
5 Flujo de información en el proceso de diseño

Inés Ferrer, Quim de Ciurana

Grupo de investigación de producto, Proceso y Producción (GREPP)

Universitat de Girona, España

ines.iferrer@udg.es, quim.ciurada@udg.es

José Ríos

(Dpto. de Ing. Mecánica y Fabricación, Universidad Politécnica de Madrid, España)

Department of Enterprise Integration, Cranfield University, Cranfield, Bedfordshire, UK

j.rios@cranfield.ac.uk

El éxito de cualquier producto/proceso dependerá, en su mayor parte, de que este cumpla con las expectativas marcadas por los clientes y por los usuarios que tienen relación con el mismo. Partiendo de las necesidades de los clientes, y con el soporte de los diferentes modelos del proceso de diseño, la información evoluciona hasta obtener el producto/proceso final. La información, en particular los requerimientos, que hay que definir en las fases iniciales de diseño (ideación y conceptual), y la relevancia sobre la estructuración y formalización de la misma son aspectos tratados en este capítulo. Desde el punto de vista de la evolución de la información, también se revisan diferentes metodologías para evolucionar la misma.

5.1 Introducción

Desde los años 60, el proceso de diseño ha sido un motivo de estudio por varios investigadores a nivel mundial, con el objetivo fundamental de realizar una sistematización del mismo que facilite su formalización y optimización. [French, 1981; Pugh, 1990; Ullman, 1992; Pahl et al., 1996; Cross, 1994]. El enfoque metodológico, orientado al desarrollo de metodologías de diseño basadas en la descomposición funcional, que dividen a este en fases, se pueden considerar pioneras en este campo de investigación [Pahl et al., 1996]. No obstante, las investigaciones en el campo de diseño han dado lugar a otras metodologías, modelos y técnicas, como por ejemplo Quality Function Deployment (QFD) [Akao, 1990] y la metodología basada en la Teoría de Diseño Axiomático [Suh, 1990; Suh, 2001], que aunque tienen objetivos similares, proponen procedimientos diferentes, pero que en términos generales resultan complementarios [Oosterman, 2001].

Considerando el enfoque metodológico, en el proceso de diseño se han definido diferentes actividades para cada una de las fases: definición de tareas, conceptual, materialización y detalle [Pahl et al., 1996]. Por ejemplo, las actividades de definir los requerimientos, definir el concepto y seleccionar el concepto, en la fase de diseño conceptual [Dieter, 2000]. Paralelamente, varios métodos y herramientas han sido desarrollados para asistir en las diferentes actividades del diseño, como son: las matrices de Pugh, diagramas de robustez, diagramas QFD, o brainstorming (lluvia de ideas). En general, en cada actividad, se parte de una información inicial, que evoluciona o se transforma, para dar lugar a una información final o resultado (figura 5.1). La combinación de las diferentes actividades, a lo largo de las fases del diseño, permitirá alcanzar el diseño final.

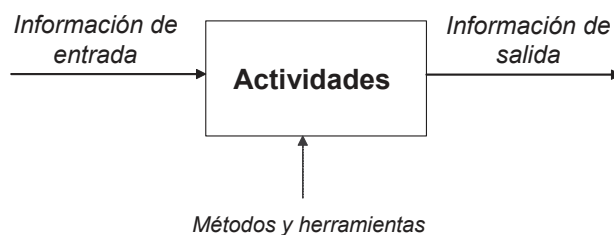


Figura 5.1: Flujo de información en las actividades del diseño.

La primera sección de este capítulo, se va a centrar en la información que hay que definir en las fases iniciales del diseño, concretamente la fase de ideación y en la conceptual. En la segunda sección, se revisarán y compararán dos métodos diferentes para evolucionar la información durante el proceso de diseño. Y por último, la tercera sección, se focalizará en las investigaciones en el campo de la definición, formalización y estructuración de la información de diseño, para asistir al diseñador en la definición de la misma. De este modo, tres aspectos importantes del proceso de diseño serán tratados, de forma sintetizada, en este capítulo: la información, la evolución y definición de la información.

5.2 Información en el proceso de diseño

Existen diversas razones que pueden impulsar el diseño de productos, dando lugar a diferentes tipos de proyectos, en los que se incluye desde la variación o mejora de productos existente hasta el nuevo desarrollo [Dieter, 2000]. Sin embargo, independientemente de las causas que inducen al diseño, un proyecto se realiza para satisfacer unas necesidades. A menudo, las necesidades se limitan a las peticiones de los clientes, usuarios finales o necesidades del mercado, no obstante, este concepto tiene un campo de aplicación mucho más amplio. En general, está ampliamente asumido dentro del entorno de Ingeniería de Diseño, que las necesidades se deberían obtener de todos los miembros relacionados con el proyecto/producto (stakeholders), y para todos ellos se deberían satisfacer. En las metodologías de diseño las necesidades se conocen como necesidades del cliente o usuario y son el punto de partida en el proceso de diseño [Pugh, 1990; Akao, 1990; Ullman, 1992; Roozenburg, 1995; Pahl et al., 1996; Otto y Wood, 2001; Suh, 2001].

Cuando las necesidades de los clientes ya han sido detectadas y analizadas, se procede a la definición de lo que normalmente se denominan requerimientos. Analizando algunas de las diferentes metodologías de diseño, se observa que el concepto de requerimiento no es tratado exactamente de una forma común. En primer lugar, la taxonomía usada por los investigadores, para referirse al concepto de los requerimientos, es diferente (tabla 3.1), y en segundo lugar, las clasificaciones que se proponen de los requerimientos, también lo es (tabla 3.2). Estas diferencias pueden generar confusión en la definición y entendimiento de la información a emplear en el proceso de diseño, motivo por el cual a continuación se presentan un conjunto de definiciones relacionadas con los términos: requerimiento, restricción, y requerimiento funcional.

Según Alexander: “un requerimiento es una declaración de una necesidad, algo que alguna clase de usuario u otro interesado requiere” [Alexander, 2002]. En general, se observa que existen diferentes formas de definir el término ‘requerimiento’, viéndose influenciada esta situación por el entorno de ingeniería del cual procede la definición: Diseño, Sistemas, Requerimientos [Ríos, 2004].

Tabla 5.1 Denominaciones del término requerimiento en diseño

Autor	<i>Denominación del termino requerimiento</i>
[Ullman, 1992]	Especificaciones de ingeniería
[Pahl et al., 1996]	Especificaciones de diseño (“check list”)
[Dieter, 2000]	Especificaciones de diseño de producto
[Otto y Wood, 2001]	Especificaciones de producto
[Alexander, 2002]	Requerimientos de usuario
[Suh, 1990; Suh, 2001]	Requerimiento funcional

De Ingeniería de Diseño, podemos considerar la definición propuesta por Cross: “un requerimiento es una demanda que debe ser satisfecha y debe expresarse en términos cuantificables, denota lo que un producto debe hacer” [Cross, 1994]. De Ingeniería de Sistemas, podemos considerar la definición de requerimiento propuesta en el estándar IEEE-1220: “una declaración que identifica una característica de diseño o restricción operacional o funcional relativa a un producto o proceso, que es no ambigua, comprobable o medible, y necesaria para la aceptación del producto o proceso (por los consumidores o por las directivas internas de aseguramiento de calidad” [IEEE Std 1220-1998]. De Ingeniería de Requerimientos, podemos considerar la definición propuesta por Montoya y Sommerville: “Los requerimientos son descripciones de cómo un sistema debe comportarse, información del dominio de aplicación, restricciones en su funcionamiento, o especificaciones de una propiedad o atributo del sistema. En ocasiones son restricciones en el proceso de desarrollo del sistema” [Montoya y Sommerville, 1998].

Otro término íntimamente relacionado es ‘restricción’, fruto del análisis de las diferentes definiciones propuestas se puede concluir que una restricción afecta a algún tipo de requerimiento y limita el rango de soluciones posibles [Ríos, 2004], [Hunter et al. 2005]. Finalmente, hacer mención al término ‘requerimiento funcional’, que se considera como un tipo particular de requisito, y representa lo que el producto tiene que hacer independientemente de la solución de diseño adoptada [Pahl et al., 1996; Suh, 2001]. Considerando los principios básicos de la disciplina de Ingeniería de Requerimientos, Ríos define un requerimiento funcional como: “una declaración única y no ambigua de una única funcionalidad formulada en lenguaje natural, escrita de manera que pueda ser categorizada, trazada, medida, verificada y validada”, [Ríos, 2004; Hunter et al., 2005; Ríos et al., 2005].

En general, puede afirmarse que las diferencias entre estas definiciones resultan en ocasiones no evidentes, y redundan en un diferente entendimiento, formalización y expresión de los distintos tipos de ‘requerimientos’. Si bien desde un punto de vista académico está claramente asumido que los requerimientos deberían ser independientes de la solución de diseño adoptada, esta situación no es del todo cierta en la realidad. Según se señala en [Chakrabarti et al., 2004], durante las fases de diseño conceptual y de materialización los requerimientos funcionales no se representan de forma explícita, y en general se obtienen del análisis de las soluciones de diseño propuestas, lo cual representa una clara contradicción con el principio básico, presentado por diferentes autores, de la necesidad de realizar una definición funcional previa a cualquier identificación de soluciones posibles. Considerando la Teoría de Diseño Axiomático [Suh, 1991], parece lógico afirmar que los requerimientos funcionales deberían estar claramente definidos previamente a la selección de cualquier solución de diseño, y conforme el proceso de diseño progresa, las diferentes

restricciones enlazadas a los requerimientos deberían ser definidas para reducir el conjunto posible de soluciones. Como también se concluye en [Chakrabarti et al., 2004], con objeto de que los requerimientos se vean cumplidos por el diseño final, ‘estos deben ser identificados, entendidos, recordados y usados a lo largo del proceso de diseño’, lo que nos conduce directamente a la necesidad de capturar, formalizar y representar requerimientos y la información relacionada a lo largo del proceso de diseño, y pone de manifiesto su relevancia actual.

Considerando, las denominaciones que se representan en la tabla 5.1, se observa que resultan bastante similares, fruto sin duda de que la procedencia de sus autores es Ingeniería de Diseño. Sin embargo cuando se considera la clasificación de los requerimientos, las diferencias resultan más evidentes (ver tabla 5.2).

Tabla 5.2 Clasificaciones de los requerimientos

[Pahl et al., 1996]	[Ullman, 1992]	[Dieter, 2000]	[Kontoya y Sommerville, 1998]	[Otto y Wood, 2001] [Suh, 1990; Suh, 2001]
Geometría	Comportamiento funcional	Cumplimiento funcional	Funcional	Funcional
Cinemática	Factores humanos	Requerimientos físicos	No funcional	Restricciones
Fuerzas	Requerimientos físicos	Factores de ambiente	-Proceso	
Energía	Fiabilidad	Aspectos del ciclo de vida	Entrega	
Material	Ciclo de vida	Factores humanos	Implementación	
Señales	Recursos	Restricciones de empresa	Estándares	
Seguridad	Requerimientos fabricación	Requerimientos sociales, legales y políticos	-Producto	
Ergonomía			-Utilidad	
Producción			-Fiabilidad	
Control de calidad			-Seguridad	
Montaje			-Eficiencia	
Transporte			-Comportamiento	
Operación			-Capacidad	
Coste			-Externos	
Producción [schedule]			-Restricciones legales	
			-Restricciones económicas	
			- Interoperabilidad	

En general, no se trata de evaluar cual de las clasificaciones puede ser mejor, pues el uso de cada uno de ellos depende en gran medida del tipo de producto, y a que tipo de propiedades se refieren, pero sí es importante considerar que la utilización de una terminología común ayudaría al diseñador en la tarea de definición de requerimientos. En este sentido, destacar que una de las aproximaciones más importantes en la clasificación de requerimientos es la definición de taxonomías. Gershenson y Stauffer proponen una taxonomía de requerimientos con cuatro tipos básicos: requerimientos de usuario final, requerimientos corporativos, requerimientos técnicos y requerimientos reguladores. Y en particular, se centran principalmente en requerimientos de usuario final [Hauge y Stauffer, 1993], y en requerimientos corporativos [Gershenson y Stauffer, 1999]. Adicionalmente, al aspecto de clasificación, la definición de términos, con objeto de entender un mismo significado, es el objetivo que se persigue en el desarrollo de una ontología de requerimientos por parte del Laboratorio de Integración de Empresa de la Universidad de Toronto [Lin, et al., 1996]. La definición y clasificación de términos constituye un elemento fundamental en cuanto que supone una referencia para el entendimiento y especificación de requerimientos de producto [Rios, 2004].

A pesar de que existen diferencias entre las diferentes clasificaciones de requerimientos, se pueden establecer ciertas equivalencias. La clasificación simplificada propuesta por [Otto y Wood, 2001] proviene de la evolución de las metodologías prescriptivas de diseño o metodologías de fases [Pugh, 1990; Ullman, 1992; Pahl et al., 1996]. [Otto y Wood, 2001] traducen directamente, las necesidades de los clientes en requerimientos funcionales y restricciones, sin considerar una clasificación tan completa de los requerimientos (figura 5.2). Esta traducción consiste en analizar como se satisfacen las necesidades del cliente. Cuando una necesidad es satisfecha por medio de lo “que” tiene que hacer el producto, es decir, mediante una función, se considera que es un requerimiento funcional, mientras que cuando es satisfecha por medio de “cómo” el producto tiene que ser cuando tenga forma, es decir, mediante las propiedades del producto, se considera que es una restricción. De forma opcional, [Otto y Wood, 2001] proponen apoyarse en las “categorías de búsqueda y descomposición de especificaciones [Franke, 1975]”, similares a la clasificación de requerimientos propuesta por [Pahl et al., 1996], para organizar inicialmente los requerimientos, y posteriormente, diferenciar entre los requerimientos funcionales y las restricciones. El proceso de traducción de los requerimientos de cliente en requerimientos funcionales, en principio, podría facilitarse mediante la aplicación de la metodología QFD [Akao, 1990].

En cualquier caso, una correcta definición de requerimientos es un punto clave para el éxito en el diseño de un producto. Los errores en su definición implicaran no satisfacer las necesidades demandadas y con ello el fracaso del producto, además de un incremento del coste en caso de tener que redefinirlos cuando el proyecto ya esta en desarrollo [Alexander, 2002].

Como se ha comentado anteriormente, los requerimientos funcionales se definen como una declaración del comportamiento específico de un diseño, es decir “lo que” el producto debe hacer. Mientras que las restricciones se definen como “una limitación, que en general afecta a algún tipo de requerimiento, y que limita el rango de posibles soluciones que satisfacen los requerimientos”. Las restricciones se pueden clasificar de tres formas en el entorno de diseño [Suh, 2001; Alexander, 2002]: restricciones de usuario o de entrada, restricciones del sistema y restricciones técnicas. Las restricciones de usuario o de entrada son las restricciones que se definen en relación con los requerimientos de usuario, las restricciones del sistema son restricciones impuestas por el sistema en el cual las soluciones de diseño deben funcionar, y la restricciones técnicas se refieren a posibles limitaciones en la solución de diseño que aparecen conforme se avanza en su desarrollo.

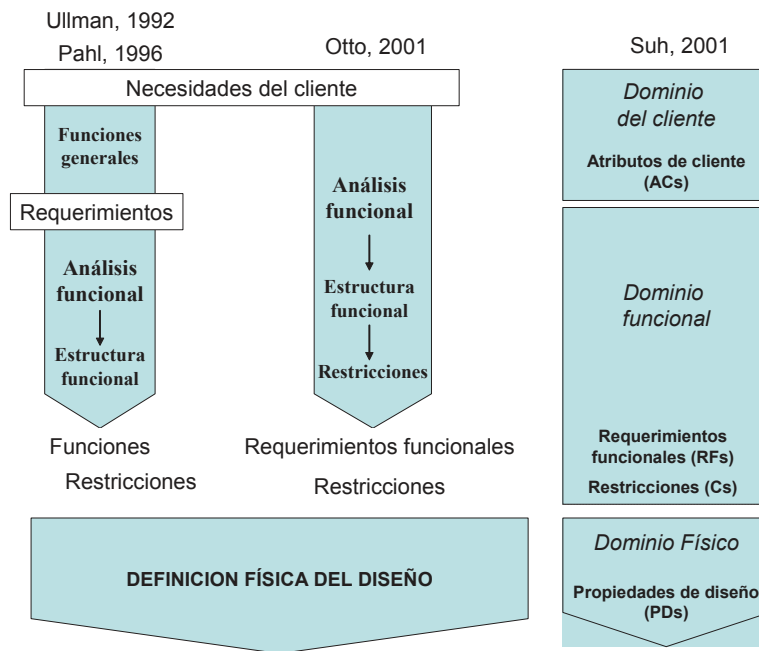


Figura 5.2 Flujo de Información en las fases iniciales del diseño, ideación y desarrollo conceptual.

A lo largo de esta sección se ha expuesto la información que hay que definir en las fases iniciales del diseño, concretamente en la fase de ideación y diseño conceptual. No obstante, también es interesante representar la relación que existe en la definición de la información entre las metodologías prescriptivas, que dividen el proceso de diseño en un modelo de fases [Pugh, 1990; Ullman, 1992; Pahl et al., 1996], y las metodologías de artefacto o evolutivas, que definen el proceso de diseño centrándose en la información que hay que definir y en la metodología de evolución de esta para obtener el producto final [Akao, 1990; Suh, 1990; Suh, 2001] (figura 5.2). Aunque son dos visiones diferentes de estructurar el diseño, la información que se precisa y se define es la misma, y los métodos propuestos resultan complementarios.

5.3 Evolución de la información en el proceso de diseño

Para conseguir que el diseño evolucione desde que se detecta la necesidad hasta un diseño acabado y materializado, es necesario que la información relacionada con el mismo, evolucione desde un estado conceptual hasta un nivel completamente detallado.

En la literatura de diseño se observa dos sistemas para evolucionar la información de diseño: la evolución de la información en las metodologías descriptivas o de fases [Pugh, 1990; Ullman, 1992; Roozenburg, 1995; Pahl et al., 1996], y la evolución de la información en las metodologías evolutivas, concretamente, la metodología de Diseño Axiomático [Suh, 1990; Suh, 2001]. Considerando que la información del proceso de diseño se puede englobar en los dominios propuestos por [Suh, 1990]: dominio de cliente, dominio funcional, dominio físico y dominio del proceso; a continuación se describe el proceso de evolución para cada metodología.

En las metodologías prescriptivas o de fases la información evoluciona de forma secuencial entre los dominios, y se puede establecer una cierta relación entre los dominios y las etapas de diseño (figura 5.3). Por ejemplo, en la etapa de diseño conceptual, el dominio funcional, compuesto por

los requerimientos funcionales (RF) y las restricciones asociadas, está casi completamente definido; mientras que el dominio físico, formado por los parámetros de diseño (PD), justo se empieza a definir. Partiendo de las necesidades de los clientes, se realiza el análisis funcional para obtener la estructura funcional del producto, compuesta de un conjunto de funciones generales y las subfunciones necesarias para satisfacer cada una de las funciones [Ullman, 1992; Pahl et al., 1996]. Posteriormente se definen los requerimientos funcionales y las restricciones. Cuando el dominio funcional ya está completamente definido, se inicia la definición física de los componentes requeridos para satisfacer las funciones y subfunciones, dando lugar a la estructura de trabajo. La estructura de trabajo se compone de la combinación de principios de trabajo. Los principios de trabajo se definen para cada subfunción y reflejan el efecto físico necesario para una función dada, así como características del material y la forma [Pahl et al., 1996]. En resumen, se definen los parámetros de diseño (DP), del dominio físico. Durante la definición física también se definen algunas funciones auxiliares, aunque el desarrollo funcional más importante ya se ha producido anteriormente [Ullman, 1992; Pahl et al., 1996;]. La elección de ciertas soluciones de diseño estará limitada por las restricciones, ya sean restricciones de usuario o del sistema. No obstante, la determinación de los parámetros físicos o parámetros de diseño no sólo depende de las funciones y las restricciones, sino que también depende del proceso de fabricación. Las variables claves, características del proceso, se definen como las variables del proceso (VPs), en el dominio de los procesos. El dominio físico limita el dominio del proceso [Lovatt, 1998; Shercliff y Lovatt, 2001], pero el dominio de proceso también limita el dominio físico [Boothroyd, 1994].

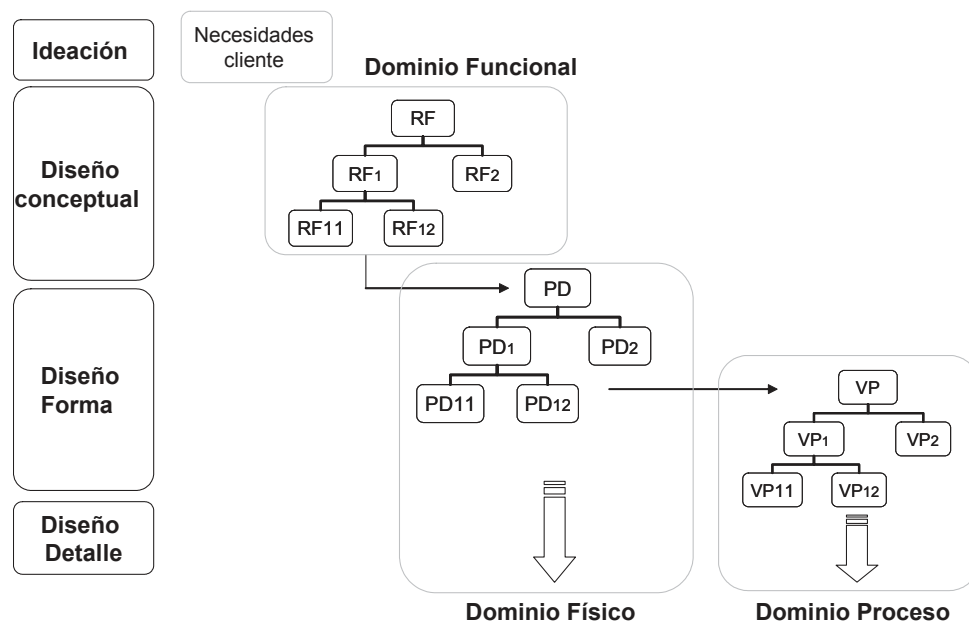


Figura 5.3 Evolución de la información en los métodos prescriptivos o de fases [Pugh, 1990; Ullman, 1992; Roozenburg, 1995; Pahl et al., 1996]

En la metodología de diseño axiomático la evolución de la información se produce de forma paralela para los tres dominios (figura 5.4). Partiendo de las necesidades del cliente se definen los requerimientos funcionales que el producto tiene que satisfacer, para el primer nivel de la fase de diseño conceptual (figura 5.4). A continuación, se identifican los parámetros de diseño para satisfacer dichos requerimientos funcionales, y por último, se determinan las variables de proceso que son necesarias para obtener los parámetros físicos. Cuando el primer nivel ha sido completado

para los tres dominios, la información se descompone en un segundo nivel. La definición de la información en este segundo nivel dependerá de las decisiones que se han tomado en el nivel anterior. Por ejemplo, supongamos que se pretende diseñar un motor para satisfacer los requerimientos funcionales (RF) de: ir hacia delante, atrás, parar y girar. Cuando este primer nivel de requerimientos ya ha sido definido, se deben conceptualizar los parámetros de diseño (PD) para este primer nivel [Suh, 2001]. Posteriormente, partiendo de las decisiones tomadas sobre los parámetros de diseño de este primer nivel, ya se pueden definir los requerimientos funcionales para un segundo nivel. Dicho de otro modo, los requerimientos funcionales serán diferentes dependiendo de los parámetros de diseño que se hayan elegido en el nivel anterior, es decir, los requerimientos funcionales son diferentes cuando la solución física elegida es un motor de gasolina, o cuando es un motor eléctrico. Este proceso de descomposición se va repitiendo hasta que el diseño está completamente detallado, en la fase de diseño de detalle, para los tres dominios. El proceso de descomposición genera una jerarquía de información en cada dominio.

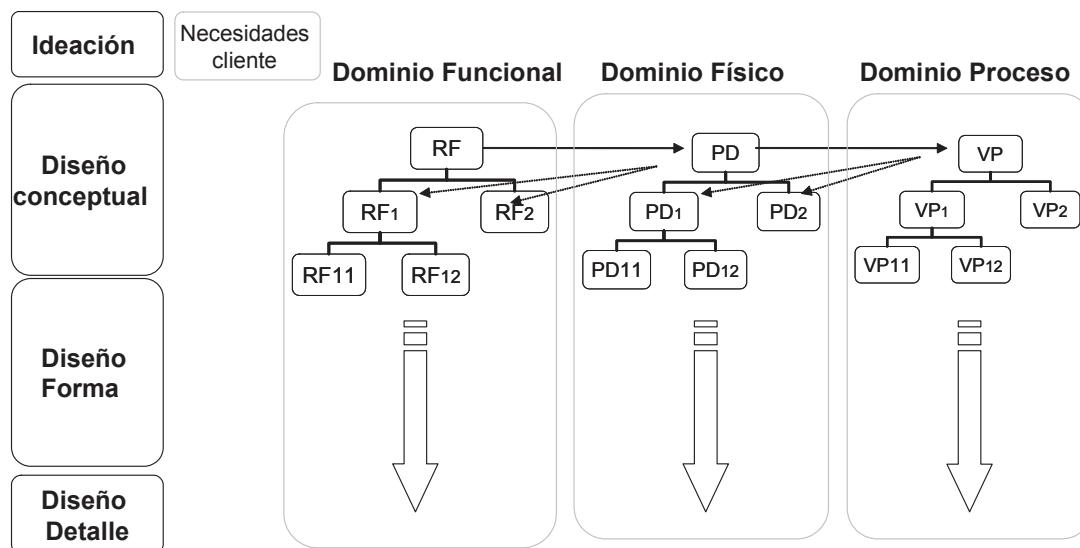


Figura 5.4 Evolución de la información en la metodología de Diseño Axiomático [Suh, 1990; Suh, 2001]

Comparando las dos metodologías se observa, que en las metodologías prescriptivas el dominio funcional es independiente de cualquier solución física del diseño, ya que primero se realiza el análisis funcional completo y posteriormente la definición física del diseño. En la metodología de Diseño Axiomático [Suh, 1990; Suh, 2001] el dominio funcional es dependiente de la solución física del diseño, debido a que los requerimientos funcionales se definen para la solución física (PD) que se ha elegido en el dominio físico del nivel anterior.

La correspondencia de la información entre los dominios se trata en más profundidad en la Teoría de Diseño Axiomático que en las metodologías prescriptivas. La Teoría de Diseño Axiomático establece una base científica para diseñar, basada en el cumplimiento de axiomas para evolucionar la información y garantizar que las decisiones que se toman son acertadas. Dichos axiomas tienen por objetivo mantener la independencia funcional entre los requerimientos (axioma de independencia) y minimizar la cantidad de información en el proceso de diseño (axioma de información). Este sistema permite identificar para cada parámetro de diseño, el requerimiento funcional que está satisfaciendo. En este sentido, la trazabilidad de la información entre los

dominios es más explícita y garantizar la satisfacción de las necesidades del cliente al final del diseño, tiene menos dependencia de la experiencia del diseñador. No obstante, es un método cuya aplicación no es fácil, y por el momento, la investigación, está básicamente centrada en el dominio funcional y en el dominio físico. Los métodos prescriptivos son métodos empíricos, interactivos e intuitivos que se centran más en estructurar el diseño y en determinar la información que se debe obtener, que en definir como esta debe evolucionar. Tal y como se cita en [Otto y Wood, 2001]: “La transición de necesidades de clientes a soluciones concretas es más parecido a un arte que a una ciencia o método [Dixon and Poli, 1995]”. Por este motivo, la trazabilidad de la información entre los dominios es más implícita y garantizar que las necesidades del cliente sean satisfechas al final del diseño, en general, tienen bastante relación con la experiencia del diseñador. Aunque actualmente, se detecta la tendencia de sistematizar de forma explícita la transición de la información, entre los dominios del diseño, por parte de los métodos prescriptivos [Otto y Wood, 2001].

En ambas metodologías, el dominio de proceso tiene un efecto relevante sobre la definición física del producto. La metodología de Diseño Axiomático defiende que este efecto se debería considerar desde el principio del desarrollo del diseño. Las variables del proceso (VPs), del dominio de los procesos, se definen como las variables claves, características del proceso, que pueden generar las propiedades de diseño especificadas. Sin embargo, hay que reconocer que [Suh, 1990; Suh, 2001] no trata este dominio en profundidad durante su investigación. Los métodos prescriptivos no especifican claramente cuando tiene que ser considerado el efecto del proceso, aunque lo sitúan en un estado avanzado de la fase de diseño de materialización [Ullman, 1992; Pahl et al., 1996; Dieter, 2000]. Todos ellos exponen la importancia que este efecto tiene sobre el diseño, sin embargo es [Ullman, 1992] quien pone más en evidencia esta relación: función, material, proceso, forma. La relación entre el proceso de fabricación y el diseño, se trata en más profundidad en investigaciones relacionadas con la selección de procesos o el diseño para fabricar [Ishii et al., 1993; Boothroyd, 1994; Lovatt, 1998; Shercliff y Lovatt, 2001; Swift, 2003]

Las dos metodologías expuestas a lo largo de esta sección, permiten evolucionar la información para obtener el diseño final, aunque con principios diferentes. Sin embargo, ambas metodologías usan los métodos y herramientas que se han ido definiendo para asistir en el proceso de diseño, como las matrices de Pugh, los diagramas de robustez, y los diagramas QFD.

5.4 Formalización y estructuración de la información de diseño

En la primera sección de este capítulo se ha expuesto la información que hay que determinar en las fases iniciales del diseño, y para ello, las definiciones de ciertos términos han sido requeridas. La definición de la información del proceso de diseño, no sólo es estudiada desde el punto de vista semántico, sino que la estructura sintáctica o la anatomía de la información también se considera un punto clave para que el diseñador pueda alcanzar la correcta definición de la misma [Alexander, 2002].

La investigación de la definición y formalización de la información tiene sus orígenes en el inicio de las investigaciones del proceso de diseño y en el objetivo de alcanzar su formalización. Por ejemplo [Pahl et al., 1996] define el concepto de función como: “La función es la relación entre las entradas y salidas de un sistema cuyo objetivo es llevar a cabo una tarea. Las funciones representan “que” tiene que hacer el producto para satisfacer las necesidades del cliente independiente que cualquier solución física. Las funciones son normalmente definidas mediante declaraciones formadas por: verbo y nombre. Las funciones se derivan de conversiones de flujo:

material, energía y señales“. En esta definición se incluye tanto la definición semántica como la sintáctica, y permite al diseñador definir de forma más precisa las funciones del un producto. Las definiciones en el ámbito funcional han evolucionado notablemente, mediante taxonomías relacionadas con los verbos y los flujos, que definen las funciones, y mediante estructuras sintácticas más detalladas [Otto y Wood, 2001]. Un ejemplo de ello es la definición del flujo, el cual se define mediante el flujo básico, una clase de flujo y un complemento (tabla 5.3).

Tabla 5.3 Ejemplos de definiciones de funciones

Verbo	Flujo Básico	Clase de flujo	Complemento
Recibir	Energía	humana	de fuerza
Transferir	Energía	humana	de movimiento
Transferir	Energía	mecánica rotacional	
Transportar	Material	sólido	

Considerando el ámbito de la Ingeniería de Requerimientos, también existe un amplio número de trabajos que tienen por objetivo alcanzar una formalización de estos. Por ejemplo, Alexander propone una estructura básica para la definición de requerimientos [Alexander, 2002], donde define que la anatomía de un buen requerimiento debe contener: el tipo de usuario (referido a quien se beneficia del requerimiento), el tipo de resultado (el verbo del requerimiento), y aquello que el usuario quiere o desea alcanzar, formado por un objeto y un calificador (Tabla 5.4).

Tabla 5.4 Ejemplo de la definición de requerimientos

Tipo de usuario	El operario...
Tipo de resultado	...debe ser capaz de ver...
Objeto	...la luz de la alarma...
Complemento	...desde dos metros de distancia

Siguiendo esta línea de trabajo, en [Hunter et al, 2005] se propone la estructura de un requerimiento funcional aplicado al diseño de utillajes. La estructura propuesta se basa en:

Tabla 5.5 Ejemplo de la definición de requerimientos funcionales [Hunter et al., 2005]

Acción	Verbo activo – función del utillaje
Objeto	Nombre – objeto que recibe la acción
Recurso	Nombre – objeto donde se realiza la acción
Calificadores	Grupo adjetivado cuantitativo o grupo de nombres que permiten definir restricciones asociadas con la función

La definición, formalización y estructuración de la información que hay que definir durante el proceso de diseño puede ayudar al diseñador a definir que conoce al inicio de cada tarea y que debe obtener al final de la misma, sirviendo como elemento de representación explícita de la información asociada con cada fase del diseño.

5.5 Conclusiones

El proceso de diseño es la primera fase del ciclo de vida del producto, motivo por el cual ha sido objetivo de investigaciones desde varias décadas, y desde varias perspectivas; en el presente trabajo se han considerado dos aproximaciones: metodologías prescriptivas, y metodologías evolutivas. A lo largo de este capítulo, se ha reflejado la evolución de las investigaciones relacionadas con la información que es necesaria y la que se define en el proceso de diseño, en particular requerimientos y funciones. A modo de resumen, se puede concluir que es necesario:

1. Formalizar el proceso de diseño junto con la forma en que la información es expresada. La formalización del proceso permite al diseñador conocer como deber evolucionar la información a lo largo de dicho proceso.
2. Definir la información de forma explícita y estructurada, para asistir al diseñador en la definición de la misma. Estas definiciones le permiten avanzar en el proceso de diseño sin ambigüedades y teniendo claro el objetivo que hay que satisfacer en cada etapa. Así como le pueden asistir a validar que el diseño final cumplirá con todos los requerimientos iniciales del proyecto.
3. Definir la información que desde etapas posteriores al diseño, como fabricación, debe ser considerada en la fase de diseño y su relación con los requerimientos y soluciones de diseño adoptadas.

5.6 Referencias

- [Akao, 1990], Akao, Y., (1990), "Quality function deployment: integrating customer requirements into product design", Productivity Press, Cambridge, Mass.
- [Alexander, 2002], Alexander, I., (2002), "Writing better requirements". Addison-Wesley, Boston, MA,
- [Boothroyd, 1994], Boothroyd G., Dewhurst P., Knight W.A., (1994), "Product design for manufacture and assembly", New York.
- [Chakrabarti et al. 2004], Chakrabarti, A., Morgenstern, S., Knaab, H., (2004), Identification and application of requirements and their impact on the design process: a protocol study, Research in Engineering Design, pp. 15 23-39.
- [Cross, 1994], Cross, N., (1994), "Engineering design methods: Strategies and tactics for product design", John Wiley & Sons, 2ª Ed.
- [Dieter, 2000], Dieter, G.E., (2000), "Engineering design : a materials and processing approach", McGraw-Hill College, Boston.
- [French, 1981], French, M., (1981), "Engineering Design, The conceptual Stage", London: Heneiman
- [Gershenson y Stauffer, 1999], Gershenson, J. K., and Stauffer, L. A. (1999); "A taxonomy for design requirements from corporate customers", Research in Engineering Design, vol 11, pp. 103-115.
- [Hauge y Stauffer, 1993], Hauge, P.L., Stauffer, L.A., (1993), "ELK: A method for eliciting knowledge from customers", Design and Methodology, vol. 53, ASME, pp. 73-81.

- [Hunter et al., 2005], Hunter, R., Rios, J., Perez, J.M., Vizan, A., (2005), A functional approach for the formalization of the the fixtures design process, Intl. Journal of Machine Tools and Manufacture, (accepted in March 2005 for publication).
- [IEEE Std 1220-1998], 'IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process', IEEE Std 1220-1998
- [Ishii et al., 1993], Ishii,K., Yu,J.C. y Krizan,S., (1993), Computer-aided Design for Manufacturing Process Selection, Journal of Intelligent Manufacturing, vol. 4, pp. 199-208.
- [Kotonya y Sommerville, 1998], Kotonya, G., and Sommerville, I., (1998), "Requirements engineering: processes and techniques", John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- [Lin et al., 1996], Lin, J., Fox, M. S., Bilgic, T., (1996), "A requirement ontology for engineering design", Concurrent Engineering: Research and Applications, vol 4, nº 3, pp. 279-291.
- [Lovatt, 1998], Lovatt,A., (1998), "Process selection in engineering design", Tesis doctoral. Cambridge
- [Oosterman, 2001], Oosterman,B.J., (2001), "Improving product development projects by matching product architecture and organization", Tesis doctoral, The Netherlands
- [Otto y Wood, 2001], Otto,K.N. y Wood,K.L., (2001), "Product design : techniques in reverse engineering and new product development", Prentice Hall,Upper Saddle River, NJ.
- [Pahl et al., 1996], Pahl,G., Beitz,W., Wallace,K., Blessing,L. y Bauert,F., 1996, "Engineering design : a systematic approach", Springer, London.
- [Pugh, 1990], Pugh,S., (1990), "Total design : integrated methods for successful product engineering". Addison-Wesley,Wokingham.
- [Rios et al., 2005], Rios, J., Lopez, A., Roy, R., (2005) "Design requirements change and cost impact: an aerospace perspective", CE2005: The 12th ISPE International Conference on Concurrent Engineering, Ft. Worth/Dallas, USA, July, 2005 (accepted)
- [Rios, 2004], Rios, J., (2004), "Requirements in Design: a integrated view", Decision Engineering Report Series, Cranfield University, (draft-version November 2004, to be published)
- [Roozenburg, 1995], Roozenburg, N.F.M., (1995), "Product design: fundamentals and methods", Wiley,Chichester.
- [Shercliff y Lovatt, 2001], Shercliff, H.R. y Lovatt,A.M., (2001), Selection of manufacturing processes in design and the role of process modelling, Progress in Materials Science, issue 3-4, vol. 46, pp. 429-459.
- [Suh, 1990], Suh,N.P., (1990), "The principles of design", OUP, New York.
- [Suh, 2001], Suh,N.P., (2001), "Axiomatic design : advances and applications", Oxford University Press,New York , Oxford.
- [Swift, 2003], Swift,K.G., (2003), "Process selection: from design to manufacture", Butterworth-Heinemann, Oxford.
- [Ullman, 1992], Ullman,D.G., (1992), "The mechanical design process", McGraw-Hill, New York – London.