizan una matriz de incidencia para representar la relación entre tareas y parámetros de diseño. Hashemian *et al.* (Has, 1997) descomponen las

funciones en funciones más simples para facilitar la resolución de problemas y analizan la descomposición funcional en el diseño conceptual. La descomposición de funciones se repite hasta que se encuentran las soluciones para cada uno de los componentes.

Por su parte, Malmqvist (Mal, 1995) describe un modelo basado en ordenador enfocado hacia la documentación del diseño. El enfoque se basa en la teoría de los árboles funcionales y en el modelo de cromosomas para la modelación del producto. Malmqvist y Schachinger (Mal, 1997) tomando como referencia su modelo teórico anterior, analizan la gestión e implementación de las especificaciones de diseño en el sistema propuesto. Maury (Mau, 2000) propone una metodología para garantizar la inclusión en la etapa del diseño conceptual, de diferentes enfoques de la Ingeniería Concurrente. Se hace particular énfasis en un modelo metabólico conceptual.

El estudio de la descomposición de los requerimientos funcionales relacionados con las tolerancias está muy poco tratado. Sólo se exponen en algunos casos métodos genéricos y en otros, métodos propios de un área de conocimiento en específico. En esta investigación, la descomposición se define como el proceso de descomposición de los requerimientos funcionales iniciales en requerimientos relacionados con las tolerancias y/o los enfoques *DFM* y *DFA*, para establecer un criterio que permita una descomposición de los requerimientos funcionales acorde con la estructura funcional propuesta. Para que un requerimiento funcional pueda ser descompuesto, el requerimiento debe de satisfacer las siguientes condiciones:

- Condición básica: La condición básica expresa la necesidad de que el requerimiento funcional esté vinculado con las tolerancias y/o con el enfoque del diseño para la fabricación o el diseño para el ensamble.
- Condición de representación: La condición de representación comprueba que el requerimiento funcional puede ser representado en la estructura funcional (Figura 3.5). De esta forma, un requerimiento puede ser descompuesto en la dirección de las categorías y los niveles hasta llegar al último nivel por cada categoría.

Con la primera condición se asegura que el requerimiento funcional esté relacionado con las tolerancias funcionales y/o con los enfoques de la Ingeniería Concurrente expresados en la estructura funcional. Los requerimientos que estén vinculados con otros aspectos no se tendrán en consideración. Esta condición constituye un primer refinamiento a los requerimientos funcionales iniciales. Con la segunda condición se comprueba que la intención funcional del diseñador puede ser representada por la estructura funcional y que puede ser descompuesto sucesivamente en las direcciones de las categorías y los niveles.

El procedimiento de descomposición de los requerimientos funcionales iniciales según la estructura funcional propuesta se puede representar a través de un algoritmo que se cumple para cada capa de la estructura funcional (Figura 3.30).

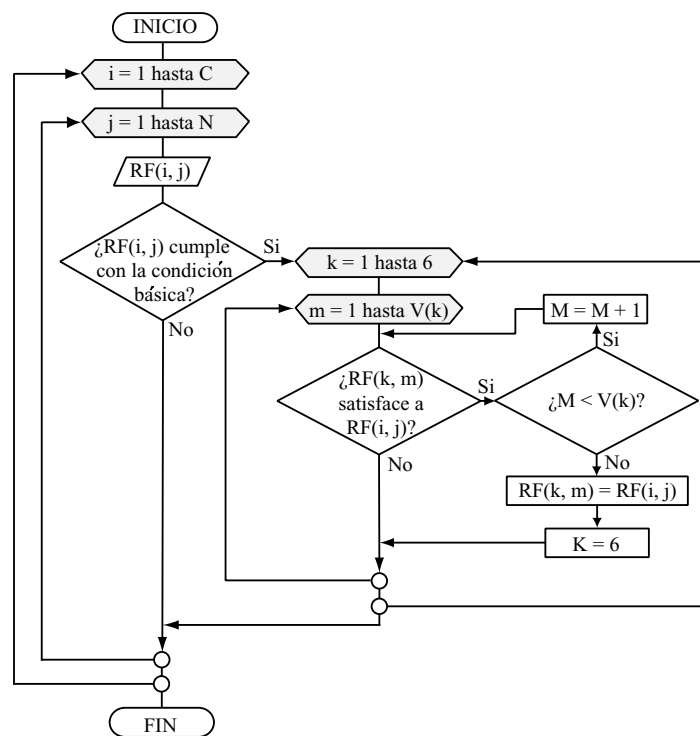


Figura 3.30. Algoritmo de descomposición de la estructura funcional

En esta Figura, C representa el número de capas del conjunto mecánico, N muestra el número de requerimientos funcionales iniciales para cada una de las piezas del conjunto mecánico que se analiza; $RF(i, j)$ representa a los requerimientos funcionales iniciales; K el número de categorías en la estructura funcional propuesta; M el número de niveles en la estructura funcional; $V(k)$ es una variable que almacena la cantidad de niveles por cada categoría permisible según la estructura funcional propuesta y $RF(k, m)$ representa el requerimiento correspondiente a la categoría k y al nivel m (Figura 3.5).

El procedimiento se puede detallar de forma secuencial a través de los siguientes pasos:

- Paso 1. Para cada requerimiento funcional inicial, comprobar que cumple con la condición básica. En caso de que cumpla con esta condición ir al paso 2, en caso contrario ir al paso 6.
- Paso 2. Comprobar si el requerimiento funcional inicial se satisface con el correspondiente requerimiento de la estructura funcional. Si se satisface esta condición pasar al paso 3, de lo contrario ir al paso 4.
- Paso 3. Si algún requerimiento de la estructura funcional satisface la intención funcional inicial del diseñador, pero no se ha llegado al último nivel en la categoría correspondiente, se aumenta en una unidad el número de niveles y se repite este proceso. Si se ha llegado al último nivel, entonces la intención funcional inicial del diseñador coincide con el requerimiento de la estructura funcional $RF(k, m)$, ir al paso 4.
- Paso 4. Aumentar en la unidad el número de niveles. El número de niveles permisibles estará en función del número de categorías y está expresado por la variable $V(k) = (4, 5, 6, 4, 4, 3)$, si el nivel es el último para la categoría que se evalúa pasar al paso 5, de lo contrario ir al paso 2.
- Paso 5. Aumentar en la unidad el número de categorías, si el número de categorías es el sexto, pasar al paso 6, de lo contrario ir al paso 2.
- Paso 6. Evaluar el próximo requerimiento funcional inicial.

3.5. Chequeo de dependencia de los requerimientos funcionales

Diversos autores han reconocido la importancia de mantener la independencia de los requerimientos funcionales. Uno de los métodos de diseño que más ha destacado en este sentido ha sido el diseño axiomático. En este método el diseño se describe como una correspondencia entre los requerimientos funcionales y los parámetros de diseño y la selección apropiada de los parámetros de diseño que satisfagan a los requerimientos funcionales (Suh, 1990; Söd, 1998).

El método propuesto por Suh proporciona una herramienta de análisis, particularmente para el diseño conceptual. Se basa en dos axiomas fundamentales: el axioma de la independencia, que mantiene la independencia de los requerimientos funcionales; y el axioma de la información, que minimiza la cantidad de información (Har, 1996).

El chequeo de dependencia de los requerimientos funcionales constituye un paso importante en la caracterización de los requerimientos, pues garantiza que no exista redundancia en las intenciones de diseño. Partiendo del hecho de que cada requerimiento funcional es una intención por parte del diseñador, si dos requerimientos son independientes, entonces ambas intenciones de diseño también son independientes.

Analizando la estructura funcional propuesta, si dos requerimientos funcionales pertenecen a diferentes categorías, entonces ambos serán independientes. En caso de que existan dos requerimientos en la misma categoría, pero en diferentes subcategorías, también serán independientes. Por tanto, el chequeo de dependencia es necesario sólo en la dirección de las capas de la estructura funcional. Es decir, solamente aquellos requerimientos funcionales que pertenezcan a las mismas categorías o subcategorías, pero que se encuentren en diferentes capas necesitan del chequeo de dependencia.

Si dos capas poseen dos requerimientos funcionales idénticos que pertenecen al mismo nivel y categoría –o subcategoría– e involucran a las mismas capas, entonces cualesquiera de ellas puede eliminarse de la estructura funcional, porque representan la misma intención de diseño.

En el caso de que en una determinada categoría de la estructura funcional se elimine a todos los requerimientos funcionales, entonces la categoría también se eliminaría. En el caso de que dos capas posean dos requerimientos funcionales con características o intenciones de diseño similares –pertenezcan al mismo nivel y categoría o subcategoría–, y no sean idénticos, entonces ambos requerimientos serán incluidos en la estructura funcional.

De igual forma que en el proceso de descomposición, el chequeo de dependencia de los requerimientos funcionales se puede representar a través de un algoritmo aplicable a cada capa de la estructura funcional (Figura 3.31). En esta Figura, C representa el número de capas del conjunto mecánico, N muestra el número de requerimientos para cada una de las piezas que se analiza y $RF(i, j)$ representa a los requerimientos funcionales iniciales.

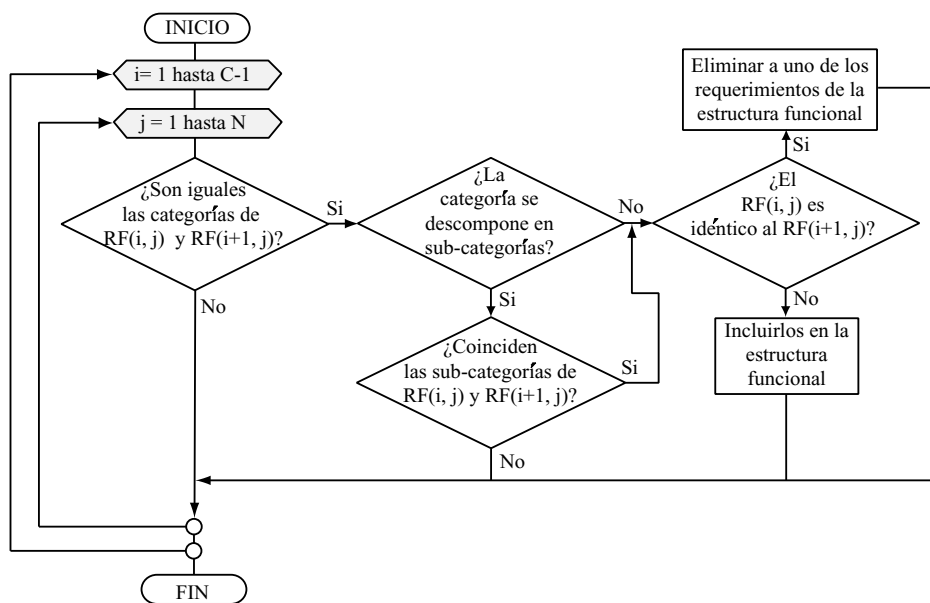


Figura 3.31. Algoritmo para el chequeo de dependencia de los requerimientos funcionales

El procedimiento para chequear la dependencia de los requerimientos funcionales puede resumirse de la siguiente forma:

- Paso 1. Dos requerimientos funcionales que relacionan a dos capas serán independientes sí: se encuentran en diferentes categorías al mismo nivel; se encuentran en diferentes niveles o se encuentran en la misma categoría, pero en diferentes subcategorías. Estos casos no requieren del chequeo de dependencia, ir al paso 6.
- Paso 2. Si dos requerimientos funcionales que relacionan a dos capas se encuentran en la misma categoría y en el mismo nivel. Chequear si los dos reflejan una intención de diseño idéntica, en tal caso, eliminar uno de los requerimientos funcionales. Si los dos requerimientos funcionales reflejan una intención de diseño similar, pero no idénticos, se deben de mantener los requerimientos en la estructura funcional. Ir al paso 4.
- Paso 3. Si dos requerimientos funcionales que relacionan a dos capas se encuentran en la misma subcategoría y en el mismo nivel. Chequear si los dos reflejan una intención de diseño idéntica, en tal caso, eliminar uno de los requerimientos funcionales. Si los dos requerimientos funcionales reflejan una intención de diseño similar, pero no idénticos, mantener los requerimientos en la estructura funcional. Ir al paso 4.
- Paso 4. Si todos los requerimientos funcionales en una determinada categoría son eliminados, eliminar la categoría de la estructura funcional, ir al paso 5.
- Paso 5. Aumentar en la unidad el número de requerimientos funcionales para la capa que se analiza. Si N es el último requerimiento para la capa, ir al paso 6 de lo contrario ir al paso 2.
- Paso 6. Aumentar en la unidad el número de la variable que controla el número de capas I . Si es la penúltima capa, terminar, de lo contrario ir al paso 2.