



WILEY

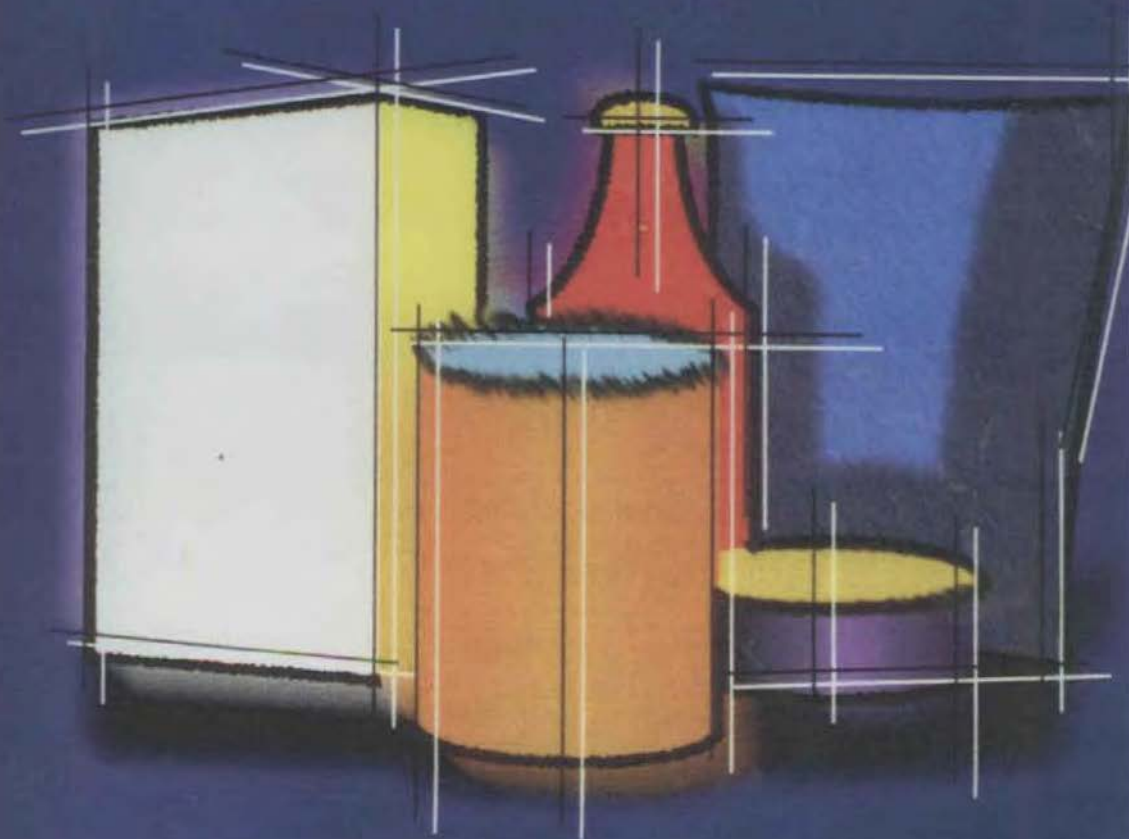
CROSS

MÉTODOS DE DISEÑO Estrategias para el Diseño de Productos*

MÉTODOS DE DISEÑO

Estrategias para el
Diseño de Productos

CROSS



LIMUSA

LIMUSA WILEY 

Este libro ofrece un enfoque estratégico para el diseño de productos; está dirigido principalmente a estudiantes, profesores y profesionales de diseño de ingeniería y diseño industrial.

En su primera parte, presenta al lector un panorama acerca de la naturaleza del diseño, las actividades de los diseñadores, problemas de diseño y cómo superarlos. La segunda parte es prácticamente un manual de métodos de diseño; los siete capítulos que la integran conforman una estrategia de diseño.

Finalmente, se presenta un enfoque estratégico para el proceso de diseño en el que se utiliza la combinación más apropiada de métodos creativos y lógicos.

Puede servir también como una introducción y guía general a los estudiantes y profesionales que deseen enriquecer y actualizar sus conocimientos en el campo de los métodos de diseño.



CROSS

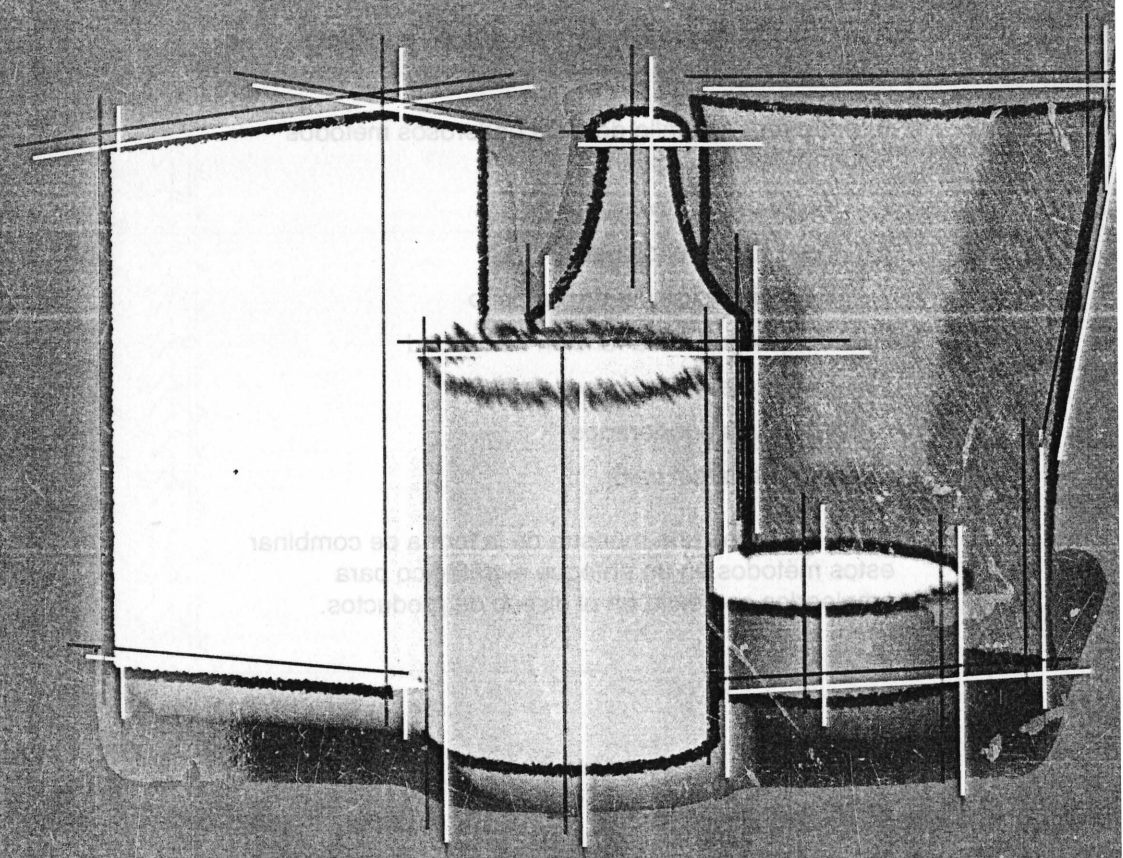
MÉTODOS DE DISEÑO Estrategias para el Diseño de Productos



MÉTODOS DE DISEÑO

Estrategias para el Diseño de Productos

CROSS



LIMUSA WILEY 

LIBRERIA NACIONAL RC
MÉTODOS DE DISEÑO
CROSS -- PLU-96202
NORIEGA EDITORES D
ING. INDUSTRIAL
9 789681 853020 \$30.000

sa@noriega.com.mx
a.com.mx

Temas que trata la obra:

- Descripción de la naturaleza del diseño en ingeniería
- Introducción de modelos y métodos de enfoque creativos y lógicos
- Exposición en detalle de siete poderosos métodos sistemáticos para diseño
 - Árbol de objetivos
 - Análisis de funciones
 - Especificación del desempeño
 - Despliegue de la función de calidad
 - Diagrama morfológico
 - Objetivos ponderados
 - Ingeniería del valor
- Conclusión con una muestra de la forma de combinar estos métodos en un enfoque estratégico para emplearlos con éxito en el diseño de productos.

Métodos de Diseño



Contenido

Introducción

1 La naturaleza del diseño
Actividades de diseño
Problemas de diseño
Estructuras de diseño

2 El proceso de diseño
Métodos de diseño
Métodos de diseño
Métodos de diseño

3 Métodos de diseño
Métodos de diseño
Métodos de diseño
Métodos de diseño

4 Caracterización de objetivos
El método de objetivos de diseño
Ejemplos
Ejemplos

5 Ejemplificación de funciones
El método de análisis de funciones
Ejemplos
Ejemplos

6 Planteamiento de requisitos
El método de especificación de requisitos
Ejemplos

Métodos de Diseño

Estrategias para el diseño de productos

Nigel Cross

The Open University, Milton Keynes, Reino Unido

 LIMUSA WILEY 

Métodos de Diseño

VERSIÓN AUTORIZADA EN ESPAÑOL DE LA OBRA
PUBLICADA EN INGLÉS CON EL TÍTULO:
ENGINEERING DESIGN METHODS
© JOHN WILEY & SONS, INC., NEW YORK, CHICHESTER,
BRISBANE, SINGAPORE, TORONTO AND WEINHEIM.

COLABORADOR EN LA TRADUCCIÓN:
FERNANDO ROBERTO PÉREZ VÁZQUEZ
INGENIERO MECÁNICO POR LA ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. PROFESOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y TECNOLOGÍA INFORMÁTICA EN UPIICSA. PROFESOR DE LA MAESTRÍA EN CALIDAD EN LA UNIVERSIDAD LA SALLE, MÉXICO.

LA PRESENTACIÓN Y DISPOSICIÓN EN CONJUNTO DE

MÉTODOS DE DISEÑO
ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO DE PRODUCTOS

SON PROPIEDAD DEL EDITOR. NINGUNA PARTE DE ESTA OBRA PUEDE SER REPRODUCIDA O TRANSMITIDA, MEDIANTE NINGÚN SISTEMA O MÉTODO, ELECTRÓNICO O MECÁNICO (INCLUYENDO EL FOTOCOPIADO, LA GRABACIÓN O CUALQUIER SISTEMA DE RECUPERACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN), SIN CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE JOHN WILEY & SONS, INC.

DERECHOS RESERVADOS:

© 2002, EDITORIAL LIMUSA, S.A. DE C.V.
GRUPO NORIEGA EDITORES
BALDERAS 95, MÉXICO, D.F.
C.P. 06040
☎ 8503 8050
01(800) 706 9100
✉ 5512 2903
✉ limusa@noriega.com.mx
www.noriega.com.mx

CANIEM Núm. 121

SEGUNDA REIMPRESIÓN

HECHO EN MÉXICO
ISBN 968-18-5302-4



Contenido

Reconocimientos	7
Introducción	9
1 La naturaleza del diseño	11
Actividades de diseño	11
Problemas de diseño	20
Habilidad de diseño	26
2 El proceso de diseño	29
Modelos descriptivos	29
Modelos prescriptivos	34
Procedimientos sistemáticos	41
3 Métodos de diseño	43
¿Qué son los métodos de diseño?	43
Métodos creativos	47
Métodos con marco de referencia lógico	54
4 Clarificación de objetivos	59
El método del árbol de objetivos	60
Procedimiento	60
Resumen	64
Ejemplos	64
5 Establecimiento de funciones	75
El método del análisis de funciones	76
Procedimiento	76
Resumen	79
Ejemplos	79
6 Fijación de requerimientos	87
El método de la especificación del rendimiento	88
Procedimiento	88

Resumen	91
Ejemplos	92
7 Determinación de características	101
El método del despliegue de la función de calidad	102
Procedimiento	102
Resumen	107
Ejemplos	108
8 Generación de alternativas	115
El método del diagrama morfológico	116
Procedimiento	116
Resumen	118
Ejemplos	119
9 Evaluación de alternativas	131
El método de objetivos ponderados	132
Procedimiento	132
Resumen	139
Ejemplos	140
10 Mejora de detalles	155
El método de la ingeniería del valor	156
Procedimiento	156
Resumen	161
Ejemplos	162
11 Estrategias de diseño	175
¿Qué es una estrategia de diseño?	175
Marcos de trabajo para la acción	179
Control de estrategias	181
Ejercicios: Selección de estrategias y tácticas	182
Lecturas recomendadas y fuentes de consulta	185
Índice	187

Reconocimientos

El autor y el editor desean expresar su agradecimiento a las siguientes personas, editoriales, organizaciones e instituciones por permitir la reproducción de las figuras: Figura 1: T.A. Thomas, *Technical Illustration*, McGraw-Hill. Figura 2: J. Fenton, *Vehicle Body Layout and Analysis*, Mechanical Engineering Publications. Figura 3: C. Moore y Van Nostrand Reinhold. Figura 4: A. Howarth. Figura 8: M. J. French, *Conceptual Design for Engineers*, The Design Council. Figuras 9, 10, 11: B. Hawkes y R. Abinett, *The Engineering Process*, Longman. Figuras 14, 23, 32, 33, 37, 40, 41, 50, 61, 62, 63: G. Pahl y W. Beitz, *Engineering Design*, The Design Council/ Springer-Verlag. Figuras 15, 16: VDI-Verlag. Figura 17: L. March, *The Architecture of Form*, Cambridge University Press. Figura 21: J. C. Jones, *Design Methods*, John Wiley/ David Fulton. Figura 24: E. Tjalve, *A Short Course in Industrial Design*, Butterworth. Figura 25: S. Pugh, *Total Design*, Addison Wesley. Figuras 30, 31: E. Krick, *An Introduction to Engineering*, John Wiley. Figuras 34, 35, 36: V. Hubka, M. M. Andreasen y W. E. Eder, *Practical Studies in Systematic Design*, Butterworth. Figura 42: S. Love, *Planning and Creating Successful Engineered Designs*, Advanced Professional Development. Figuras 43, 66: U. Pighini, *Design Studies*, Butterworth. Figuras 44, 67: D. G. Ullman, *The Mechanical Design Process*, McGraw-Hill. Figuras 45, 46: R. Ramaswamy y K. Ulrich, *Design Theory and Methodology*, ASME. Figuras 47, 48: J.R. Hauser y D. Clausing, *Harvard Business Review*. Figura 49: K. W. Norris, *Conference on Design Methods*, Pergamon. Figuras 51, 52: V. Hubka, *Principles of Engineering Design*, Butterworth. Figuras 53, 54: K. Ehrlenspiel, ICED 87. Figuras 55, 56: M. Tovey/ S. Woodward, *Design Studies*, Butterworth. Figuras 64, 65: M. Shahin, *Design Studies*, Butterworth. Figuras 68, 69: T. C. Fowler, *Value Analysis in Design*, Van Nostrand Reinhold. Figuras 70, 71: Engineering Industry Training Board. Figura 72: A. H. Redford, *Design Studies*, Butterworth. Figuras 73, 74, 75: The Open University.

Reconocimientos

Introducción

Este libro ofrece un enfoque estratégico para el diseño de productos. Está dirigido principalmente a profesores y estudiantes de diseño de ingeniería y diseño industrial. Su principal énfasis está en el diseño de productos con un contenido de ingeniería, aunque la mayoría de los principios y enfoques que enseña se aplican al diseño de toda clase de productos. Trata principalmente de la formulación de problemas y del diseño conceptual y físico, más que del diseño detallado, que es el tema de la mayoría de los textos de ingeniería. El libro puede utilizarse eficazmente en proyectos y ejercicios que requieren el análisis y clarificación de problemas de diseño, así como la generación y evaluación de soluciones de diseño.

Esta edición ha sido revisada y actualizada completamente. Se ha agregado un capítulo sobre el diseño a satisfacción del cliente, el cual está basado en torno al método del despliegue de la función de calidad, capítulo 7, "Determinación de características". También se han introducido muchos ejemplos nuevos sobre la aplicación de los métodos de diseño en la práctica.

La obra se divide en tres partes. Los capítulos del 1 al 3 presentan un panorama acerca de la naturaleza de la actividad de diseño, el proceso de diseño y los métodos de diseño en general; el capítulo 1 introduce a los estudiantes a las clases de actividades que normalmente emprenden los diseñadores y describe la naturaleza particular de los problemas de diseño y las habilidades que se requieren para atacarlos. En el capítulo 2 se repasan varios de los modelos del proceso de diseño que se han desarrollado para ayudar a los diseñadores a estructurar el enfoque que utilicen para el diseño; se sugiere un nuevo modelo híbrido de procedimientos y de estructura; y plantea la necesidad general de nuevos procedimientos en el diseño. El capítulo 3 está enfocado al campo de los métodos de diseño; describe varios métodos que ayudan a estimular el pensamiento creativo en el diseño y ofrece una introducción a los métodos racionales que se presentan en la siguiente parte del libro.

Los capítulos del 4 al 10 constituyen un manual de métodos de diseño (la táctica del diseño), que se presentan en un formato para un aprendizaje independiente; es decir, se busca que los estudiantes aprendan los métodos directamente del libro. Los siete capítulos siguen una secuencia estratégica de procedimientos para el proceso del diseño, instruyendo sobre el empleo de los métodos apropiados dentro de esta estrategia. Cada capítulo presenta un método distinto, en un formato estándar de procedimiento paso a paso, un resumen de los pasos y un conjunto de ejemplos prácticos, concluyendo con un ejemplo totalmente desarrollado. Los siete métodos incluidos son:

- Árbol de objetivos
- Análisis de funciones
- Especificación del desempeño
- Despliegue de la función de calidad
- Diagrama morfológico
- Objetivos ponderados
- Ingeniería del valor

Finalmente, el capítulo 11 describe los enfoques estratégicos para el proceso de diseño, utilizando la combinación más apropiada de métodos creativos y racionales que convengan al diseñador y al proyecto de diseño. Como un reflejo del enfoque que está implícito en todo el libro, se hace hincapié en una respuesta de diseño flexible al problema y en el aseguramiento de un resultado con éxito en términos del diseño de un buen producto.

Aunque está dirigido principalmente a estudiantes, el libro también es útil como una introducción al diseño para aquellos maestros y practicantes de la ingeniería que han descubierto con tristeza la carencia de este tema en su formación profesional, y como una guía general en el campo de los métodos de diseño.

1 La naturaleza del diseño

Actividades de diseño

Los seres humanos siempre han diseñado cosas. Una de sus características básicas es que elaboran una amplia gama de herramientas y otros artefactos para que se adapten a sus propios propósitos. A medida que cambian dichos propósitos y a medida que las personas reflexionan sobre los aparatos de que disponen, realizan mejoras e idean y fabrican clases completamente nuevas de artefactos.

El deseo de diseñar cosas es, por lo tanto, inherente a los seres humanos, y "diseñar" no es algo que siempre se haya considerado que necesite o requiera habilidades especiales. En las sociedades tradicionales, basadas en la artesanía, "diseñar" no está separado realmente de "fabricar"; es decir, generalmente no hay una actividad previa de dibujo o elaboración de modelos antes de la actividad de fabricación del artefacto. Por ejemplo, un alfarero hará una olla trabajando directamente con la arcilla, sin hacer ningún bosquejo o dibujo de la olla.

En las sociedades industriales modernas, sin embargo, las actividades de diseño y fabricación de los artefactos generalmente están bastante separadas. El proceso de fabricar algo no puede iniciarse antes de que se haya completado el proceso de diseño. En algunos casos —por ejemplo, en la industria de la electrónica— el período de diseño puede requerir varios años, en tanto que el tiempo promedio para la fabricación de cada artefacto individual podría medirse sólo en horas o minutos.

Quizás una forma de entender esta actividad moderna de diseño consiste en comenzar desde el final. Trabajar hacia atrás desde el punto en el que el diseño se ha concluido y la fabricación puede comenzar. Si la fabricación no puede comenzar antes de que el diseño se haya concluido, entonces por lo menos queda claro lo que el proceso de diseño tiene que lograr. Tiene que proporcionar una descripción del artefacto que se va a fabricar. En esta descripción del diseño, casi nada se deja a la discreción de quienes participan en el proceso de fabricación del artefacto —se especifican hasta las

dimensiones más detalladas, las clases de acabados superficiales, los materiales, sus colores, etc.—.

En cierto sentido, quizás no importe cómo trabaje el diseñador, siempre y cuando produzca la descripción final del artefacto propuesto. Cuando un cliente pide “un diseño”, lo que desea es precisamente la descripción. El núcleo de todas las actividades de diseño es llegar a ese punto.

La actividad esencial del diseño, por lo tanto, es la producción de una descripción final del artefacto. Ésta debe estar en una forma que sea comprensible para aquéllos que fabricarán el producto. Por esta razón, la forma de comunicación más ampliamente utilizada es el dibujo. En el caso de un artículo sencillo, como la perilla de una puerta, probablemente sea suficiente un solo dibujo, pero en el caso de un proyecto más grande y complicado, como un edificio completo, la cantidad de dibujos puede muy bien llegar a cientos, y para construcciones más complejas, como plantas de procesos químicos, aviones o grandes puentes, entonces son necesarios miles de dibujos.

Estos dibujos abarcarán desde descripciones generales —como planos, elevaciones y dibujos de arreglo general— que dan una “visión general” del artefacto, hasta las más específicas —como secciones y detalles— que proporcionan instrucciones precisas acerca de cómo se va a fabricar el artefacto. Debido a que deben comunicar instrucciones precisas, con poca probabilidad de equivocación, todos los dibujos están sujetos a reglas, códigos y convenciones. Estos códigos cubren aspectos como la forma de distribuir en un dibujo las vistas diferentes de un artefacto relativas entre ellas, cómo indicar diferentes clases de materiales y cómo especificar dimensiones. Aprender a leer y a elaborar estos dibujos es una parte importante de la formación en el diseño.

Los dibujos contienen anotaciones de información adicional. Las dimensiones son una clase de dichas anotaciones. También pueden agregarse a los dibujos instrucciones escritas, como notas acerca de los materiales a utilizar (figura 1).

También podrían requerirse otras clases de especificaciones, junto con los dibujos. Por ejemplo, a menudo se requiere que el diseñador elabore listas de todas las distintas partes y componentes que conformarán un artefacto completo, y que determine con exactitud las cantidades de cada componente a utilizar. También pueden ser necesarias especificaciones escritas de las normas de trabajo o calidad de manufactura. En ocasiones, si se trata de un

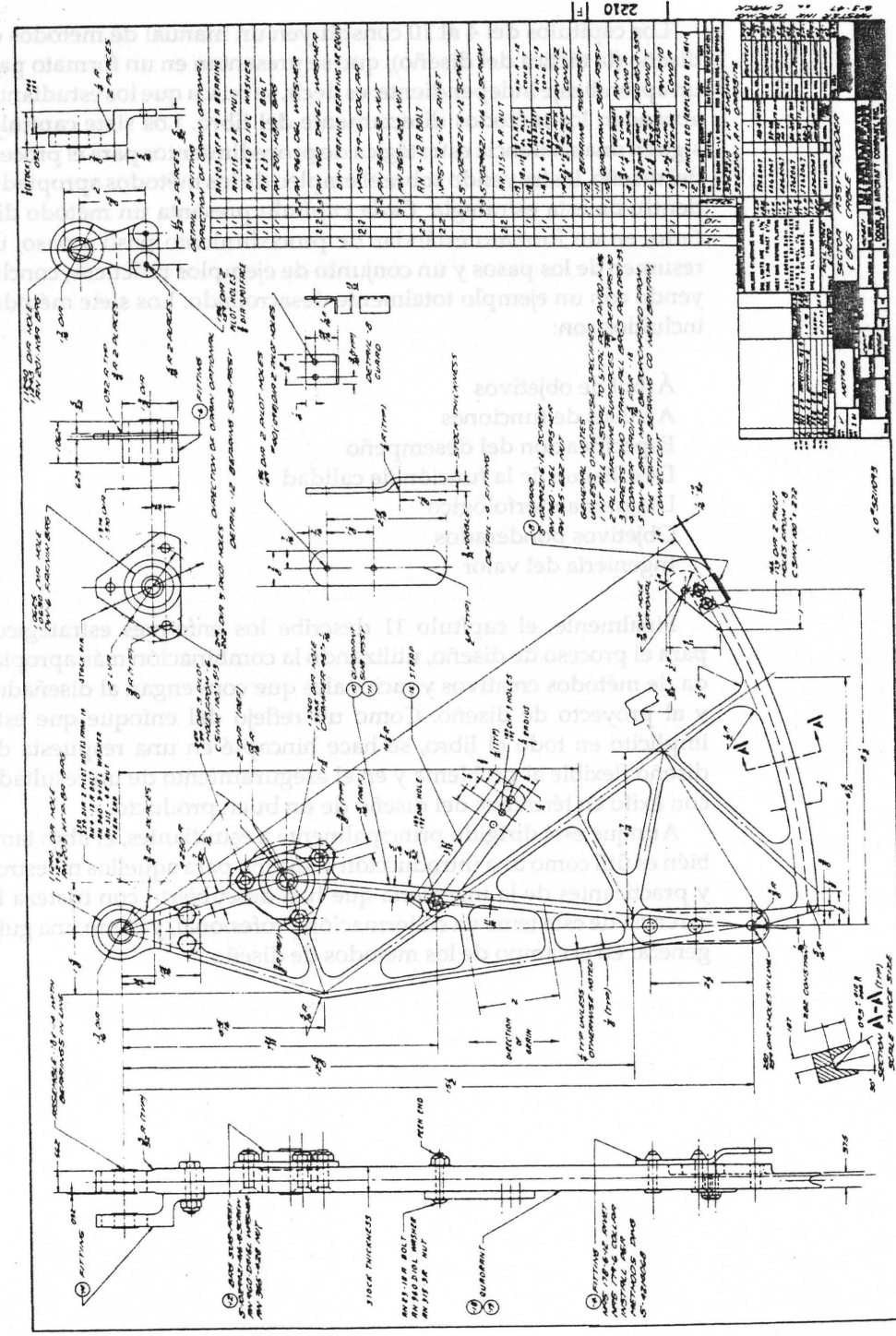


Figura 1 Comunicación: ejemplo típico de un plano de detalles convencional de diseño en ingeniería

artefacto complejo o extraño, el diseñador elabora una maqueta tridimensional, o un prototipo, a fin de comunicar el diseño.

No obstante, sin duda los dibujos son la forma más útil de comunicar la descripción de un artefacto que aún no se ha fabricado. Los dibujos son muy buenos para dar una idea de cómo tiene que ser el artefacto final, y dicha idea es esencial para la persona que tiene que fabricarlo.

En la actualidad, no siempre es una persona la que fabrica el artefacto; algunos artículos son hechos por máquinas sin intervención directa de un operario. Estas máquinas pueden ser robots bastante complejos, o simplemente máquinas más sencillas de control numérico, como tornos o fresadoras. En estos casos, por lo tanto, la especificación final de un diseño antes de su manufactura podría no estar en forma de dibujos, sino bajo la forma de una cadena de números representados en cinta magnética, o un programa de computadora que controle las acciones de la máquina.

Es posible, por lo tanto, imaginar un proceso de diseño en el cual no se elaboren dibujos para una comunicación final. El diseñador podría ser capaz de elaborar un modelo a escala o al tamaño real del artefacto, y luego podrían tomarse las medidas directamente y transmitirse a máquinas controladas numéricamente.

Evaluación de los diseños

En el futuro cercano, sin embargo, todavía se utilizarán dibujos de varias clases en alguna parte del proceso de diseño. Incluso si la descripción final está en forma de una cadena de números, el diseñador probablemente elaborará dibujos para otros propósitos.

Uno de los más importantes de esos propósitos es la verificación o evaluación de las propuestas de diseño antes de decidir sobre una versión final para manufactura. La razón principal de que el proceso de diseño esté separado del proceso de fabricación es que las propuestas de nuevos artefactos puedan verificarse antes de enviarlas a producción. En su forma más sencilla, el procedimiento de verificación podría consistir simplemente en asegurarse, por ejemplo, de que los diferentes componentes ajusten entre ellos en el diseño final; éste es un intento de prever errores posibles y asegurar que el diseño final pueda trabajarse. Algunos procedimientos de verificación más complicados podrían consistir en analizar, por ejemplo, las fuerzas de un diseño propuesto para asegurar que cada componente esté diseñado para resistir las cargas sobre él (figura 2); esto implica un proceso de mejora de un diseño para que satisfaga criterios de resistencia máxima, peso o costo mínimo.

Este proceso de refinación suele ser muy complicado y tal vez sea la parte que consume más tiempo en el proceso de diseño.

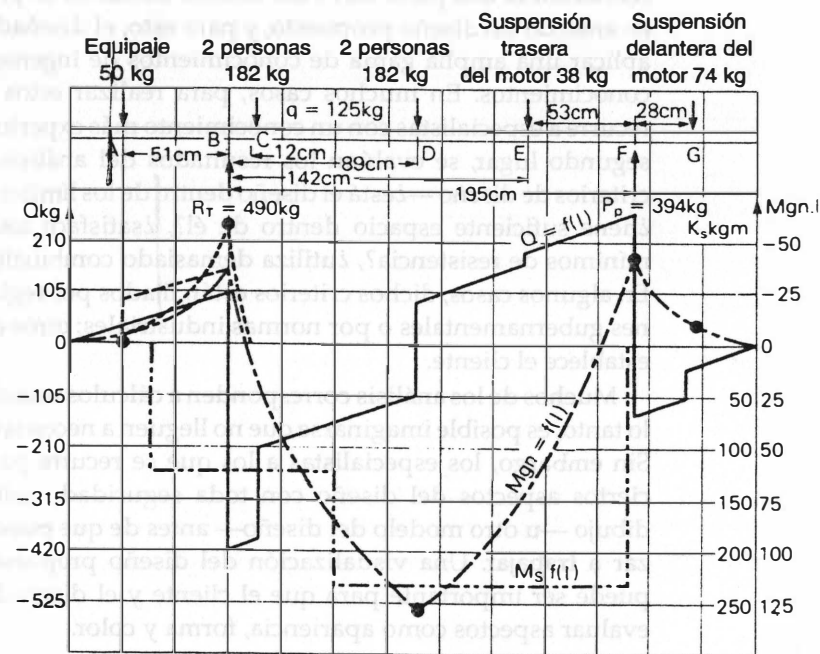
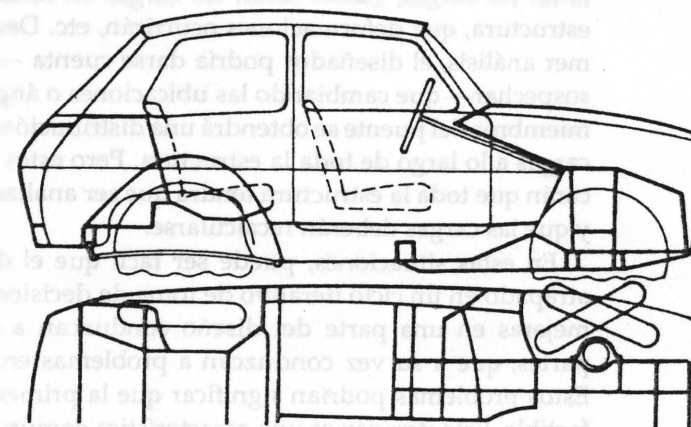


Figura 2

Evaluación: cálculo de las fuerzas de corte y momentos flexionantes en la carrocería de un automóvil pequeño

Imagine, por ejemplo, el diseño de un puente. El diseñador debe proponer primeramente la forma del puente y los materiales de que estará hecho. Para verificar que el puente sea lo suficientemente fuerte y rígido para las cargas que soportará, el diseñador debe analizar la estructura para determinar las formas en que se sopor-

tarán las cargas, cuáles serán las cargas en cada miembro de la estructura, qué deformaciones ocurrirán, etc. Después de un primer análisis, el diseñador podría darse cuenta —o por lo menos, sospechar— que cambiando las ubicaciones o ángulos de algunos miembros del puente se obtendrá una distribución más eficiente de cargas a lo largo de toda la estructura. Pero estos cambios significarán que toda la estructura tendrá que ser analizada nuevamente y que las cargas deberán recalcularse.

En estas situaciones, puede ser fácil que el diseñador quede atrapado en un ciclo iterativo de toma de decisiones, en el que las mejoras en una parte del diseño conduzcan a ajustes en otras partes, que a su vez conduzcan a problemas en otra parte más. Estos problemas podrían significar que la primera mejora no sea factible. Esta *iteración* es una característica común en el diseño. No obstante, a pesar de estas frustraciones potenciales, este proceso de refinación es una parte clave del diseño. Consiste, en primer lugar, en analizar un diseño propuesto, y para esto, el diseñador necesita aplicar una amplia gama de conocimientos de ingeniería u otros conocimientos. En muchos casos, para realizar estos análisis se recurre a especialistas con un conocimiento más experto. Luego, en segundo lugar, se evalúan los resultados del análisis contra los criterios de diseño —¿está el diseño dentro de los límites de costos?, ¿tiene suficiente espacio dentro de él?, ¿satisface los requisitos mínimos de resistencia?, ¿utiliza demasiado combustible?, etc.—. En algunos casos, dichos criterios están fijados por regulaciones gubernamentales o por normas industriales; otros criterios los establece el cliente.

Muchos de los análisis corresponden a cálculos numéricos y, por lo tanto, es posible imaginarse que no lleguen a necesitarse dibujos. Sin embargo, los especialistas a los que se recurre para analizar ciertos aspectos del diseño con toda seguridad solicitarán un dibujo —u otro modelo del diseño— antes de que puedan comenzar a trabajar. Una visualización del diseño propuesto también puede ser importante para que el cliente y el diseñador puedan evaluar aspectos como apariencia, forma y color.

Por supuesto, antes de poder llevar a cabo estos análisis y evaluaciones, el diseñador debe generar primeramente una propuesta de diseño. Esto se considera como la parte misteriosa y creativa del diseño —el cliente hace lo que muy bien podría ser un planteamiento muy breve de requerimientos, y el diseñador responde (después de un tiempo adecuado) con una propuesta de diseño, como si la sacara de la nada—. En realidad, el proceso es menos “mágico” de lo que parece.

En la mayoría de los casos, por ejemplo, se le pide al diseñador que trabaje sobre algo similar a lo que ya ha hecho antes y, en consecuencia, cuenta con un repertorio de ideas previas de diseño a las cuales puede recurrir. En algunos casos, sólo se requieren modificaciones menores a un diseño previo.

No obstante, hay algo misterioso en la habilidad de proponer un diseño para un artefacto nuevo —o incluso simplemente para

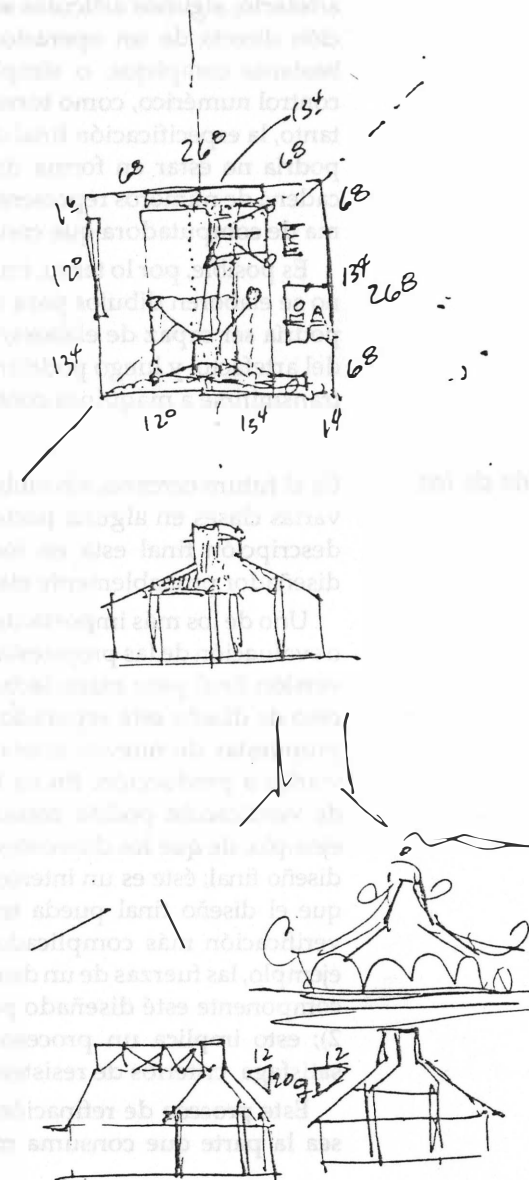


Figura 3
Generación:
bosquejos iniciales
del diseño de una
casa pequeña
por el arquitecto
Charles Moore

modificarlo—. Quizás es tan misterioso como la habilidad humana para expresar una nueva frase, ya sea completamente nueva, o simplemente una modificación de una que se ha escuchado, leído o dicho con anterioridad.

Esta habilidad para diseñar depende, en parte, de ser capaz de visualizar algo internamente, “en la imaginación”, pero quizás depende aún más de ser capaz de hacer visualizaciones externas. Como ya se anotó, los dibujos son una característica clave del proceso de diseño. En esta etapa temprana del proceso, los dibujos que hace el diseñador generalmente no pretenden ser una comunicación para nadie. En esencia, son comunicaciones para uno mismo —una especie de pensamientos en voz alta—. Como lo muestra el ejemplo de los primeros bosquejos conceptuales para el diseño de una casa (figura 3), en esta etapa el diseñador está pensando en muchos aspectos juntos, como el plano, la elevación, sección, estructura, dimensiones modulares, materiales, apariencia, forma general y función.

Exploración de los diseños

Al inicio del proceso de diseño, el diseñador generalmente se enfrenta a un problema definido en forma muy deficiente; aun así, tiene que llegar a una solución bien definida. Si uno piensa en el problema como un territorio, entonces es un territorio en gran medida inexplorado y del que no existen mapas, y quizás en ciertos lugares es imaginario! Como lo ha sugerido J. C. Jones, y como se examinará en el capítulo 11, es entonces apropiado pensar en el diseñador como un explorador, quien busca el “tesoro enterrado” de un concepto satisfactorio de solución.

De la misma manera, si uno piensa en todas las soluciones potenciales como si ocuparan una especie de espacio de soluciones, entonces dicho espacio, también, está relativamente indefinido —y tal vez sea infinito—. Las dificultades del diseñador son, por lo tanto, de dos tipos: entender el problema y encontrar una solución.

Estos dos aspectos complementarios del diseño —problema y solución— tienen que desarrollarse simultáneamente. El diseñador hace una propuesta de solución y la utiliza para que le ayude a entender cuál es “realmente” el problema y cómo podrían ser las soluciones apropiadas. Las mismas primeras conceptualizaciones y representaciones del problema y su solución son, por lo tanto, críticas para las clases de búsquedas y de otros procedimientos que seguirán y, en consecuencia, para la solución final que se diseñará.

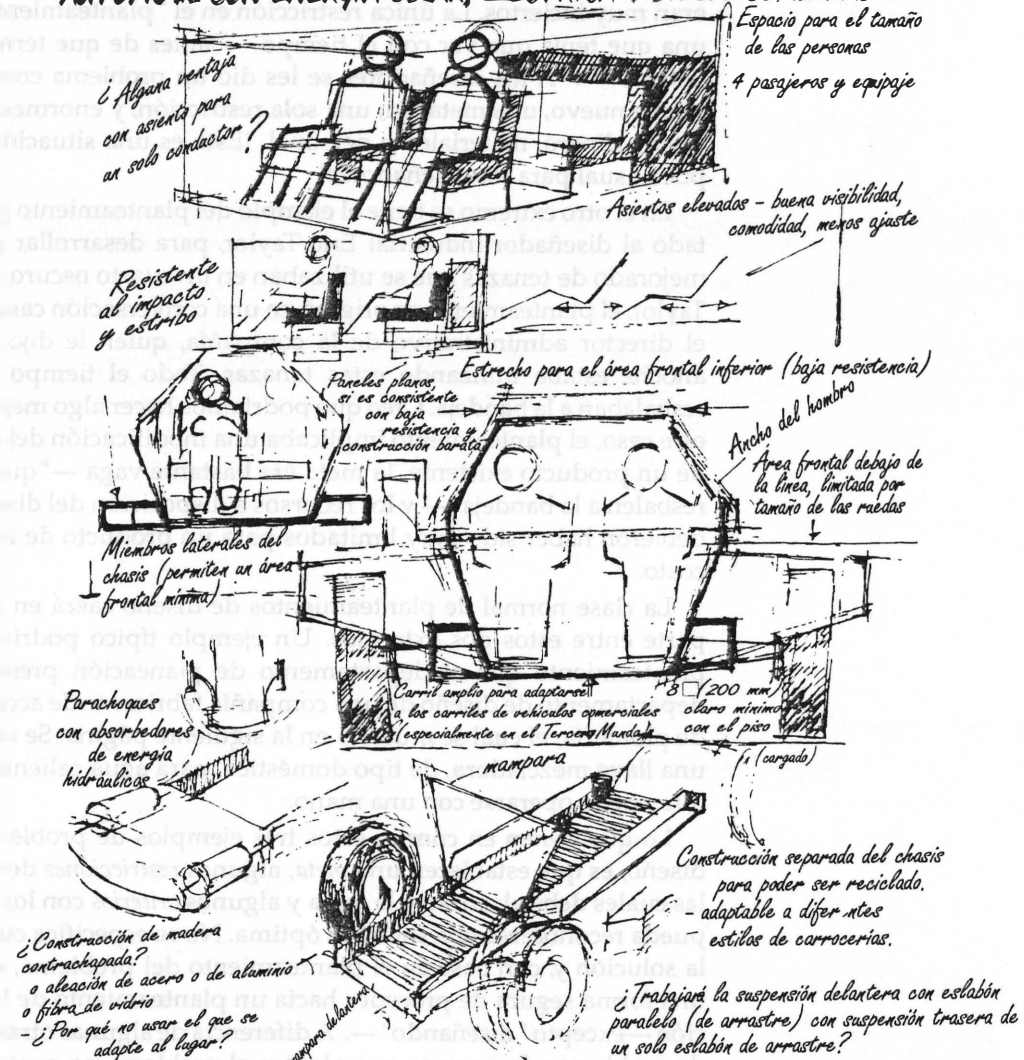
La exploración del problema y la solución de diseño también se realiza mediante un primer bosquejo de ideas tentativas. Esto es

Figura 4

Exploración: ejemplo de problema y solución explorados conjuntamente para el “Africar”, un automóvil sencillo, pero robusto, adecuado para las condiciones de los países en desarrollo

necesario debido a que normalmente no existe una forma de generar en forma directa una solución “óptima” a partir de la información proporcionada en el planteamiento del diseño. Aparte del hecho de que el planteamiento del cliente suele ser bastante vago, existirá una amplia gama de criterios a satisfacer, y probablemente no exista un objetivo único que deba satisfacerse por encima de todos los demás (figura 4).

AUTOMÓVIL CON ENERGÍA SOLAR, ELÉCTRICA Y DIESEL COMBINADAS



Problemas de diseño

Los problemas de diseño normalmente se originan como alguna forma de planteamiento que alguien —el cliente o la gerencia de la compañía— presenta al diseñador. Estos planteamientos de problemas —que normalmente se denominan “resumen” o “planteamiento” del diseño— pueden variar ampliamente en forma y contenido. En un extremo, podrían ser algo parecido a las declaraciones hechas por el presidente Kennedy en 1961, que fijaban una meta para los Estados Unidos, “antes de que termine la década, aterrizar un hombre en la Luna y traerlo de regreso sano y salvo”. En este caso, la meta se había fijado, pero los medios para alcanzarla eran muy inciertos. La única restricción en el “planteamiento” era una que tenía que ver con el tiempo —“antes de que termine la década”—. A los diseñadores se les dio un problema completamente nuevo, una meta fija, una sola restricción, y enormes recursos de dinero, materiales y personal. ¡Esta es una situación muy poco usual para los diseñadores!

En el otro extremo se tiene el ejemplo del planteamiento presentado al diseñador industrial Eric Taylor, para desarrollar un par mejorado de tenazas que se utilizaban en un cuarto oscuro. Según Taylor, el planteamiento se originó en una conversación casual con el director administrativo de la compañía, quien le dijo, “Eric, anoche estaba utilizando estas tenazas. Todo el tiempo se me resbalaban a la bandeja. Creo que podríamos hacer algo mejor”. En este caso, el planteamiento implicaba una modificación del diseño de un producto existente, la meta era bastante vaga —“que no se resbalen a la bandeja”— y los recursos a disposición del diseñador debieron haber sido muy limitados para un producto de tan bajo costo.

La clase normal de planteamientos de diseño caerá en alguna parte entre estos dos extremos. Un ejemplo típico podría ser el planteamiento que el departamento de planeación presenta al departamento de diseño de una compañía fabricante de accesorios de plomería, el cual se muestra en la siguiente página. Se refiere a una llave mezcladora, de tipo doméstico, para agua caliente y fría que pueda operarse con una mano.

Lo que tienen en común estos tres ejemplos de problemas de diseño, es que establecen una *meta*, algunas *restricciones* dentro de las cuales debe alcanzarse la meta y algunos *criterios* con los cuales pueda reconocerse una solución óptima. No se especifica cuál será la solución y, con base en el planteamiento del problema, no hay una forma segura de proceder hacia un planteamiento de la solución—excepto “diseñando”—. A diferencia de algunas otras clases de problemas, la persona que plantea el problema no conoce cuál es “la respuesta”—pero la reconocerá cuando la vea—.

Llave mezcladora de agua operada con una mano

Requerimiento: llave doméstica mezcladora de agua, operada con una mano, con las siguientes características:

Capacidad	10 l/ min
Presión máxima	6 bar
Presión normal	2 bar
Temperatura del agua caliente	60°C
Tamaño de la conexión	10 mm

Debe ponerse atención a la apariencia. La marca comercial de la compañía debe exhibirse de manera que resalte. El producto terminado debe comercializarse en dos años. Los costos de fabricación no deben ser superiores a 30 marcos alemanes por pieza, a una tasa de producción de 3000 llaves al mes.

Incluso esta última afirmación no siempre es cierta; en ocasiones, los clientes no “reconocen” la solución de diseño cuando la ven. Un ejemplo famoso de los principios de la arquitectura moderna es el de la “Casa Tugendhat” en Alemania, diseñada en la década de 1920 por Mies van der Rohe. Aparentemente, el cliente se había dirigido al arquitecto después de ver algunas de las casas relativamente más convencionales que él había diseñado. Según van der Rohe, cuando mostró el sorprendente y nuevo diseño al cliente, “éste no estaba muy contento al principio. Pero después fumamos unos buenos puros, . . . tomamos algunos vasos de buen vino del Rhin, . . . y luego empezó a gustarle mucho”.

En consecuencia, la solución que genera el diseñador puede ser algo que el cliente “nunca haya imaginado que pudiera ser posible”, o tal vez, “nunca se había dado cuenta de lo que quería”. Incluso un planteamiento bastante preciso de un problema no da idea acerca de cuál *debe* ser una solución. Es esta incertidumbre la que hace del diseño una actividad desafiante.

Problemas mal definidos

Las clases de problemas que enfrentan los diseñadores se consideran “mal definidos” o “mal estructurados”, a diferencia de los problemas bien definidos o bien estructurados como los de un juego de ajedrez, los crucigramas o cálculos normales. Los problemas *bien definidos* tienen una meta clara, una respuesta correcta y reglas o formas conocidas de proceder que generarán una respuesta. Las características de los problemas *mal definidos* pueden resumirse como sigue:

1. No existe una formulación definitiva del problema

Cuando el problema se plantea inicialmente, las metas generalmente son vagas y se desconocen muchas restricciones y criterios. El contexto del problema es complejo y confuso y no se entiende bien. En el curso de la solución del problema, pueden establecerse formulaciones temporales del problema, pero éstas son inestables y pueden cambiar a medida que se dispone de más información.

2. Cualquier formulación de un problema puede contener inconsistencias

Es poco probable que el problema sea internamente consistente; en la solución deberán resolverse muchos conflictos e inconsistencias. Es frecuente que las inconsistencias surjan sólo en el proceso de solución del problema.

3. Las formulaciones del problema dependen de la solución

Algunas formas de formulación del problema dependen de las formas de resolverlo; es difícil formular un planteamiento de un problema sin hacer referencia implícita o explícitamente a un concepto de solución. La forma en que se concibe la solución influye en la forma en que se concibe el problema.

4. La propuesta de soluciones es una forma de entender el problema

Muchas suposiciones acerca del problema y áreas de incertidumbre específicas, pueden saltar a la vista sólo mediante la propuesta de conceptos de solución. Muchas restricciones y criterios surgen como resultado de la evaluación de propuestas de solución.

5. No existe una solución definitiva al problema

Diferentes soluciones pueden ser respuestas igualmente válidas al problema inicial. No existe una evaluación objetiva de verdadero o falso de una solución; más bien, las soluciones se evalúan como buenas o malas, apropiadas o inapropiadas.

Se reconoce ampliamente que los problemas de diseño son problemas mal definidos. Generalmente es posible dar algunos pasos para mejorar la definición inicial del problema, cuestionando al cliente, recopilando datos, realizando investigación, etc. También existen algunos procedimientos y técnicas racionales que pueden aplicarse para ayudar a resolver problemas mal definidos. Sin embargo, el enfoque tradicional del diseñador, como se sugirió en algunos de los planteamientos acerca de problemas mal definidos que se presentaron anteriormente, consiste en tratar de moverse con bastante rapidez hacia una solución potencial, o un conjunto de soluciones potenciales, y utilizarlas como un medio para definir y entender aún más el problema.

Estructura del problema

Sin embargo, aun cuando el diseñador haya avanzado bastante en la definición de una solución, todavía pueden aparecer dificultades en la estructura del problema. En particular, puede encontrarse que algunas soluciones secundarias están interconectadas, en formas que implican una estructura "perjudicial" para el problema; por ejemplo, una solución secundaria que resuelve un problema secundario particular puede crear conflictos irreconciliables con otros problemas secundarios.

Un ejemplo de esta estructura "perjudicial" del problema se encontró en un estudio de diseño de viviendas realizado por Luckman. Los arquitectos identificaron cinco áreas de decisión, o problemas secundarios, relacionados con las direcciones del claro de las vigas del techo y del primer piso, y la provisión de muros de contención y de no contención y muros divisorios o tabiques en los niveles de la planta baja y el primer piso. Tomar una decisión en una área (por ejemplo, dirección del claro del techo) tenía implicaciones para los tabiques del primer piso y, en consecuencia, para los muros divisorios de la planta baja, lo cual tenía implicaciones para la dirección del claro de las vigas del primer piso y, en consecuencia, sobre cuáles de los muros exteriores tenían que diseñarse para ser de contención. Esto tenía implicaciones no sólo para el diseño de las elevaciones de los muros exteriores, sino también para la dirección del claro del techo; debido a esto, daban vuelta en círculo hasta la primera área

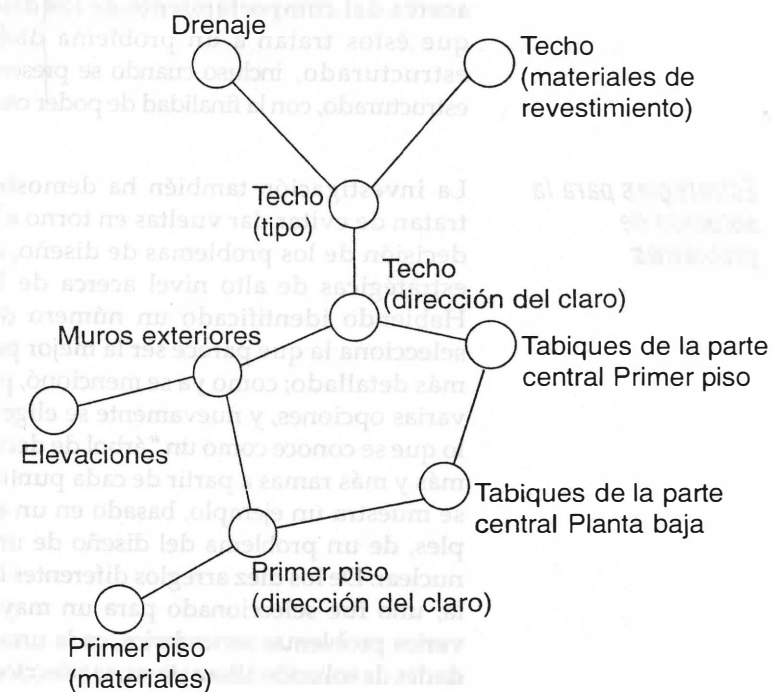


Figura 5
Estructura de un problema en un diseño habitacional

Este enfoque jerárquico “de arriba hacia abajo” en el diseño es bastante común, aunque a veces se utiliza un enfoque “de abajo hacia arriba”, comenzando con los detalles del nivel más bajo y avanzando hasta un concepto de solución global completo. El enfoque del árbol de decisiones implica quizás que el resultado es el mejor diseño posible, ya que se seleccionan las mejores opciones en cada nivel. Sin embargo, una decisión en cualquier nivel particular puede muy bien resultar ser subóptima a la luz de opciones subsecuentes disponibles en los otros niveles. Por esta razón, es necesario regresar con cierta frecuencia hacia arriba y hacia abajo en los niveles de jerarquía del árbol de decisiones.

Habilidad de diseño

El mundo está lleno de herramientas, utensilios, máquinas, edificios, muebles, vestidos y muchas otras cosas que los seres humanos aparentemente necesitan o desean para tener una vida mejor. De hecho, cada cosa que está alrededor que no es una pieza sencilla de la naturaleza, ha sido diseñada por alguien. Incluso una hoja de papel en blanco ha sido objeto de decisiones de diseño en cuanto a su tamaño, color, densidad, opacidad, absorbencia, etc.

A un cuando se llevan a cabo muchas actividades de diseño en el mundo, la forma en que las personas diseñan no es muy bien comprendida realmente. Hasta hace poco, la habilidad de diseño había sido considerada como algo que mucha gente posee, y para lo cual pocas personas tienen un talento particular. Sin embargo, ahora existe un creciente conjunto de conocimientos acerca de la naturaleza del diseño, de la habilidad para el diseño y cómo desarrollarla, así como del proceso de diseño y cómo mejorarlo.

Cuando se les pide a los diseñadores que describan sus habilidades y que expliquen cómo trabajan, surgen algunos temas comunes. Uno de éstos es la importancia de la creatividad y la “intuición” en el diseño —incluso en el diseño de ingeniería—. Por ejemplo, el diseñador de ingeniería Jack Howe ha dicho:

Creo en la intuición. Considero que es la diferencia entre un diseñador y un ingeniero ... Yo distingo entre los ingenieros y los diseñadores de ingeniería ... Un diseñador de ingeniería es sencillamente tan creativo como cualquier otro tipo de diseñador.

Comentarios muy similares han sido hechos por el diseñador industrial Richard Stevens:

Una gran cantidad del diseño de ingeniería es intuitivo, basado en el pensamiento subjetivo. Sin embargo, un ingeniero no se conforma con esto. Un ingeniero desea probar; probar y medir. Así es como ha sido formado y no está contento si no puede

probar algo. Por otra parte, un diseñador industrial, con su formación en la escuela de artes, está totalmente conforme haciendo juicios que son intuitivos.

Otro tema que surge de los comentarios de los propios diseñadores se basa en el reconocimiento de que los problemas y las soluciones en el diseño están estrechamente entrelazados; que “la solución” no es siempre una respuesta directa al “problema”. Por ejemplo, el diseñador de muebles Geoffrey Harcourt hizo el siguiente comentario acerca de sus diseños creativos:

De hecho, la solución a la que llegué no era en absoluto una solución al problema. Nunca la vi como tal... Pero cuando la silla fue ensamblada, resolvió el problema en una forma bastante aceptable, pero desde otro ángulo y desde un punto de vista completamente diferente.

Un tercer tema común que surge es la necesidad de emplear bosquejos, dibujos o modelos de varias clases como una forma de explorar el problema y la solución de manera conjunta, y simplemente avanzar cuando uno se enfrenta con la complejidad del diseño. Por ejemplo, Jack Howe ha dicho que cuando no está seguro de cómo proceder:

Dibujó algo. Incluso si es “alocado”, lo dibujo. El acto de dibujar parece clarificar mis pensamientos.

Dadas estas ideas acerca de la naturaleza del diseño, no es sorprendente que el diseñador de ingeniería Ted Happold comente:

Yo tengo, tal vez, un talento real; y es que no me importa en absoluto vivir en el área de la total incertidumbre.

Las citas anteriores están tomadas de entrevistas realizadas por Davies a varios diseñadores eminentes. Sus comentarios apoyan algunas de las hipótesis que han surgido de estudios más objetivos de la observación de diseñadores trabajando, y otras investigaciones que han sido realizadas sobre la naturaleza del diseño. Algunas de estas investigaciones apoyan el punto de vista de que los diseñadores tienen una forma de pensar y trabajar de naturaleza “diseñadora”.

Pensamiento en el diseño

Una investigación realizada por Lawson comparó las formas en que los diseñadores (en este caso, arquitectos) y los científicos resolvieron el mismo problema. Los científicos tendían a utilizar la estrategia de tratar sistemáticamente de entender el problema, a fin de buscar reglas subyacentes que les permitieran generar una solución óptima. En contraste, los diseñadores tendían a hacer exploraciones iniciales y sugerir luego una variedad de soluciones posibles hasta

encontrar una buena o satisfactoria. La evidencia de los experimentos sugirió que los científicos resuelven los problemas mediante análisis, en tanto que los diseñadores resuelven los problemas mediante síntesis; los científicos emplean estrategias "enfocadas al problema" y los diseñadores utilizan estrategias "enfocadas a la solución".

Las estrategias para solución de problemas utilizadas por los diseñadores, probablemente reflejan la naturaleza de los problemas que enfrentan por lo regular. Estos problemas no se pueden plantear de manera suficientemente explícita para que se puedan plantear soluciones a partir de ellos. El diseñador debe tomar la iniciativa para encontrar un punto de inicio y sugerir áreas tentativas de solución. La "solución" y el "problema" se desarrollan entonces en paralelo, conduciendo a una redefinición creativa del problema, o a una solución que se encuentra fuera de los límites de lo que se suponía era posible.

Las estrategias enfocadas a la solución de los diseñadores son quizás la mejor forma de abordar los problemas de diseño, que por naturaleza son mal definidos. A fin de resolver la incertidumbre de los problemas mal definidos, el diseñador debe tener la autoconfianza para definir, redefinir y cambiar el problema como se da, a la luz de las soluciones que surgen en el mismo proceso del diseño. La persona que busca la certidumbre de problemas estructurados y bien definidos no tiene alma de diseñador!

2 El proceso de diseño

Modelos descriptivos

Ha habido muchos intentos de elaborar mapas o modelos del proceso de diseño. Algunos de estos modelos simplemente *describen* las secuencias de actividades que ocurren típicamente en el diseño; otros modelos intentan *prescribir* un patrón mejor o más apropiado de actividades.

Los modelos descriptivos del proceso de diseño generalmente hacen énfasis en la importancia de generar un concepto de solución en una etapa temprana del proceso, reflejando de esta manera la naturaleza "enfocada a la solución" del pensamiento en el diseño. Esta "conjetura" de solución inicial se somete después a análisis, evaluación, refinamiento y desarrollo. En ocasiones, por supuesto, el análisis y la evaluación muestran fallas fundamentales en la conjetura inicial y ésta tiene que abandonarse, generarse un nuevo concepto y volver a comenzar el ciclo. El proceso es heurístico: emplear la experiencia previa, guías generales y "reglas prácticas" que llevan a lo que el diseñador espera que sea la dirección correcta, pero sin ninguna garantía absoluta de éxito.

En el capítulo 1, se desarrolló un modelo descriptivo sencillo para el proceso de diseño, basado en las actividades esenciales que realiza el diseñador. El punto culminante del proceso es la *comunicación* de un diseño, listo para su fabricación. Previamente a esto, la propuesta de diseño se somete a una *evaluación* comparándola con las metas, las restricciones y los criterios del planteamiento del diseño. La propuesta misma surge de la *generación* de un concepto por parte del diseñador, generalmente después de alguna *exploración* inicial del espacio del problema mal definido. Al colocar estos cuatro tipos de actividades en su secuencia natural, se tiene un modelo sencillo de cuatro etapas del proceso de diseño: exploración, generación, evaluación, comunicación.

Este sencillo modelo se muestra en el diagrama de la figura 7. Si se supone que la etapa de evaluación no siempre conduce directamente a la comunicación de un diseño final, sino que, en ocasiones,

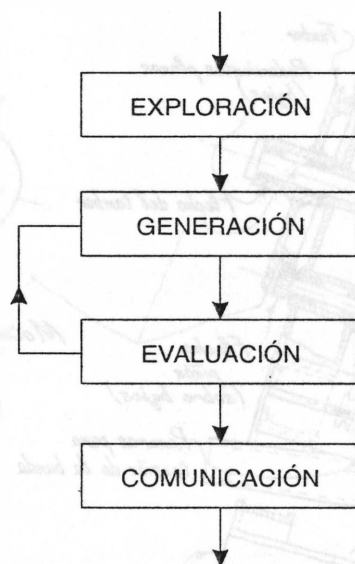


Figura 7
Un modelo sencillo de cuatro etapas del proceso de diseño

debe elegirse un concepto nuevo y más satisfactorio, se muestra un ciclo iterativo de retroalimentación desde la etapa de evaluación hasta la etapa de generación.

Los modelos del proceso de diseño se elaboran bajo esta forma de diagrama de flujo, con el desarrollo del diseño procediendo de una etapa a la siguiente, pero conciclos de retroalimentación que muestren las vueltas iterativas a etapas previas que frecuentemente son necesarias. Por ejemplo, French desarrolló un modelo más detallado del proceso de diseño, que se muestra en la figura 8, basado en las siguientes actividades:

Análisis del problema
Diseño conceptual
Dar forma a los esquemas
Desarrollo de detalles

En el diagrama, los círculos representan las etapas o resultados alcanzados y los rectángulos representan actividades o trabajo en curso.

El proceso comienza con un planteamiento inicial de una "necesidad", y la primera actividad de diseño es el "análisis del problema". French sugiere que:

El análisis del problema es una parte pequeña pero importante del proceso global. El resultado es un planteamiento del problema, y éste puede tener tres elementos,

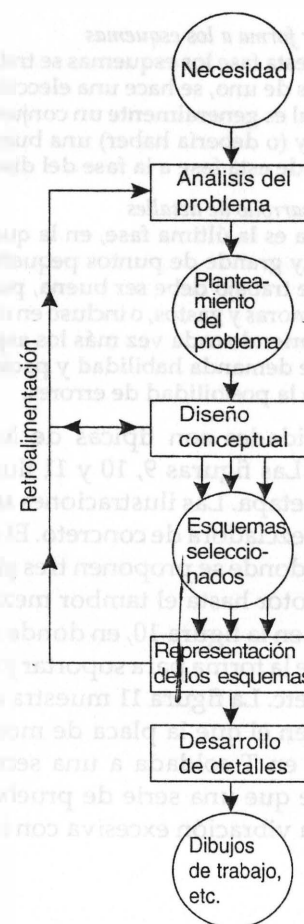


Figura 8
Modelo de French del proceso de diseño

1. Un planteamiento del propio problema de diseño.
2. Las limitaciones que se imponen a la solución, por ejemplo, códigos de práctica, requisitos estatutarios, normas de los clientes, fecha de terminación, etc.
3. El criterio de excelencia hacia el que se va a trabajar.

Estos tres elementos corresponden a las metas, restricciones y criterios del planteamiento del diseño.

Las actividades que siguen, según French, son entonces:

Diseño conceptual

Esta fase... toma el planteamiento del problema y genera soluciones amplias, en forma de esquemas. Es la fase que impone mayores demandas al diseñador y donde existe el mayor campo para mejoras espectaculares. Es la fase donde necesitan conjuntarse la ciencia de la ingeniería, el conocimiento práctico, los métodos de producción y los aspectos comerciales, y donde se toman las decisiones más importantes.

Dar forma a los esquemas

En esta fase los esquemas se trabajan con mayor detalle y, si existe más de uno, se hace una elección final de entre ellos. El producto final es generalmente un conjunto de dibujos del arreglo general. Hay (o debería haber) una buena cantidad de retroalimentación desde esta fase a la fase del diseño conceptual.

Desarrollo de detalles

Ésta es la última fase, en la que quedan por decidir un número muy grande de puntos pequeños pero esenciales. La calidad de este trabajo debe ser buena, pues de lo contrario se incurrirá en demoras y gastos, o incluso en un fracaso; las computadoras están cubriendo cada vez más los aspectos monótonos de este trabajo, que demanda habilidad y paciencia, al mismo tiempo que reducen la posibilidad de errores.

Estas actividades son típicas de los diseños convencionales de ingeniería. Las figuras 9, 10 y 11 ilustran el tipo de trabajo que se da en cada etapa. Las ilustraciones son ejemplos del diseño de una pequeña mezcladora de concreto. El *diseño conceptual* se muestra en la figura 9, donde se proponen tres alternativas para la transmisión desde el motor hasta el tambor mezclador. El *diseño para dar forma* se muestra en la figura 10, en donde se desarrolla el concepto (c) en términos de la forma para soportar y ensamblar el motor, el tambor, las poleas, etc. La figura 11 muestra un pequeño ejemplo del *diseño de detalles*, en el que la placa de montaje del motor se rediseña de una forma en T soldada a una sección en canal en forma de U, después de que una serie de pruebas de un prototipo mostraron que ocurría vibración excesiva con la primera.

Figura 9
Diseño conceptual:
alternativas para la
transmisión en un
mezclador pequeño
de concreto

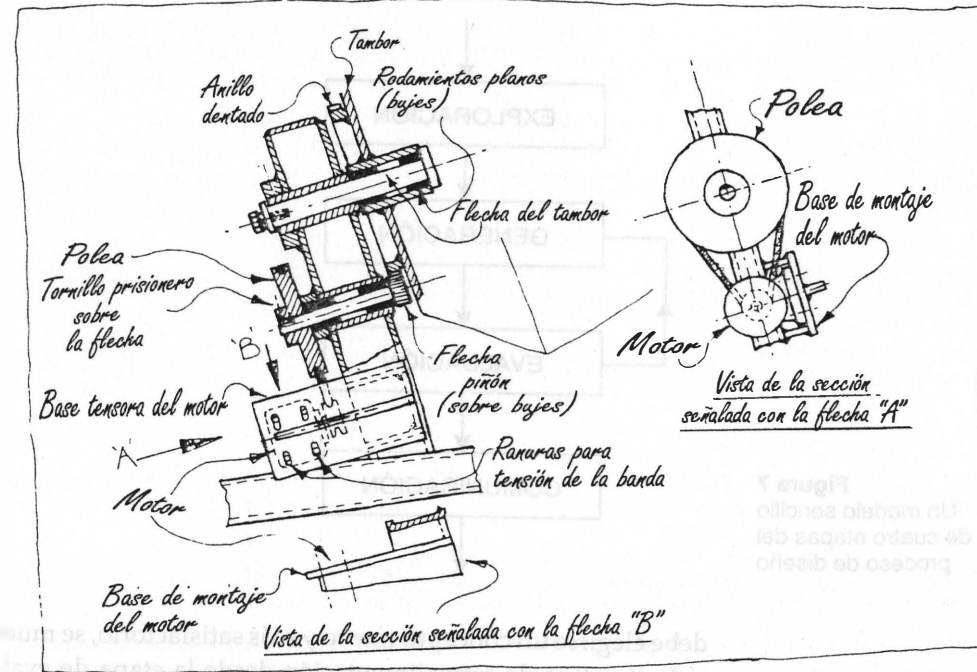
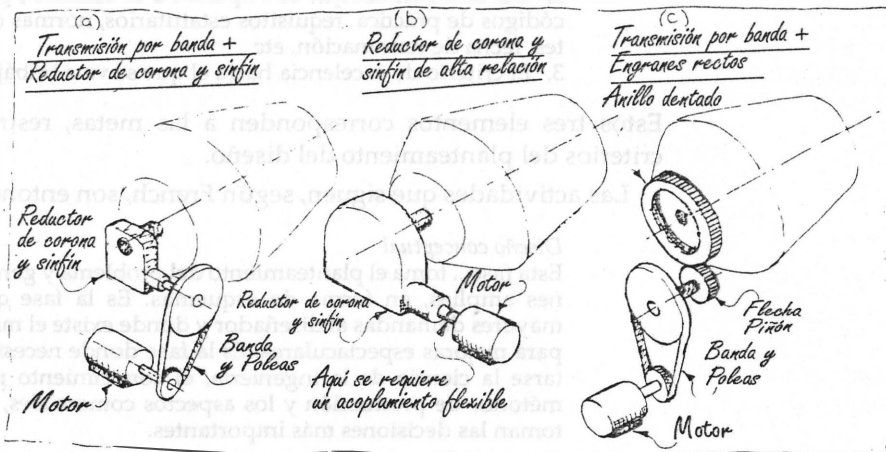


Figura 10 Diseño para dar forma: un concepto desarrollado con mayor detalle

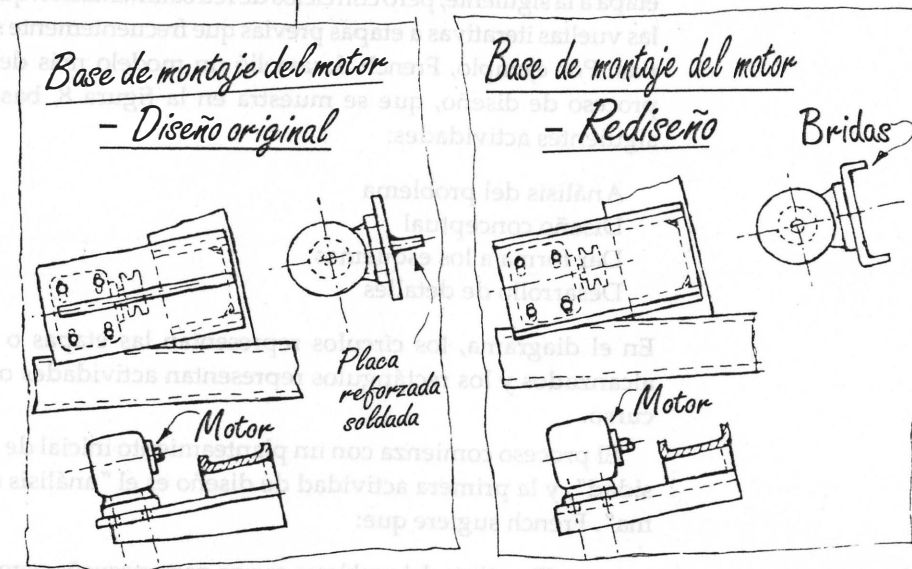


Figura 11 Diseño de detalles: rediseño de una base de montaje para resistir la vibración

Al igual que los modelos que describen simplemente un proceso de diseño más o menos convencional y heurístico, ha habido varios intentos de elaborar modelos prescriptivos del modelo de diseño. Estos últimos modelos tratan de persuadir o motivar a los diseñadores a adoptar mejores formas de trabajar. Generalmente ofrecen un procedimiento sistemático a seguir, más *algorítmico*, y se considera que proporcionan una *metodología de diseño* particular.

Muchos de estos modelos prescriptivos han enfatizado la necesidad de un trabajo más analítico que preceda a la generación de conceptos de solución. La intención es tratar de asegurar que el problema de diseño se entienda completamente, que no se pasen por alto elementos importantes del mismo y que se identifique el problema real. Existen *infinidad* de ejemplos de soluciones excelentes al problema incorrecto!

En consecuencia, estos modelos han tendido a sugerir una estructura básica para el proceso de diseño de análisis-síntesis-evaluación. Estas etapas fueron definidas por Jones en un primer ejemplo de una metodología sistemática de diseño, como sigue:

Análisis. Elaborar una lista de todos los requisitos de diseño y la reducción de éstos a un conjunto completo de especificaciones de rendimiento lógicamente relacionadas.

Síntesis. Encontrar soluciones posibles para cada especificación de rendimiento individual y desarrollar diseños completos a partir de éstos con el mínimo compromiso posible.

Evaluación. Evaluar la exactitud con la cual los diseños alternativos satisfacen los requisitos de rendimiento para la operación, manufactura y ventas antes de seleccionar el diseño final.

Esto puede sonar muy similar al proceso convencional de diseño, pero el énfasis aquí está en las especificaciones de rendimiento, derivadas lógicamente a partir del problema de diseño, generando varios conceptos de diseño alternativos, desarrollando las mejores soluciones secundarias y haciendo una elección racional del mejor de los diseños alternativos. Dichos procedimientos aparentemente sensatos y racionales no siempre se siguen en la práctica convencional de diseño.

Archer desarrolló un modelo prescriptivo más detallado, el cual se resume en la figura 12. Éste incluye interacciones con el mundo exterior del proceso de diseño, como información del cliente, la capacitación y experiencia del diseñador, otras fuentes de información, etc. El resultado es, por supuesto, la comunicación de una solución específica. Esta información de entrada y los resultados se muestran como algo externo al proceso de diseño en el diagrama.

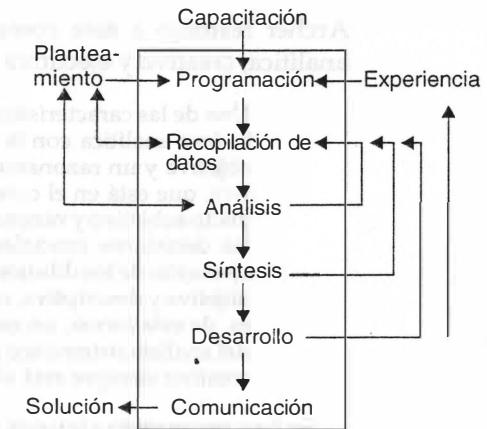


Figura 12
Modelo de Archer del
proceso de diseño

ma de flujo, el cual también tiene como característica muchos ciclos de retroalimentación.

Dentro del proceso de diseño, Archer identificó seis tipos de actividad:

Programación—establecer aspectos cruciales; proponer un curso de acción.

Recopilación de datos—recopilar, clasificar y almacenar datos.

Análisis—identificar problemas secundarios; preparar especificaciones de rendimiento (o de diseño); reevaluar el programa propuesto y las estimaciones.

Síntesis—preparar bosquejos de las propuestas de diseño.

Desarrollo—desarrollar un diseño o diseños prototipo; preparar y realizar estudios de validación.

Comunicación—preparar la documentación de manufactura.

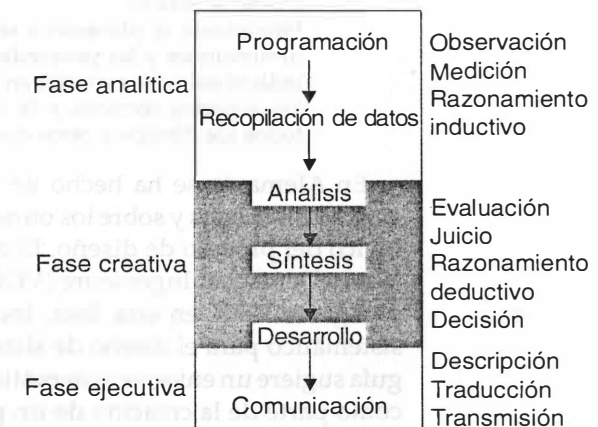


Figura 13
Modelo de Archer del
proceso de diseño,
resumido en tres
fases

Archer resumió a éste como un proceso de tres amplias fases: analítica, creativa y ejecutiva (figura 13). Sugirió que:

Una de las características especiales del proceso de diseño es que la fase analítica con la que comienza requiere una observación objetiva y un razonamiento inductivo, en tanto que la fase creativa, que está en el corazón de la misma, requiere participación, juicio subjetivo y razonamiento deductivo. Una vez que se toman las decisiones cruciales, el proceso de diseño continúa con la ejecución de los dibujos de trabajo, programas, etc., en una forma objetiva y descriptiva, como ya se mencionó. El proceso de diseño es, de esta forma, un emparedado creativo. El pan del objetivo y del análisis sistemático puede ser grueso o delgado, pero el hecho creativo siempre está ahí en medio.

Se han propuesto algunos modelos mucho más complejos, pero éstos tienden a oscurecer la estructura general del proceso de diseño, sumergiéndolo en el detalle de las numerosas tareas y actividades que son necesarias en todo trabajo práctico de diseño. Un modelo razonablemente completo que aún retiene claridad es el que ofrecen Pahl y Beitz (figura 14). Se basa en las siguientes etapas de diseño:

Clarificación de la tarea

Recopilar información acerca de los requerimientos que deben incorporarse en la solución y también acerca de las restricciones.

Diseño conceptual

Establecer estructuras funcionales; buscar principios de solución apropiados; combinarlos en variantes de conceptos.

Diseño para dar forma

Partiendo del concepto, el diseñador determina el arreglo y las formas, y desarrolla un producto técnico o sistema de acuerdo con las consideraciones técnicas y económicas.

Diseño de detalles

Finalmente se plantean o se desarrollan el arreglo, la forma, las dimensiones y las propiedades superficiales de todas las partes individuales; se especifican los materiales; se vuelven a verificar los aspectos técnicos y la factibilidad económica; se preparan todos los dibujos y otros documentos para producción.

En Alemania se ha hecho un trabajo considerable sobre estas clases de modelos y sobre los otros aspectos del marco de referencia lógico del proceso de diseño. El cuerpo profesional de ingenieros, Verein Deutscher Ingenieure (VDI), ha producido un buen número de "guías VDI" en esta área, incluyendo la VDI 2221, "Enfoque sistemático para el diseño de sistemas técnicos y productos". Esta guía sugiere un enfoque sistemático en el que "el proceso de diseño, como parte de la creación de un producto, se subdivide en etapas de trabajo generales, haciendo que el enfoque de diseño sea trans-

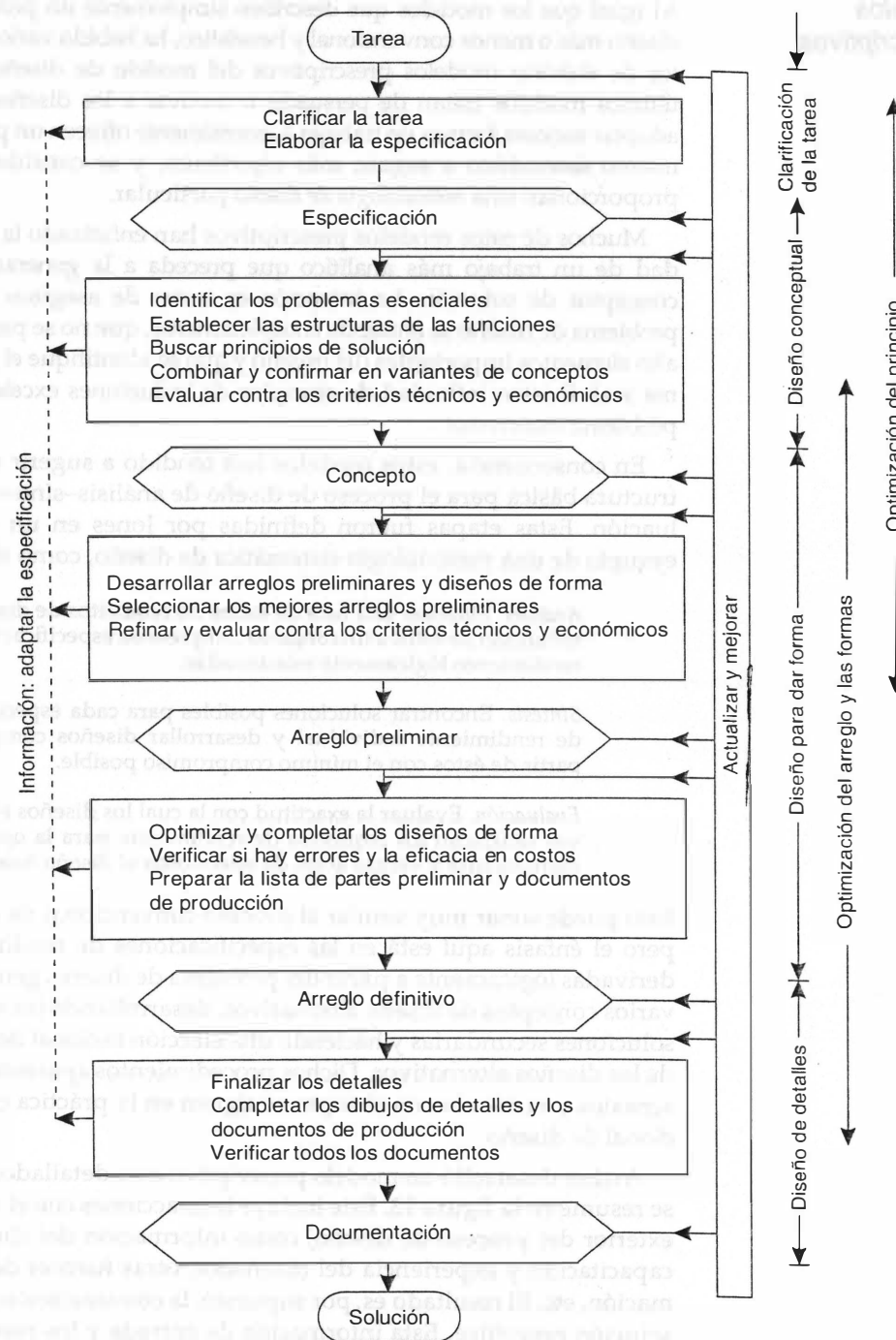


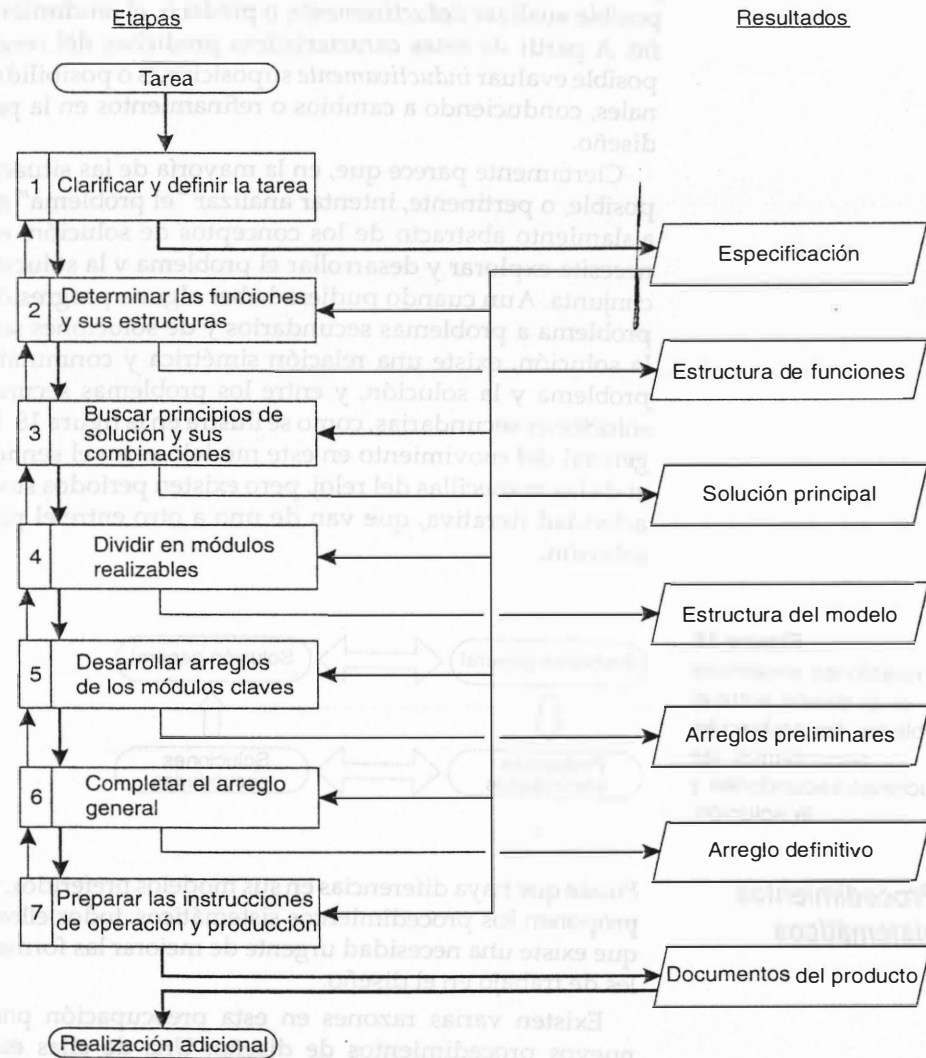
Figura 14 Modelo de Pahl y Beitz del proceso de diseño

parente, lógicamente ordenado e independiente de una rama específica de la industria”.

La estructura de este enfoque general del diseño se basa en siete etapas y se muestra en la figura 15, cada una de ellas con un resultado particular. El resultado de la primera etapa, la especificación es de particular importancia y constantemente se revisa y se mantiene actualizada; se utiliza como una referencia en todas las etapas subsecuentes.

La segunda etapa del proceso consiste en determinar las funciones requeridas del diseño, y producir una estructura de funciones

Figura 15
El modelo VDI 2221
del proceso de diseño



diagramática. En la etapa número 3 se hace una búsqueda de principios de solución para todas las funciones secundarias, y éstas se combinan de acuerdo con la estructura global de funciones en una solución principal. Esta se divide, en la etapa 4, en módulos realizables y una estructura de módulos que representan la descomposición de la solución en ensambles fundamentales. En la etapa 5 se desarrollan módulos claves en un conjunto de arreglos preliminares. Éstos se refinan y desarrollan en la etapa 6 para llegar a un arreglo definitivo; y en la etapa 7 se generan los documentos del producto final.

En la guía mencionada se hace hincapié en que deben analizarse y evaluarse en cada etapa diversas variantes de solución, y que existe mucho más detalle en cada etapa de lo que se muestra en el diagrama. También se presentan las siguientes palabras de advertencia acerca del enfoque:

Es importante hacer notar que las etapas no necesariamente se cumplen de manera rígida una después de la otra. Es frecuente que se lleven a cabo de manera iterativa, regresando a las anteriores, y logrando de esta forma una optimización paso a paso.

La guía VDI sigue un procedimiento sistemático general en el que primero se analiza y entiende el problema lo más completamente posible, luego se descompone en problemas secundarios, se encuentran soluciones secundarias apropiadas y éstas se combinan en una solución general. El procedimiento se muestra en el diagrama de la figura 16.

Esta clase de procedimiento ha sido criticada en el mundo del diseño debido a que parece que se basa en un enfoque en el problema, más que en un enfoque en la solución. En consecuencia, va en contra de las formas tradicionales de pensar del diseñador.

Un modelo más radical del proceso de diseño, que reconoce la naturaleza con enfoque en la solución del pensamiento de diseño, ha sido sugerido por March (figura 17). A firma que las dos formas de razonamiento convencionalmente entendidas —inductiva y deductiva— sólo se aplican lógicamente a los tipos de actividad evaluativa y analítica en el diseño. Pero el tipo de actividad que más particularmente se asocia con el diseño es el de la síntesis, para la cual no existe una forma de razonamiento comúnmente reconocida. March se apoyó en el trabajo del filósofo C. S. Peirce para identificar este concepto faltante de razonamiento “abductivo”. Según Peirce,

La deducción prueba que algo *debe ser*; la inducción muestra que algo *realmente es* operativo; la abducción simplemente sugiere que algo *puede ser*.

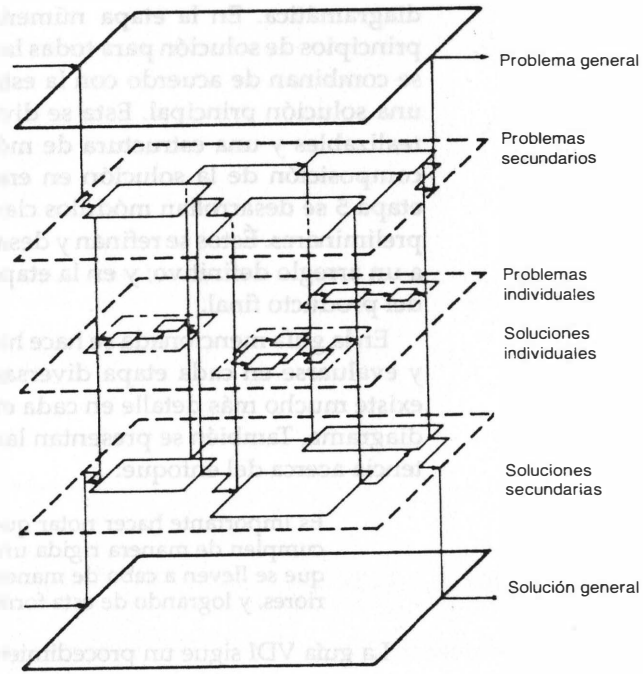


Figura 16
El modelo VDI 2221 del desarrollo desde el problema hasta la solución

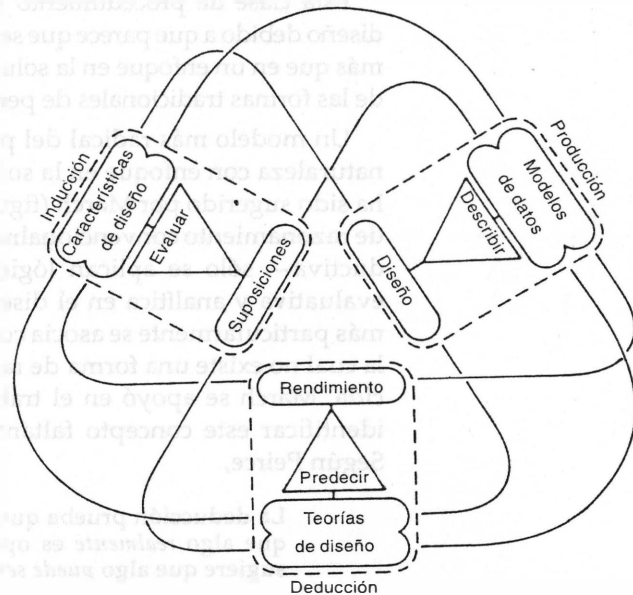


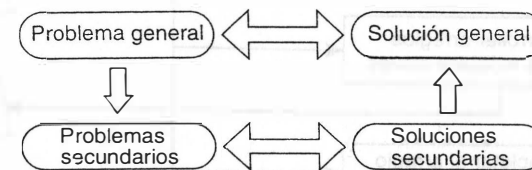
Figura 17
Modelo de March del proceso de diseño

Es esta actividad de elaboración de la hipótesis de lo que *podría* ser —el acto de la *síntesis*— la que es central para el diseño. Debido a que es la clase de pensamiento mediante el cual se generan o producen los diseños, March prefiere denominarlo razonamiento "productivo". Por lo tanto, su modelo para un proceso de diseño racional es un "modelo PDI": Producción—Deducción—Inducción.

En este modelo, la primera fase, de razonamiento *productivo*, se basa en el planteamiento preliminar de requerimientos, y algunas suposiciones previas acerca de los tipos de solución a fin de producir, o describir, una propuesta de diseño. A partir de esta propuesta y la teoría establecida (por ejemplo, ciencia de la ingeniería), es posible analizar *deductivamente*, o predecir, el rendimiento del diseño. A partir de estas características predichas del rendimiento es posible evaluar *inductivamente* suposiciones o posibilidades adicionales, conduciendo a cambios o refinamientos en la propuesta de diseño.

Ciertamente parece que, en la mayoría de las situaciones, no es posible, o pertinente, intentar analizar "el problema" *ab initio* y en aislamiento abstracto de los conceptos de solución; el diseñador necesita explorar y desarrollar el problema y la solución en forma conjunta. A un cuando pudiera haber alguna progresión lógica del problema a problemas secundarios y de soluciones secundarias a la solución, existe una relación simétrica y conmutativa entre el problema y la solución, y entre los problemas secundarios y las soluciones secundarias, como se ilustra en la figura 18. La dirección general del movimiento en este modelo es en el sentido contrario al de las manecillas del reloj, pero existen períodos sustanciales de actividad iterativa, que van de uno a otro entre el problema y la solución.

Figura 18
Las relaciones simétricas en el diseño entre el problema, los problemas secundarios, las soluciones secundarias y la solución



Procedimientos sistemáticos

Puede que haya diferencias en sus modelos preferidos, pero quienes proponen los procedimientos sistemáticos, todos ellos concuerdan que existe una necesidad urgente de mejorar las formas tradicionales de trabajo en el diseño.

Existen varias razones en esta preocupación por desarrollar nuevos procedimientos de diseño. Una de ellas es la creciente

complejidad del diseño moderno. Una gran variedad de nuevas demandas se están planteando cada vez más al diseñador, como los nuevos materiales y dispositivos (electrónicos, por ejemplo) que ya están disponibles y los nuevos problemas que se presentan a los diseñadores. Muchos de los productos y máquinas que se van a diseñar nunca han existido y, en consecuencia, la experiencia previa del diseñador puede ser irrelevante e inadecuada para estas tareas. En consecuencia, se argumenta, se requiere un nuevo enfoque sistemático.

Una parte relacionada con la complejidad del diseño moderno es la necesidad de desarrollar trabajo en equipo, con muchos especialistas colaborando y contribuyendo en el diseño. Para coordinar el equipo, es necesario tener un enfoque claro y sistemático hacia el diseño, de manera que las contribuciones de los especialistas se hagan en el punto correcto en el proceso. Dividir el problema global en problemas secundarios de forma sistemática, también significa que el trabajo de diseño puede subdividirse y asignarse a miembros apropiados del equipo.

A la vez que es más complejo, el trabajo de diseño moderno tiene riesgos y costos asociados muy elevados. Por ejemplo, muchos productos se diseñan para una fabricación masiva, y los costos de instalar la planta de fabricación, compra de materias primas, etc., son tan elevados que el diseñador no puede permitirse el lujo de cometer errores: el diseño debe ser totalmente correcto antes de que pase a producción. Esto significa que cualquier nuevo producto debe haber pasado por un cuidadoso proceso de diseño. Otras clases de diseños únicos y grandes, como plantas de procesos químicos o productos complejos como aviones, también deben tener un proceso de diseño muy riguroso para tratar de asegurar su operación segura y evitar las consecuencias catastróficas de un fracaso.

Finalmente, existe una preocupación más general de tratar de mejorar la eficiencia del proceso de diseño. En algunas industrias existe una apremiante necesidad de asegurar que el tiempo de entrega necesario para el diseño de un nuevo producto se mantenga al mínimo. En todos los casos, es deseable tratar de evitar los errores y las demoras que ocurren con cierta frecuencia en los procesos convencionales de diseño. La introducción de las computadoras ya ofrece una forma para mejorar la eficiencia del proceso de diseño, y también es, por sí misma, una influencia hacia formas más sistemáticas de trabajo.

3 Métodos de diseño

¿Qué son los métodos de diseño?

En cierto sentido, cualquier forma identificable de trabajar, en el contexto del diseño, puede considerarse como un método de diseño. El método más común puede ser el de "diseñar dibujando". Es decir, la mayoría de los diseñadores dependen extensamente del dibujo como su principal ayuda en el diseño.

Los métodos de diseño son todos y cada uno de los procedimientos, técnicas, ayudas o "herramientas" para diseñar. Representan un número de clases distintas de actividades que el diseñador utiliza y combina en un proceso general de diseño. Aunque algunos de los métodos de diseño pueden ser los procedimientos convencionales y normales de diseño, como el dibujo, en años recientes ha habido un crecimiento sustancial de nuevos procedimientos no convencionales que se agrupan de manera más general bajo el rubro de "métodos de diseño".

La principal intención de estos nuevos métodos es que tratan de introducir procedimientos con un marco lógico en el proceso de diseño. Algunos de estos métodos son por ellos mismos nuevas invenciones, algunos se han adaptado de la investigación de operaciones, la teoría de las decisiones, las ciencias administrativas u otras fuentes, y algunos son simplemente extensiones o formalizaciones de las técnicas informales que siempre han usado los diseñadores. Por ejemplo, los métodos informales de revisar los catálogos de los fabricantes o buscar asesoría con colegas podría formalizarse en un método de "búsqueda de información"; o los procedimientos informales para ahorrar costos mediante el rediseño detallado de un componente pueden formalizarse en un método "de análisis del valor".

Parece que algunos de estos nuevos métodos pueden volverse *excesivamente* formalizados, o pueden ser simplemente nombres llamativos para técnicas antiguas y de sentido común. También puede parecer que son *demasiado* sistemáticos para ser útiles en el mundo confuso y frecuentemente apresurado de la oficina de

diseño. Por estas razones, muchos diseñadores todavía desconfían de la idea general de "métodos de diseño".

Los argumentos en contra de dicho punto de vista se basan en las razones para adoptar los procedimientos sistemáticos que se describieron en el capítulo 2. Por ejemplo, muchos proyectos modernos de diseño son demasiado complejos para resolverse de manera satisfactoria mediante métodos antiguos y convencionales. Con las formas tradicionales de trabajar también se cometen muchos errores y no son muy útiles donde se requiere trabajo en equipo. Los métodos de diseño tratan de superar estas clases de problemas y, sobre todo, de asegurar que se obtenga un mejor producto del nuevo proceso de diseño.

¿Qué clases de métodos de diseño existen?

Se han desarrollado muchos nuevos métodos para ayudar a superar las dificultades de los problemas modernos de diseño. Por ejemplo, el libro de texto *Métodos de Diseño* de Jones contiene la descripción de 35 métodos, incluyendo los siguientes:

Métodos para explorar situaciones de diseño

Método	Objetivo
Planteamiento de objetivos	Identificar condiciones externas con las que el diseño debe ser compatible
Búsqueda en publicaciones	Encontrar información publicada que pueda influir favorablemente en el resultado de los diseñadores y pueda obtenerse sin costos y demoras inaceptables
Búsqueda de inconsistencias visuales	Encontrar guías que lleven a mejoras de diseño
Entrevistas a usuarios	Obtener información que sólo conocen los usuarios del producto o sistema
Cuestionarios	Recopilar información útil con los miembros de una gran población
Investigación del comportamiento del usuario	Explorar los patrones de comportamiento de los usuarios potenciales de un nuevo diseño y predecir sus límites de rendimiento
Registro de datos y reducción de datos	Inferir y hacer visibles los patrones de comportamiento de los cuales dependen algunas decisiones críticas de diseño

Métodos de búsqueda de ideas

Método
Lluvia de ideas

Objetivo

Estimular a un grupo de personas para que presenten muchas ideas rápidamente

Sinéctica

Dirigir la actividad espontánea del cerebro y del sistema nervioso hacia la exploración y transformación de problemas de diseño

Eliminación de bloqueos mentales

Encontrar nuevas direcciones de búsqueda cuando el espacio de búsqueda aparente no ha producido una solución totalmente aceptable

Diagramas morfológicos

Ampliar el área de búsqueda de soluciones a un problema de diseño

Métodos de exploración de la estructura del problema

Método
Matriz de interacciones

Objetivo

Permitir una búsqueda sistemática de conexiones entre los elementos de un problema

Red de interacciones

Exhibir el patrón de conexiones entre los elementos de un problema de diseño

Análisis de áreas de decisión interconectadas (AIDA)

Identificar y evaluar todos los conjuntos compatibles de soluciones secundarias a un problema de diseño

Transformación del sistema

Encontrar formas de transformar un sistema insatisfactorio de manera que se eliminen sus fallas inherentes

Innovación funcional

Encontrar un diseño radicalmente nuevo capaz de crear nuevos patrones de comportamiento y demanda

Método de Alexander para la determinación de componentes

Encontrar los componentes físicos correctos de una estructura física, de tal manera que cada componente pueda alterarse de forma independiente para adaptarse a cambios futuros en el ambiente

Clasificación de la información de diseño

Dividir un problema de diseño en partes manejables

Métodos de evaluación

Método	Objetivo
Listas de verificación	Permitir a los diseñadores utilizar el conocimiento de los requerimientos que se ha encontrado que son relevantes en situaciones similares
Selección de criterios	Decidir cómo se va a reconocer un diseño aceptable
Clasificación y ponderación	Comparar un conjunto de diseños alternativos empleando una escala común de medición
Escritura de especificaciones	Describir un resultado aceptable del diseño que está por hacerse

Como puede verse en la lista, algunos métodos son versiones formales de procedimientos convencionales (por ejemplo, búsqueda en publicaciones, entrevistas a usuarios), algunos son aplicaciones de métodos que se desarrollaron primeramente en otros campos, (el registro de datos que se tomó del área científica; el de lluvia de ideas que se tomó de la publicidad) y algunos son nuevas invenciones (el método de Alexander, AIDA). La lista también muestra que diferentes métodos de diseño tienen diferentes propósitos y son relevantes para diferentes aspectos y etapas del proceso de diseño.

En la lista anterior se incluyen versiones de varios de los métodos que se describen en detalle en este libro en los capítulos 4 al 10: planteamiento de objetivos (árbol de objetivos), diagramas morfológicos, clasificación y ponderación (objetivos ponderados) y escritura de especificaciones (especificación del rendimiento). Otros métodos, que también se describirán en detalle, son el análisis de funciones, el despliegue de la función de calidad y la ingeniería del valor. Algunos de los métodos creativos —lluvia de ideas, sinéctica y eliminación de bloqueos mentales— se describen de manera breve en este capítulo.

Al examinar todos los métodos de la lista anterior, surgen dos características comunes principales. Una es que los métodos de diseño formalizan ciertos procedimientos del diseño; la otra es que los métodos de diseño exteriorizan el pensamiento del diseño. La formalización es una característica común de los métodos de diseño debido a que buscan evitar aspectos omitidos, factores que se pasan por alto en el problema de diseño y las clases de errores que ocurren con los métodos informales. El proceso de formalizar un procedimiento también tiende a ampliar tanto el enfoque que se da a un problema de diseño como la búsqueda de soluciones apropiadas

¿Qué tienen en común los diferentes métodos de diseño?

—estimula y permite pensar más allá de la primera solución que viene a la mente—.

Esto también está relacionado con el otro aspecto general de los métodos de diseño, que se refiere a que exteriorizan el pensamiento del diseño, es decir, tratan de sacar los pensamientos y procesos mentales de la cabeza para ponerlos en gráficas y diagramas, que son una característica común de los métodos de diseño. Esta exteriorización es un auxiliar significativo cuando se manejan problemas complejos, pero también es una parte necesaria del trabajo en equipo, es decir, proporcionar medios a través de los cuales todos los miembros puedan ver lo que está pasando y puedan contribuir en el proceso de diseño. Sacar de la cabeza una gran parte de trabajo sistemático y ponerlo en papel también significa que la mente está más libre para ocuparse de la clase de pensamiento para el que es mejor: el pensamiento imaginativo e intuitivo.

Los métodos de diseño, por lo tanto, *no* son el enemigo de la creatividad, la imaginación y la intuición. Por el contrario: es más probable que conduzcan a soluciones novedosas de diseño que los procedimientos informales, internos y de pensamiento incoherente del proceso de diseño convencional. Algunos métodos de diseño son, en realidad, técnicas específicas para auxiliar al pensamiento creativo. De hecho, el cuerpo general de los métodos de diseño puede clasificarse en dos grandes grupos: métodos creativos y métodos racionales.

Métodos creativos

Existen varios métodos de diseño que ayudan a estimular el pensamiento creativo. En general, tratan de incrementar el flujo de ideas, eliminando los bloqueos mentales que inhiben la creatividad, o ampliando el área en la cual se buscan las soluciones.

Lluvia de ideas

El método creativo más ampliamente conocido es la lluvia de ideas. Es un método para generar un gran número de ideas, la mayoría de las cuales se descartarán posteriormente, pero en donde tal vez se identifiquen unas cuantas ideas novedosas a las cuales vale la pena darles seguimiento. Normalmente se conduce en una sesión de un grupo de cuatro a ocho personas.

Las personas seleccionadas para intervenir en la sesión de lluvia de ideas debe ser diverso. No sólo debe haber expertos o aquéllos que conocen el área del problema, sino que deberá incluir a una amplia gama de talento experto e incluso personas sin conocimientos (laicos o ajenos) siempre y cuando tengan alguna familiaridad con el área del problema. El grupo no debe ser jerárquico, aunque es necesario que una persona asuma el liderazgo organizacional.

La función del líder del grupo en una sesión de lluvia de ideas es que se siga el formato del método y que no degenera en una discusión de mesa redonda. Una tarea previa e importante del líder es formular el planteamiento del problema, que se utilizará como punto de partida. Si el problema se plantea de una manera muy estrecha, entonces las ideas generadas en la sesión pueden ser más bien limitadas. Por otra parte, un planteamiento muy vago del problema conduce igualmente a ideas vagas, que podrían no tener un uso práctico. El problema puede ser formulado de manera útil en forma de pregunta: "¿Cómo podemos mejorar en X?"

En respuesta al planteamiento inicial del problema, se les pide a los miembros del grupo que dediquen algunos minutos a pensar en el problema y que anoten las primeras ideas que les vengan a la mente. Es una buena idea que cada miembro cuente con un paquete de tarjetas de registro en las cuales escribirán sus primeras ideas y las subsecuentes. Las ideas deben escribirse de manera concisa en cada tarjeta.

La siguiente parte de la sesión, y la principal, es que cada miembro del grupo, a su vez, lea en voz alta una idea del conjunto que anotó. La regla más importante es que *no se permiten críticas* de ningún miembro del grupo. Las respuestas usuales a las ideas no convencionales como "eso es muy tonto", o "nunca va a funcionar", matan la espontaneidad y la creatividad. En esta etapa, la factibilidad u otro aspecto de cualquier idea no es importante —la evaluación y la selección vendrán posteriormente—.

Lo que cada miembro del grupo deberá hacer en respuesta a la idea de cada una de las personas es tratar de construir a partir de ella, llevarla una etapa más adelante, utilizarla como estímulo para otras ideas, o combinarla con sus propias ideas. Por esta razón, debe haber una pausa breve después de la lectura de cada tarjeta, para permitir un momento de reflexión y anotar ideas adicionales. Sin embargo, la sesión no debe volverse demasiado formal; la atmósfera debe ser relajada y avanzar libremente. Una sesión de lluvia de ideas también debe ser divertida: el humor es un ingrediente esencial de la creatividad.

Este tipo de sesión debe durar de 20 a 30 minutos aproximadamente, o concluir cuando ya no se presenten nuevas ideas. El líder del grupo, u otro miembro, recopila después todas las tarjetas y dedica un tiempo a evaluar las ideas. Un auxiliar útil para esta evaluación consiste en clasificar las ideas en grupos relacionados; esto, por sí mismo, sugiere ideas adicionales, o indica los tipos principales de ideas que se presentan. Si de una sesión surgen áreas de solución principal y una o dos ideas novedosas, la sesión habrá valido la pena.

La intervención en una sesión de lluvia de ideas es como participar en un juego de una fiesta; y al igual que un juego de este tipo, sólo funciona bien cuando todo mundo se apega a las reglas. De hecho, todos los métodos de diseño funcionan mejor sólo cuando se siguen con cierto rigor, y no de una manera descuidada o indiferente. Las reglas esenciales de la lluvia de ideas son:

No se permiten críticas durante la sesión.
Se busca tener una gran cantidad de ideas.
Las ideas aparentemente locas son bienvenidas.
Todas las ideas deben presentarse en forma breve y vivaz.
Tratar de mejorar y combinar las ideas de los otros.

*Ejemplo:
Cerrojo de
contenedores*

Este ejemplo muestra cómo la lluvia de ideas puede aplicarse a la tarea de crear una nueva solución a un antiguo problema — el cierre seguro de contenedores de mercancías transportados en remolques. La solución convencional es un candado, pero entonces la llave para el candado también tiene que llevarse con el contenedor (lo cual presenta un problema obvio de seguridad) o enviarse de manera separada al consignatario (con la posibilidad de perderse). En la práctica, parece que la mayoría de los candados de contenedores se "abren" con un martillo y cincel porque nadie encuentra la llave!

Se llevó a cabo una breve sesión de lluvia de ideas para encontrar solución a este problema. El problema se planteó como: "Proporcionar un medio para cerrar los contenedores, que sea a prueba de alteración, pero fácil de abrir". A los pocos minutos, se generaron las siguientes ideas:

Incorporar un código electrónico — enviar mediante fax el código al consignatario
Cerradura de combinación
Cerradura de tiempo
Abrazaderas soldadas
Un perno cerrojo que se corte fácilmente para abrirlo
Candados con llaves maestras en poder de los clientes regulares
Engrapadora gigante y quitagrapas gigante
Perno de cerámica que pueda romperse
Perno de vidrio que haga sonar una alarma cuando se rompa
Que el conductor del transporte del remolque se trague la llave
Una cerradura de combinación que pueda ser abierta por una persona capacitada

Algunas de estas ideas son bastante "obvias", pero cuando salen de la cabeza, parece que se libera espacio en la mente para que surjan otras ideas. Otras son ideas "locas", como la que sugiere que el conductor se trague la llave; en tal caso, todo mundo sabría dónde

está la llave, pero se tendría que esperar un par de días antes de que pudiera ser recuperada! (Es otra clase de "cerradura de tiempo", como lo explicó quien lo propuso). En la lista también hay un ejemplo de una idea que se elabora a partir de otra: el "perno de vidrio que hace que suene una alarma cuando se rompe" fue una respuesta a la idea del "perno de cerámica", pero que se basaba también en los botones de alarma contra incendio que se activan al romperse la cubierta de vidrio.

Al revisar esta lista de ideas, vienen a la mente algunos conceptos novedosos, pero quizás lo que más atrae es la simplicidad de adaptar lo que ya es la solución no oficial, pero convencional —un perno que se corte. Podría diseñarse un perno tal para que fuera cortado. Hecho de dos secciones, las partes del perno se colocarían una contra la otra para asegurar al contenedor, y sólo pueda abrirse cortándolo. Una codificación en colores y la numeración de cada perno impediría que se pudiera reemplazar durante el trayecto, y si se cortara para abrirlo, esto sería obvio. Dichos pernos sencillos, pero seguros, serían más baratos que los candados convencionales.

La cerradura desechable "Oneseal" está diseñada con estos principios.

Sinéctica

El pensamiento creativo recurre al pensamiento analógico —la habilidad para ver paralelos o conexiones entre tópicos aparentemente disímiles. Como ya se mencionó, el papel del humor es relevante, ya que la mayoría de los chistes dependen de su efecto sobre la transferencia inesperada o yuxtaposición de conceptos de un contexto a otro, o lo que Koestler denomina la "disociación" de ideas. La disociación desempeña un papel fundamental en la creatividad.

El empleo del pensamiento analógico ha sido formalizado en un método de diseño creativo conocido como "sinéctica". Al igual que la lluvia de ideas, la sinéctica es una actividad en grupo en la que se elimina la crítica, y los miembros del grupo tratan de construir, combinar y desarrollar ideas para una solución creativa del problema propuesto. La sinéctica es diferente de la lluvia de ideas en que el grupo trata de encontrar conjuntamente una solución particular, en vez de generar un gran número de ideas. Una sesión de sinéctica es mucho más larga que una de lluvia de ideas y exige mucho más. En una sesión de sinéctica, se motiva al grupo para que emplee tipos particulares de analogías, como sigue:

Analogías directas. Éstas generalmente se encuentran buscando la solución dada por la naturaleza a un problema similar. Por ejemplo, la observación de Brunel del gusano conocido como tiñuela, que forma un tubo cuando perfora la madera, se dice que lo llevó a la idea de un cajón neumático para construcciones bajo el agua; el cierre "Velcro" se diseñó por analogía con los abrojos.

Analogías personales. Los miembros del equipo se imaginan lo que sería utilizarse a uno mismo como el sistema o componente que está siendo diseñado. Por ejemplo, qué se sentiría ser una unidad de suspensión de un automóvil; ¿cómo operaría yo si fuera un sistema de archivo computarizado?

Analogías simbólicas. En este caso, se emplean metáforas y símiles poéticos para relacionar aspectos de una cosa con aspectos de otra. Por ejemplo, la "amabilidad" de una computadora, la "cabeza" y "uñas" de un martillo, un "árbol" de objetivos, el "patrón de estilo griego" de la distribución de un conjunto habitacional.

Analogías con fantasías. Éstos son deseos "imposibles" de cosas que se obtendrían de forma "mágica". Por ejemplo: "Lo que realmente deseamos es un portero que reconozca a cada usuario del sistema"; "Necesitamos que los topes en el camino desaparezcan debajo de las ruedas".

Una sesión de sinéctica comienza con "el problema como se da" —el planteamiento del problema tal como lo presenta el cliente o la gerencia de la compañía—. A continuación se buscan analogías que ayuden a "hacer familiar lo extraño", es decir, expresar el problema en términos de alguna analogía más familiar (pero quizás más distante). Esto conduce a una conceptualización de "el problema como se entiende" —el factor o elementos claves del problema que necesita resolverse, o quizás una reformulación completa del problema—. El problema como se entiende se emplea nuevamente para guiar el uso de analogías, pero esta vez para "hacer extraño lo familiar". Se buscan analogías inusuales y creativas, que puedan conducir a conceptos novedosos de solución. El grupo utiliza las analogías para abrir líneas de desarrollo y buscar alcanzarlas con tanto empeño y tan imaginativamente como sea posible.

Ejemplo: Montacargas

Un equipo de diseño que buscaba nuevas versiones de montacargas de una compañía se concentró en el área del problema que representaba emplear dichos vehículos en almacenes para el apilado y traslado de artículos en tarimas. Los montacargas convencionales tienen que estar de frente a las pilas para que coloquen y levanten las tarimas, y luego maniobrar nuevamente en el pasillo entre las pilas a fin de moverse a otra ubicación o salir del almacén. Esto significa que los pasillos deben ser bastante amplios, lo cual consume espacio de almacenamiento.

Este ejemplo muestra cómo el pensamiento en sinéctica puede utilizarse en el enfoque del problema. Se utilizan analogías directas para "hacer familiar lo extraño", es decir, familiarizar al equipo con el nuevo problema. Por ejemplo, se podrían explorar analogías del movimiento de las víboras, haciendo que el "problema como se entiende" se convierta en la necesidad de un camión que tuerza sinuosamente en su maniobra. Para "hacer extraño lo familiar" el

equipo podría utilizar analogías personales y de fantasía del tipo: "Si yo estuviera sosteniendo la tarima en mis brazos extendidos, yendo a lo largo del pasillo, me gustaría poder girar el tronco 90 grados, sin mover los pies, para colocar la tarima en la pila". Las analogías simbólicas de torretas giratorias y esqueletos articulados condujeron finalmente a un nuevo concepto de diseño de un vehículo articulado con horquillas montadas en una sección frontal que giraba 90 grados.

El montacargas "Benditruck" se diseñó con estos principios.

Una forma común de bloqueo mental en el pensamiento creativo es suponer límites estrechos dentro de los cuales se busca la solución. Muchas técnicas creativas son ayudas para agrandar el "espacio de búsqueda".

Transformación Una de estas técnicas intenta "transformar" la búsqueda de una solución de una área a otra. Esto implica aplicar verbos que transformen el problema de alguna forma, tal como

magnificar, minimizar, modificar, unificar, someter, restar, sumar, dividir, multiplicar, repetir, reemplazar, relajar, resolver, engrosar, suavizar, endurecer, hacer áspero, aplanar, girar, reordenar, invertir, combinar, separar, sustituir, eliminar.

Entrada aleatoria La creatividad puede ser liberada mediante entradas aleatorias provenientes de cualquier tipo de fuente; esto se aplica como una técnica deliberada. Por ejemplo, abrir un diccionario u otro libro y seleccionar una palabra al azar y utilizarla para estimular el pensamiento sobre el problema en cuestión, o encender un aparato de televisión y utilizar la primera imagen como estímulo de entrada aleatoria.

¿Por qué ...? ¿Por qué ...? ¿Por qué ...? Otra forma de extender el espacio de búsqueda consiste en hacer una serie de preguntas "¿por qué?" acerca del problema, tal como "¿por qué es necesario este dispositivo?", "¿por qué no puede eliminarse?", etc. Cada respuesta va seguida, como sucede con un niño persistente, de otro "¿por qué?" hasta que se llega a un punto final o cuando una respuesta inesperada genera una idea de una solución. Puede haber varias respuestas a cualquiera de los cuestionamientos "¿por qué ...?" y éstas pueden diagramarse como una red de cadenas de pregunta y respuesta.

Planeación contraria Este método se basa en el concepto de la dialéctica, es decir, enfrentar una idea (la tesis) contra su opuesto (la antítesis) a fin de generar una nueva idea (la síntesis). Se puede utilizar para desafiar una solución convencional a un problema, proponiendo su opuesto deliberado, y buscando una conciliación o punto medio. De manera alternativa, se pueden generar en forma

Agrandar el espacio de búsqueda

deliberada dos soluciones completamente diferentes con la intención de combinar las mejores características de cada una en una nueva síntesis.

El proceso creativo

Los métodos anteriores son algunas técnicas que han resultado ser útiles cuando es necesario que un diseñador o un equipo de diseño "enciendan" su pensamiento creativo. Sin embargo, las ideas creativas y originales también ocurren de una manera espontánea, sin el empleo de ningún auxiliar para el pensamiento creativo. Por lo tanto, ¿existe un proceso más general de pensamiento creativo que pueda desarrollarse?

Los psicólogos han estudiado varios casos de pensamiento creativo proveniente de una amplia gama de científicos, artistas y diseñadores. De hecho, como la mayoría de la gente también lo ha experimentado, los individuos altamente creativos generalmente dicen que experimentan una idea creativa muy repentina, la cual sugiere una solución al problema sobre el cual han estado trabajando. Existe una repentina "iluminación" —como el foco que se prende en la caricaturas para sugerir que el personaje está teniendo una idea brillante—.

La experiencia creativa que hace exclamar "¡ajá!", con frecuencia ocurre cuando el individuo no la está esperando y después de un período en el que ha estado pensando en alguna otra cosa. Esto se parece mucho al fenómeno común de recordar repentinamente un nombre o una palabra que no podía recordarse cuando se deseaba.

Sin embargo, la iluminación repentina de una idea brillante generalmente no ocurre sin una buena cantidad de trabajo previo sobre un problema. La iluminación o la idea clave también es generalmente sólo el germen de una idea que necesita de mayor trabajo adicional para poder convertirla en una solución adecuada y completa al problema.

En el pensamiento creativo se presentan con bastante frecuencia clases similares de secuencia de pensamiento, por lo que los psicólogos sugieren que en éste existe un patrón general. Este patrón general es la secuencia: Reconocimiento—Preparación—Incubación—Iluminación—Verificación.

Reconocimiento es el primer paso que se da para aceptar que existe "un problema".

Preparación es la aplicación de un esfuerzo deliberado para entender el problema.

Incubación es un período durante el cual se le deja "rumiar" en la mente, permitiendo que empiece a trabajar el subconsciente.

Iluminación es la percepción (casi siempre repentina) o la formulación de la idea clave.

Verificación es el difícil trabajo de desarrollar y probar la idea.

Éste es esencialmente un proceso de trabajo—relajamiento—trabajo, en el que (si uno tiene suerte) la idea creativa ocurre en un período de relajamiento. El difícil trabajo de preparación y verificación es esencial. Al igual que la mayoría de las actividades creativas, el diseño creativo es 1% inspiración y 99% transpiración!

Métodos con marco de referencia lógico

Los métodos con marco de referencia lógico que motivan a un enfoque sistemático en el diseño se conocen comúnmente como “métodos de diseño”, a diferencia de las técnicas creativas. No obstante, estos métodos tienen objetivos similares a los de los métodos creativos, como ampliar el espacio de búsqueda de soluciones potenciales o facilitar el trabajo en equipo y la toma de decisiones en grupo. En consecuencia, no es necesariamente cierto que dichos métodos sean en cierta forma algo totalmente opuesto a los métodos creativos.

Muchos diseñadores ven con sospecha a estos métodos, temiendo que sean una “camisa de fuerza” o que asfixien la creatividad. Éste es un malentendido de la intención del diseño sistemático, el cual pretende mejorar la calidad de las decisiones de diseño y, en consecuencia, del producto final. Los métodos creativos y los métodos con marco de referencia lógico son aspectos complementarios de un enfoque sistemático hacia el diseño. Más que una “camisa de fuerza”, es un “chaleco salvavidas” que le ayuda al diseñador a mantenerse a flote.

Tal vez el tipo más sencillo de método con marco de referencia lógico es la lista de verificación. Todo mundo utiliza este método en la vida diaria —por ejemplo, en la forma de una lista de compras, o una lista de las cosas que uno debe recordar hacer—. La lista *exterioriza* lo que se tiene que hacer, de manera que no sea necesario recordar todo mentalmente y para que no se pase por alto alguna cosa. La lista *formaliza* el proceso haciendo un registro de puntos, los cuales pueden tacharse a medida que se recopilan o se logran, hasta que todo esté completo. Las listas también permiten el trabajo en equipo o la participación de un grupo más amplio; por ejemplo, toda la familia puede hacer sugerencias para la lista de compras. También permiten la subdivisión de la tarea (es decir, mejorar la eficiencia del proceso), como la asignación de distintas secciones de la lista a diferentes miembros del equipo. En estos sentidos, la lista

es un modelo para la mayoría de los métodos de diseño con marco de referencia lógico. En términos de diseño, una lista de verificación puede ser una lista de preguntas que deben hacerse en las primeras etapas del diseño, una lista de características que deben incorporarse en el diseño, o una lista de criterios, normas, etc., que debe satisfacer el diseño final.

Existe una amplia gama de este tipo de métodos de diseño, como se mostró en la larga lista anterior, que cubre todos los aspectos del proceso de diseño, desde la clarificación del problema hasta el diseño de detalles. Los siguientes siete capítulos presentan una selección de los métodos más relevantes y más ampliamente utilizados, cubriendo también todo el proceso de diseño. El conjunto seleccionado es el siguiente:

Etapa en el proceso de diseño	Método pertinente para esta etapa
Clarificación de objetivos	Árbol de objetivos Finalidad: Clarificar los objetivos de diseño y los subobjetivos, así como las relaciones entre ellos.
Establecimiento de funciones	Análisis de funciones Finalidad: Establecer las funciones requeridas y los límites del sistema de un nuevo diseño.
Fijación de requerimientos	Especificación del rendimiento Finalidad: Hacer una especificación exacta del rendimiento requerido en una solución de diseño.
Determinación de características	Despliegue de la función de calidad Finalidad: Fijar las metas a alcanzar de las características de ingeniería de un producto, de manera que satisfagan los requerimientos del cliente.
Generación de alternativas	Diagrama morfológico Finalidad: Generar la gama completa de soluciones alternativas de diseño de un producto y, por lo tanto, ampliar la búsqueda de nuevas soluciones potenciales.

Etapa en el proceso de diseño

Evaluación de alternativas

Mejora de detalles

Método pertinente para esta etapa

Objetivos ponderados

Finalidad:

Comparar los valores de utilidad de las propuestas alternativas de diseño, con base en la comparación del rendimiento contra los objetivos diferencialmente ponderados.

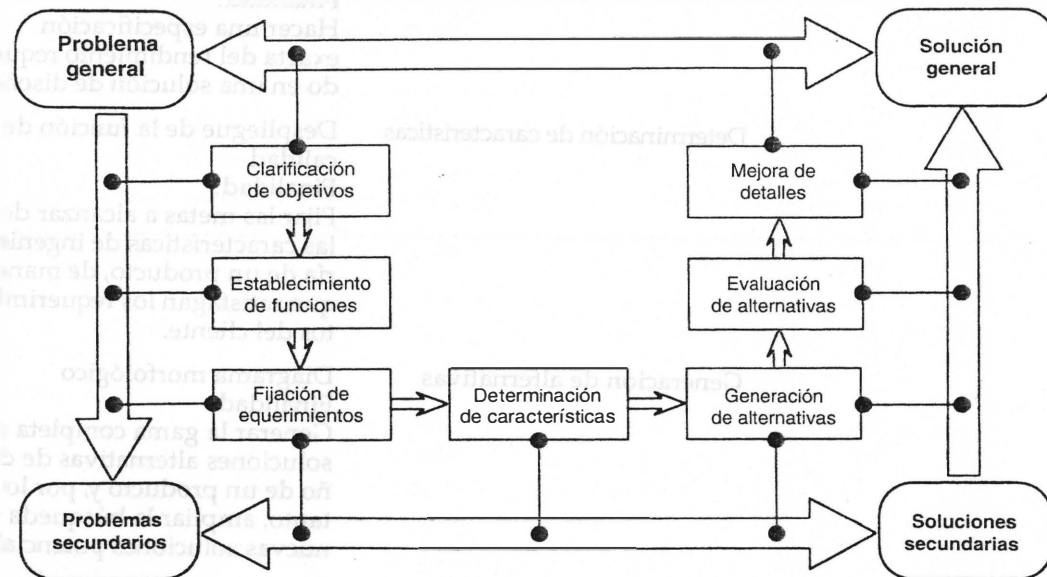
Ingeniería del valor

Finalidad:

Aumentar o mantener el valor de un producto para su comprador, reduciendo al mismo tiempo el costo para su productor.

Como se verá posteriormente en el capítulo 11, no debe suponerse que estas siete etapas del diseño, y sus métodos de diseño adjuntos, constituyen un proceso invariable para el diseño. Sin embargo, la figura 19 sugiere cómo se relacionan una con otra y cómo se relacionan con el modelo simétrico de problema y solución que se desarrolló en el capítulo 2. Por ejemplo, la clarificación de objetivos (que utiliza el método del árbol de objetivos) es apropiada tanto para comprender la relación entre el problema y su solución así como para pasar del problema general a los problemas secundarios.

Figura 19
Siete etapas del proceso de diseño colocadas dentro del modelo simétrico de problema/solución



Este modelo de diseño integra los aspectos de procedimiento del diseño con los aspectos estructurales de los problemas de diseño. Los aspectos de procedimiento se representan mediante la secuencia de métodos (en el sentido contrario a las manecillas del reloj, partiendo de la parte superior izquierda) y los aspectos estructurales se representan mediante las flechas que muestran la relación conmutativa entre el problema y la solución y las relaciones jerárquicas entre el problema y los problemas secundarios, así como entre las soluciones secundarias y la solución.

En los siguientes siete capítulos, cada uno de los siete métodos incluidos en el modelo se presentarán bajo la forma de un procedimiento paso a paso, seguido por varios ejemplos breves y prácticos, así como un ejemplo con desarrollo más completo. Los ejemplos muestran que estos métodos se adaptan para adecuarse a los requerimientos particulares de la tarea en cuestión. Aunque es importante no seguir ningún método en una forma rutinaria y de poca imaginación, también es importante que se haga el esfuerzo de seguir con rigor los principios del método. No pueden esperarse resultados positivos de intentos descuidados o negligentes en la aplicación del método.

4 Clarificación de objetivos

Cuando un cliente, un patrocinador o un gerente de una compañía se acerca por primera vez a un diseñador para exponer la necesidad de contar con un producto, es poco probable que tal necesidad sea expresada con toda claridad. El cliente quizás sólo conoce el tipo de producto que desea y tiene muy poca idea de los detalles, o de las variantes que podrían ser posibles. O bien, la descripción de la necesidad podría ser aún más vaga: simplemente un "problema" que necesita una solución.

Por lo tanto, el punto inicial de un diseño es casi siempre un problema mal definido, o un requerimiento relativamente vago. Sería bastante raro que a un diseñador se le hiciera un planteamiento completo y claro de lo que debe satisfacer el objeto a diseñar.

En consecuencia, un importante primer paso en el diseño es tratar de clarificar los objetivos del diseño. De hecho, en todas las etapas es muy útil buscar alcanzar un fin. Dicho fin es el conjunto de objetivos que la pieza diseñada debe satisfacer, aun cuando dichos objetivos puedan cambiar a medida que avanza el trabajo de diseño. Los objetivos iniciales e intermedios pueden cambiar, expandirse o contraerse, o verse alterados completamente a medida que el problema se entiende mejor y se desarrollan ideas de solución.

Así, es muy probable que tanto los "fines" como los "medios" cambien durante el proceso de diseño. Sin embargo, como un auxiliar para controlar y manejar el proceso de diseño, es importante tener en todo momento un planteamiento de objetivos tan claro como sea posible. Este planteamiento deberá estar en una forma que se entienda fácilmente y acorde con lo que pretende lograr el cliente y el diseñador, o los diversos miembros del equipo de diseño. (¡Es sorprendente la frecuencia con la que ocurre que miembros de un mismo equipo tengan objetivos diferentes!).

El método del *árbol de objetivos* ofrece un formato claro y útil para el planteamiento. Muestra los objetivos y los medios generales para

alcanzarlos; mediante un diagrama las formas se puede ver que los diferentes objetivos se relacionan entre ellos, con el patrón jerárquico de los objetivos y con los objetivos secundarios. El procedimiento para llegar a un árbol de objetivos ayuda a clarificar los objetivos y a que se llegue a un acuerdo entre el cliente, el gerente y los miembros del equipo de diseño.

El método del árbol de objetivos

Procedimiento

Preparar una lista de los objetivos de diseño

Se dice muy apropiadamente que el "planteamiento" de un problema de diseño siempre se hace con el mínimo de palabras. Tal brevedad puede deberse a que el cliente no está muy seguro de lo que desea, o a que supone que el diseñador entiende perfectamente lo que se desea. Otra posible razón es que el cliente desee dar al diseñador tanta libertad como sea posible. Esto podría sonar como una clara ventaja para el diseñador, pero puede dar lugar a una gran frustración cuando el cliente decide que la propuesta del diseño final (definitivamente *no* es lo que se quería! En todos los casos, casi con seguridad, el diseñador necesita transformar el planteamiento inicial en un planteamiento claro de objetivos de diseño.

Los objetivos de diseño también se denominan requerimientos del cliente, necesidades del usuario o propósito del producto. Cualquiera que sea el nombre que se les dé, son la mezcla de fines abstractos y concretos que el diseño debe tratar de satisfacer o alcanzar.

Algunos objetivos del diseño están contenidos dentro del planteamiento del diseño; otros deben obtenerse mediante una consulta con el cliente, o mediante una reunión con el equipo de diseño. Normalmente, el planteamiento inicial de los objetivos es breve y relativamente vago, como "el producto debe ser seguro y confiable". Para presentar objetivos más precisos, se necesita ampliar y clarificar dicho planteamiento.

Una forma de comenzar a cambiar un planteamiento vago en uno más específico es, literalmente, tratar de *especificar* lo que significa. Se debe preguntar: ¿Qué se quiere dar a entender con dicho planteamiento? Por ejemplo, el objetivo de que una máquina-herramienta debe ser "segura", podría ampliarse para que significara:

1. Bajo riesgo de lesión al operador
2. Bajo riesgo de errores del operador
3. Bajo riesgo de daño a la pieza de trabajo o a la herramienta
4. Corte automático de la operación en caso de una sobrecarga

Esta clase de lista se puede generar simplemente al azar a medida que se piensa en el objetivo, o en un intercambio de ideas del equipo de diseño. Al cliente quizás también se le deba pedir que sea más específico acerca de los objetivos incluidos en el planteamiento del diseño.

Las preguntas que son útiles para ampliar y clarificar los objetivos son del tipo sencillo: "¿Por qué?", "¿cómo" y "¿qué?". Por ejemplo: "¿Por qué queremos alcanzar este objetivo?", "¿cómo lo alcanzaremos?" y "¿qué objetivos implícitos están detrás de los que se han planteado?" o "¿cuál es realmente el problema?".

Ordenar la lista en conjuntos de objetivos de nivel superior y de nivel inferior

A medida que se amplía la lista de objetivos, deberá quedar claro que algunos se encuentran a mayores niveles de importancia que otros. También pueden surgir objetivos secundarios para satisfacer objetivos de mayor nivel, y algunos de los planteamientos serán medios para alcanzar ciertos objetivos. Esto se debe a que algunas de las preguntas que se hacen acerca de los objetivos generales implican una relación "medios/ fin", es decir, un objetivo de menor nivel es un medio para alcanzar uno de mayor nivel.

Un ejemplo es el planteamiento de "corte automático de la operación en caso de una sobrecarga" de la lista anterior. Éste no es realmente un objetivo en sí mismo, sino un medio para lograr un objetivo —en este caso, el objetivo de "bajo riesgo de daño a la pieza de trabajo o a la herramienta" —. A su vez, este objetivo de "bajo riesgo de daño" es en sí mismo un objetivo de menor nivel con respecto al objetivo general de "seguridad".

Por lo tanto, la lista ampliada de objetivos inevitablemente contendrá planteamientos en varios niveles de especificación. A fin de clarificar los diversos niveles que están surgiendo, se vuelve a escribir la lista general de objetivos agrupados en conjuntos ordenados. Es decir, conjuntos de objetivos, cada uno relacionado con un objetivo de mayor nivel. Por ejemplo, un conjunto podría tener que ver con la "seguridad", otro con la "confiabilidad", etc. Dentro de cada conjunto, se cuenta con una lista de los objetivos secundarios en orden jerárquico, de tal manera que los de menor nivel estén claramente separados como medios para alcanzar aquéllos de mayor nivel. De esta forma, por ejemplo, la lista de "seguridad" podría quedar de la siguiente manera:

La máquina debe ser segura

Bajo riesgo de lesión al operador
Bajo riesgo de errores del operador
Bajo riesgo de daño a la pieza de trabajo o a la herramienta

Corte automático de la operación en caso de una sobrecarga

La lista está ahora ordenada en tres niveles jerárquicos. Habrá ocasiones en las que puede ser difícil diferenciar entre los niveles de objetivos, o bien, las diferentes personas en el equipo de diseño podrían no estar de acuerdo acerca de los niveles relativos de importancia de algunos objetivos. Sin embargo, no es importante la precisión exacta de los niveles relativos, además de que sólo se desea tener unos cuantos niveles, en los que la mayoría de las personas puedan estar de acuerdo. En la lista anterior, por ejemplo, "bajo riesgo de daño" podría ser considerado más importante que "bajo riesgo de errores", aunque todos los tres objetivos de "bajo riesgo" bien pueden agruparse en aproximadamente el mismo nivel.

El aspecto valioso de esta clasificación burda en niveles es que motivan a pensar con mayor claridad acerca de los objetivos y acerca de las relaciones entre los medios y los fines. A notar las listas por niveles jerárquicos, probablemente también signifique continuar ampliándolos, a medida que se piense en medios adicionales para los objetivos secundarios que vengan a satisfacer objetivos primarios, etc.

Una vez que se tiene una buena cantidad de planteamientos de objetivos, es más fácil clasificarlos en conjuntos ordenados si cada planteamiento está escrito en una hoja de papel separada o en una pequeña tarjeta. De esta forma se pueden distribuir más fácilmente en grupos y niveles.

Dibujar el diagrama de un árbol de objetivos que muestre las relaciones jerárquicas y las interconexiones

A medida que se anotan y distribuyen las listas, probablemente se vea que algunos de los objetivos secundarios se relacionan con más de un objetivo de mayor nivel, o son los medios para alcanzarlo. Por ejemplo, el objetivo secundario de "bajo riesgo de daño a la pieza de trabajo o a la herramienta" podría no sólo ser un medio para lograr la seguridad, sino también un medio para lograr confiabilidad.

De esta forma, un diagrama de las relaciones jerárquicas de estos objetivos primarios y secundarios se vería como el de la figura 20. Este diagrama es el comienzo de un "árbol" que muestra el patrón completo de relaciones e interconexiones. No es necesariamente una estructura sencilla de "árbol" de ramas, ramitas y hojas, ya que algunas de las interconexiones forman ciclos o rejillas. También el "árbol se dibuja" al revés, es decir, generalmente tiene mayores

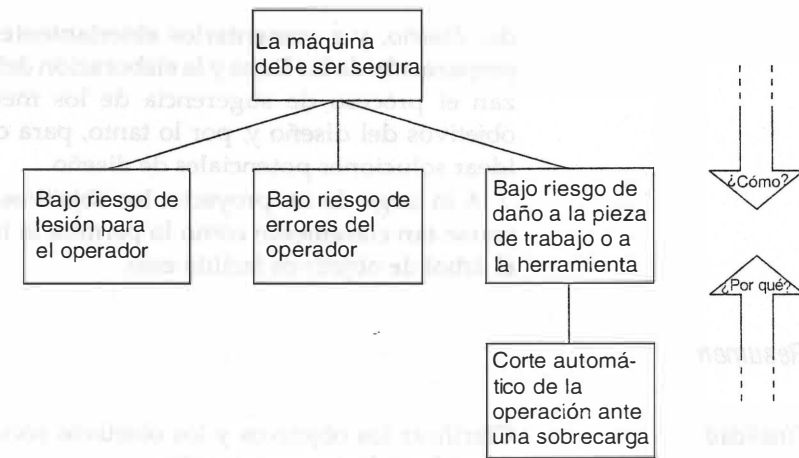


Figura 20
Diagrama jerárquico de relaciones

"ramas" en los niveles inferiores, por lo que sería mejor pensar en los objetivos secundarios como "raíces" más que como "ramas".

En ocasiones resulta más conveniente dibujar el "árbol" de lado; es decir, con las ramas o raíces extendiéndose horizontalmente. A fin de organizar con más facilidad las relaciones e interconexiones entre los objetivos principales y los objetivos secundarios, se dibuja un diagrama completo de "árbol", basado en los conjuntos ordenados de objetivos. Cada eslabón conector que se dibuja indica que un objetivo de nivel inferior es un medio para alcanzar el objetivo de mayor nivel con el cual está conectado. Por lo tanto, trabajando hacia abajo, un eslabón indica cómo podría alcanzarse un objetivo de mayor nivel; trabajando *hacia arriba*, un eslabón indica *por qué* se incluye un objetivo de nivel inferior.

Diferentes personas pueden dibujar diferentes árboles de objetivos para el mismo problema, o incluso a partir del mismo conjunto de planteamientos de objetivos. Este diagrama de árbol simplemente representa una percepción de la estructura del problema. El diagrama de árbol ayuda a agudizar y mejorar la propia percepción del problema, o a que un equipo de trabajo alcance un consenso sobre los objetivos. También es solamente un arreglo temporal, que probablemente cambiará a medida que avance el proceso de diseño.

Igual que en muchos otros métodos de diseño, el producto final del método (en este caso, el diagrama de árbol) no es tanto en sí mismo lo que tiene mayor valor, sino el proceso de trabajo a través del método. El método del árbol de objetivos obliga a hacer preguntas acerca de los objetivos, como "¿Qué quiere decir el cliente con esto?". Tales cuestiones ayudan a hacer más explícitos los objetivos

del diseño, y a presentarlos abiertamente para su discusión. La preparación de las listas y la elaboración del árbol también comienzan el proceso de sugerencia de los medios para alcanzar los objetivos del diseño y, por lo tanto, para comenzar el proceso de idear soluciones potenciales de diseño.

A lo largo de un proyecto, los objetivos de diseño deben plantearse tan claramente como lo permita la información disponible; el árbol de objetivos facilita esto.

Resumen

Finalidad

Clarificar los objetivos y los objetivos secundarios del diseño, así como las relaciones entre ellos.

Procedimiento

1. Preparar una lista de objetivos de diseño. Éstos se toman del planteamiento del diseño, a partir de preguntas al cliente y de una reunión con el equipo de diseño.
2. Ordenar la lista en conjuntos de objetivos de mayor y menor nivel. Los objetivos principales y los objetivos secundarios de la lista ampliada se agrupan aproximadamente en niveles jerárquicos.
3. Dibujar un diagrama del árbol de objetivos que muestre las relaciones jerárquicas e interconexiones. Las ramas (o raíces) del árbol representan las relaciones que sugieren medios para alcanzar objetivos.

Ejemplos

Ejemplo 1: Sistema de transporte urbano

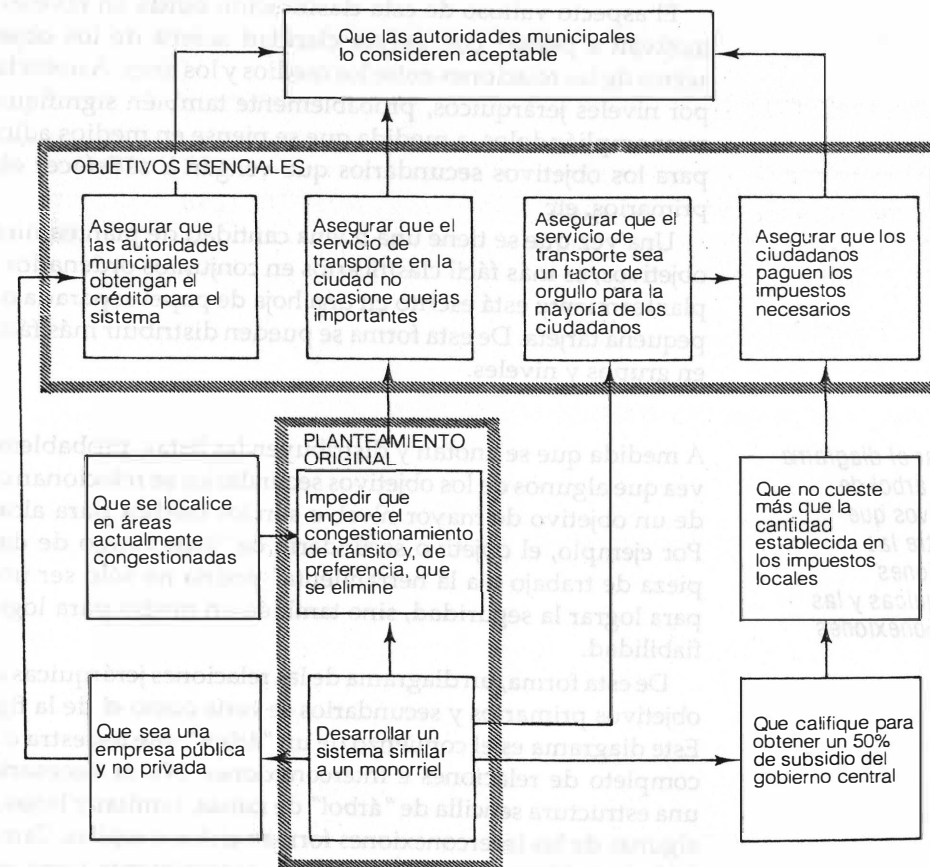
Éste es un ejemplo de ampliación y clarificación de objetivos de diseño a partir de un planteamiento inicialmente vago. Una autoridad a cargo de la planeación urbana solicitó a un equipo de diseño que presentara propuestas para "un sistema moderno, como un monorriel, que pudiera evitar que el congestionamiento de tránsito en la ciudad empeorara y, de preferencia, lo eliminara completamente".

El único objetivo claro en este planteamiento es "evitar que el congestionamiento de tránsito empeorara". Pero, ¿cuáles son los objetivos implícitos en el deseo de "un sistema moderno, como un monorriel"? El congestionamiento de tránsito podría mantenerse a su mismo nivel o reducirse con otros medios.

Al cuestionar a los clientes, el equipo de diseño descubrió otros objetivos, como el deseo de generar prestigio para la ciudad y reflejar una imagen progresista de las autoridades municipales. También se tenía simplemente el deseo de reducir las quejas de los ciudadanos con respecto al sistema de transporte existente. Asimismo, se descubrió que sólo ciertos tipos de nuevos sistemas calificaban para obtener subsidio del gobierno central.

El equipo de diseño pudo así elaborar un conjunto de objetivos, ampliado y ordenado jerárquicamente, como se muestra en la figura 21. En particular, identificaron varios "objetivos esenciales" de alto nivel que no se indicaron explícitamente en el planteamiento original. Mediante la identificación de estos objetivos, los diseñadores clarificaron el proyecto y las limitaciones que podría haber en la gama de soluciones alternativas. (Fuente: Jones)

Figura 21
Conjunto ampliado de objetivos para un nuevo sistema de transporte urbano



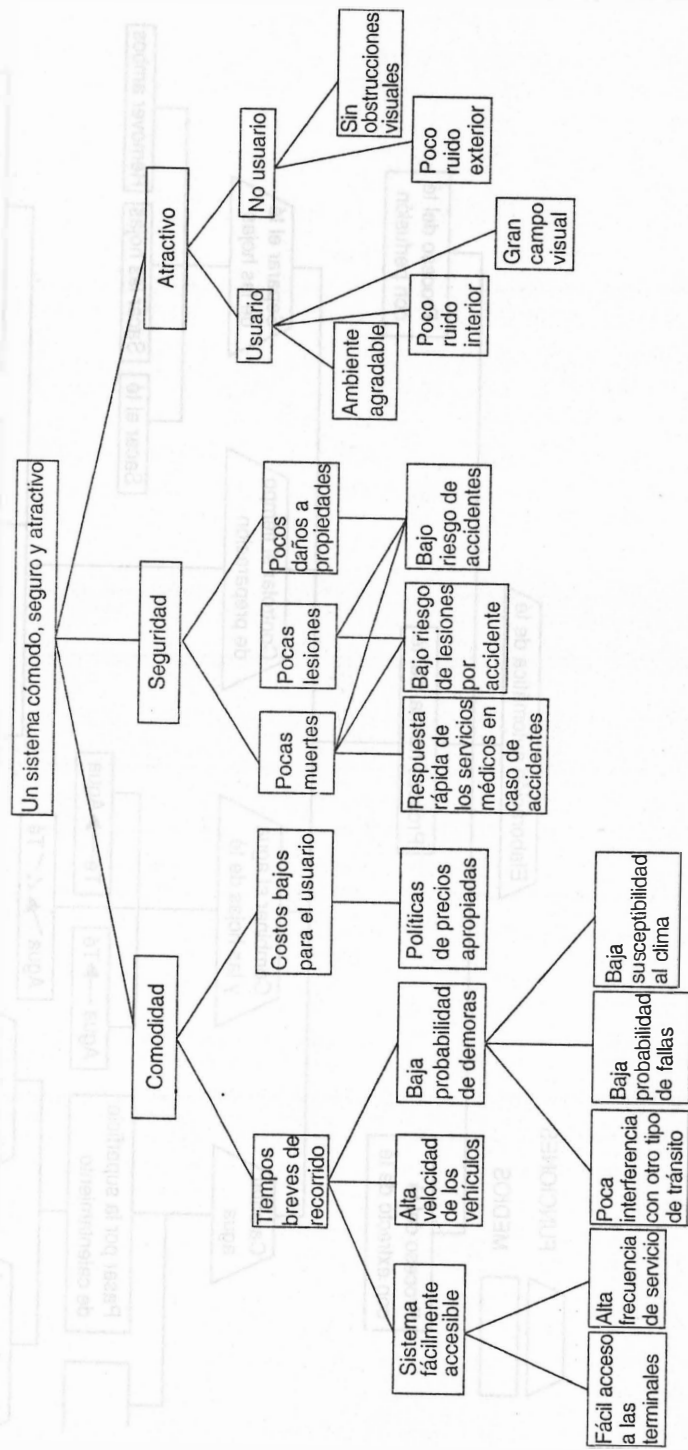


Figura 22 Árbol de objetivos para un nuevo sistema de transporte "cómodo, seguro y atractivo"

Ejemplo 2: Sistema regional de transporte

Otro ejemplo de un diseño de transporte para un sistema regional más grande se muestra en la siguiente página. Los diseñadores partieron de una definición vaga de los clientes de "un sistema cómodo, seguro y atractivo", y ampliaron cada objetivo a su vez.

Por ejemplo, la "comodidad" se definió en términos de "tiempos breves de trayecto" y "costos bajos" para los usuarios. Este objetivo puede satisfacerse mediante políticas adecuadas de fijación de precios; los tiempos breves de trayecto se logran mediante una diversidad de objetivos secundarios, como se muestra del lado izquierdo del árbol de objetivos en la figura 22.

Se definieron dos aspectos del objetivo "atractivo": aspectos relacionados con los usuarios y aspectos no relacionados con ellos. El aspecto relacionado con los usuarios se subdividió en ambiente agradable, campo visual y ruido interior, en tanto que los aspectos no relacionados con los usuarios fueron el ruido exterior y la obstrucción visual.

El objetivo de "seguridad" se definió de manera que incluyera fallecimientos, lesiones y daños a propiedades. Los objetivos secundarios para éstos muestran cómo los primeros pueden contribuir a más de un objetivo de nivel superior. Un objetivo de "bajo riesgo de accidentes" contribuye a alcanzar los tres objetivos de nivel superior. Si ocurren accidentes, un objetivo "de bajo riesgo de lesión por accidente" puede contribuir a mantener bajas tanto las lesiones como las muertes.

Ejemplo 3: Dispositivo de prueba de cargas por impulsos

El siguiente ejemplo se refiere a la aplicación del método del árbol de objetivos en el diseño de ingeniería. El problema era diseñar una máquina para probar conexiones de ejes mecánicos sometidos a cargas por impulsos.

Como ya se mencionó, un requerimiento vago típico de un "dispositivo de prueba confiable y sencillo" puede ampliarse a un conjunto mucho más detallado de objetivos (figura 23). La "confiabilidad" se amplía a "operación confiable" y "seguridad elevada". El objetivo "sencillo" se amplía a "producción sencilla" y "buenas características de operación"; éste último se define aún más como "facilidad de mantenimiento" y "facilidad de manejo", etc.

En un caso como éste, los primeros intentos de ampliación de la lista de objetivos probablemente producirán planteamientos en todos los niveles de generalidad. Por ejemplo, la pregunta "¿qué se quiere dar a entender por 'sencillo?'", probablemente producirá planteamientos al azar como "facilidad de mantenimiento", "reducido número de componentes", "ensamble sencillo", etc. Al colocarlos en una estructura jerárquica de árbol, se muestra la forma en

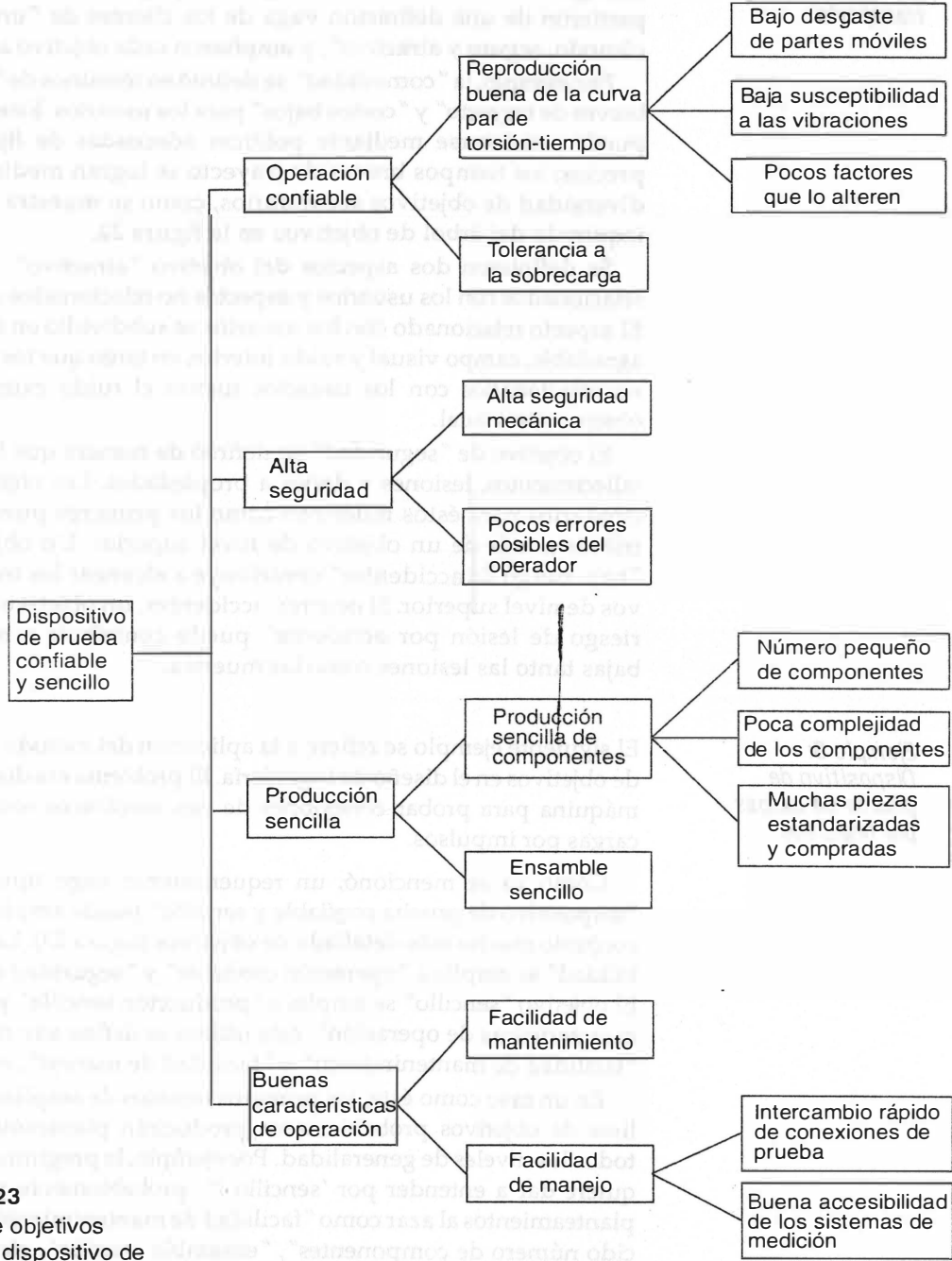


Figura 23
Árbol de objetivos para un dispositivo de prueba de cargas por impulsos

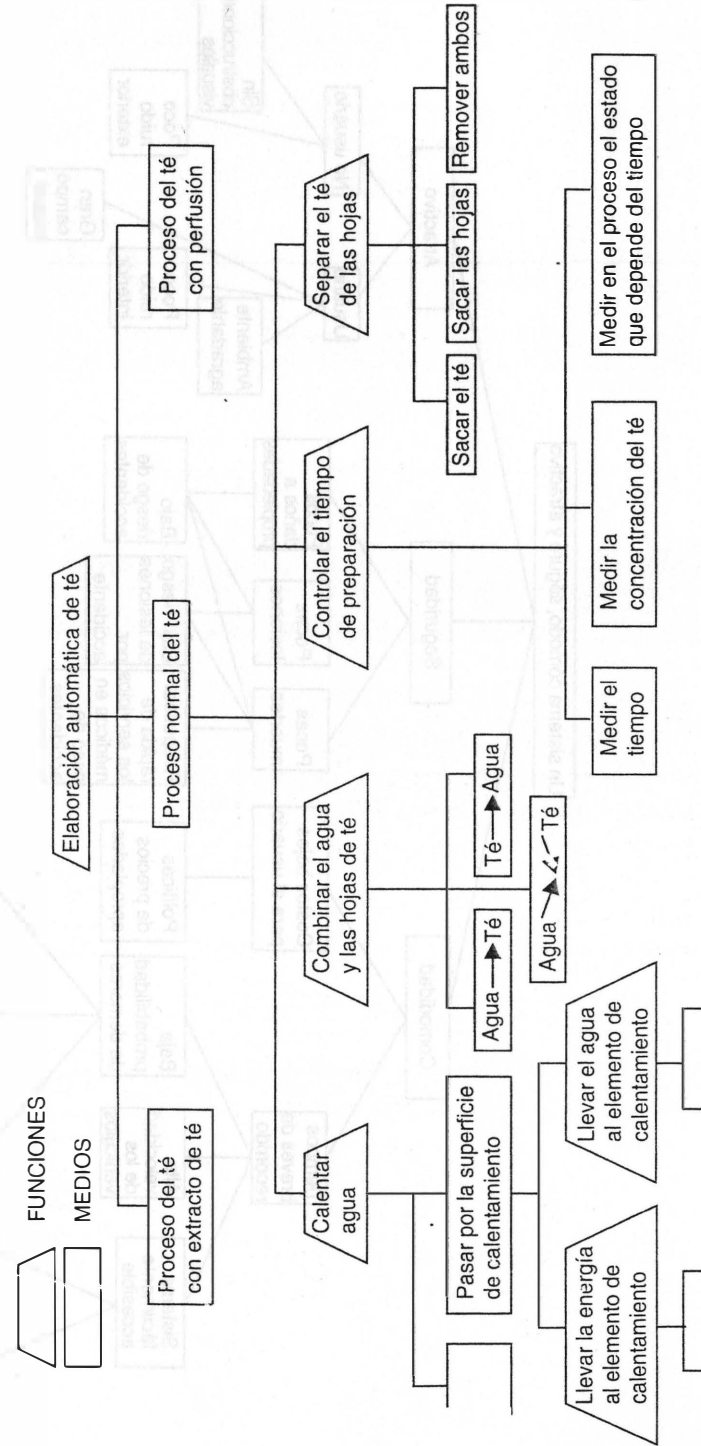


Figura 24 Árbol de funciones y medios para una tetera automática

que se relacionan todos y cada uno de los objetivos. (Fuente: Pahl y Beitz).

Ejemplo 4: Tetera automática

El método del árbol de objetivos también puede utilizarse en el diseño de un producto relativamente sencillo como el de una tetera automática. En este ejemplo se hace una distinción entre "funciones" y "medios". Cada "función" es un objetivo que puede alcanzarse mediante un número de diferentes "medios" u objetivos secundarios. Por lo tanto, la función "combinar el agua y las hojas de té" podría alcanzarse agregando el agua al té, agregando el té al agua, o colocando ambos en un recipiente (figura 24).

Ésta es una variante del árbol de objetivos descrito anteriormente y que se demostró en los otros ejemplos; bien podría denominarse más exactamente un "árbol de funciones". Sin embargo, se aplican los mismos principios para la descomposición de objetivos en objetivos secundarios, o de las funciones en medios, y de su ordenamiento en un árbol jerárquico. Esta aplicación del enfoque de la estructura de árbol ayuda a asegurar que el diseñador considere todos los medios posibles para alcanzar una función (u objetivo). (Fuente: Tjalve).

Ejemplo 5: Puerta para automóvil

Éste es otro ejemplo de un "árbol de funciones". Para considerar los requerimientos que se demandan en una puerta de un automóvil, los diseñadores establecieron un árbol de funciones (figura 25). El árbol comienza a partir de los requerimientos funcionales de alto nivel (a la izquierda de la figura) y se va trabajando hacia las funciones detalladas de nivel inferior que se pueden implementar efectivamente en términos de decisiones de diseño de ingeniería. (Fuente: Pugh).

Ejemplo desarrollado: Bomba de alta presión

Este ejemplo se basa en el diseño de una bomba para fluidos a alta presión y alta temperatura. Los fabricantes que comisionaron el diseño ya estaban fabricando una variedad de bombas similares, pero deseaban aplicar un marco de referencia lógico a su gama de bombas a fin de reducir los costos de manufactura. También deseaban mejorar la confiabilidad de las bombas y ofrecer un producto que fuera adecuado para las necesidades cambiantes y variadas de sus clientes.

Al cuestionar al cliente sobre los objetivos de tener un producto "confiable" y "adecuado", surgió un aspecto común: que la bomba debería ser "robusta" —es decir, que no debía fallar fácilmente—.

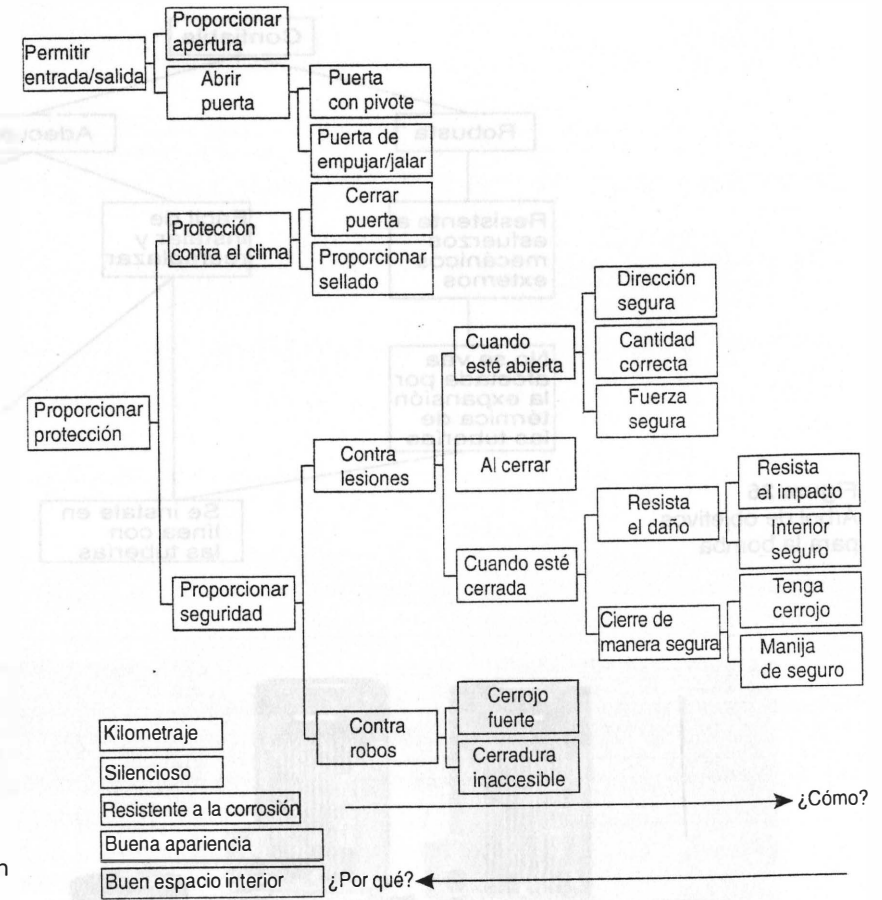


Figura 25
Árbol de funciones para la puerta de un automóvil

Así pues, la lista inicial de objetivos hasta este momento podría verse de la siguiente forma en orden jerárquico:

- Confiable
- Adecuada
- Robusta
- Gama estandarizada

Estos objetivos siguen siendo de tipo general y de alto nivel, por lo que es necesario investigar los planteamientos aún más. En este caso, fue posible investigar los problemas que se habían experimentado con las bombas actuales. Se descubrió que éstas fallaban por fracturas y fugas debidas a los esfuerzos provocados por la expansión térmica de las tuberías a las que se conectaban. Este parecía ser el principal problema hacia el cual se dirigían las solicitudes de "robustez" y "confiabilidad".

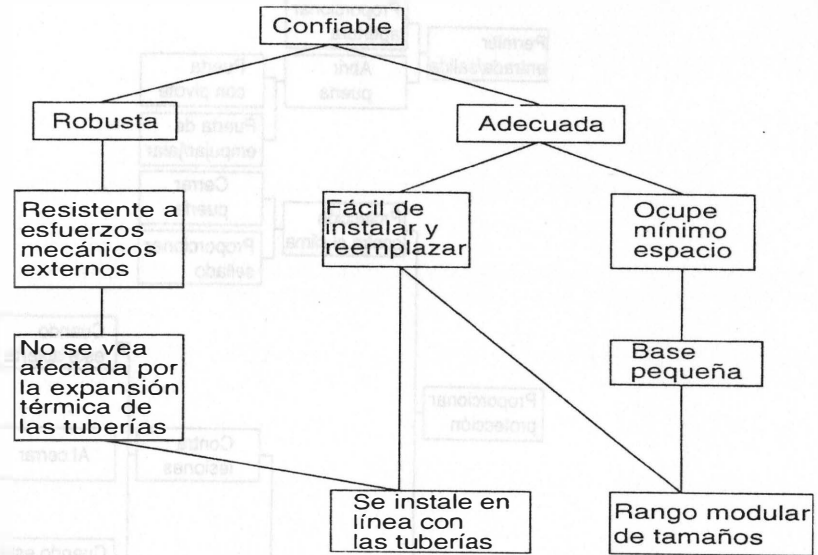


Figura 26
Árbol de objetivos para la bomba

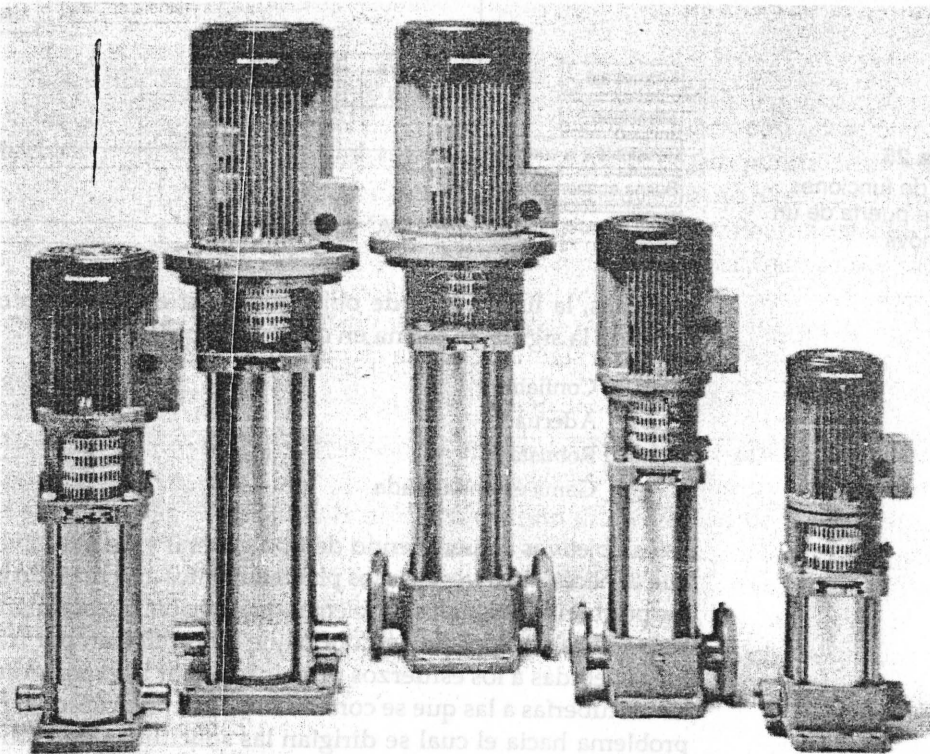


Figura 27 Bombas danesas Grundfos diseñadas con principios similares a los objetivos desarrollados en este ejemplo

De manera similar, la investigación del objetivo "adecuada" reveló dos objetivos secundarios adicionales; en primer lugar, que las bombas debían ser fáciles de instalar y reemplazar y, en segundo lugar, que deberían ocupar el mínimo espacio. Se dieron cuenta que la estandarización de los tamaños y las dimensiones en la gama de capacidades nominales podría ser un medio para ayudar a alcanzar estos objetivos, así como para reducir los costos de fabricación.

La lista ampliada de objetivos, en consecuencia, se veía de la siguiente manera:

Confiable

Robusta

Resistente a esfuerzos mecánicos externos

Que no se vea afectada por la expansión térmica de las tuberías

Adecuada

Fácil de instalar y reemplazar

Que ocupe un espacio mínimo

Gama de tamaños estandarizada

Un principio clave del diseño que surgió de la consideración de los medios para alcanzar estos objetivos fue que los puertos de entrada y de salida siempre deberían estar en línea, para evitar los problemas de expansión térmica. Tal sistema, junto con una base pequeña y un dimensionamiento modular de componentes alternativos, también facilitaría la instalación y el reemplazo de la bomba. El árbol de objetivos, en consecuencia, se veía como el de la figura 26.

En Dinamarca se ha diseñado una bomba de alta presión con principios similares (vea la figura 27). De acuerdo con lo expresado por el Consejo de diseño de ese país, la bomba es "casi un diagrama del planteamiento de su problema: la entrada y la descarga están alineadas; el motor, el acoplamiento y las fases integradas en la bomba están alineadas sobre un eje en ángulo recto con la superficie de instalación; y la presión de la bomba se incrementa agregando el número de etapas, es decir, un cambio en elevación. La bomba se instala directamente en la tubería, ocupando un mínimo de espacio".

5 Establecimiento de funciones

En el método del árbol de objetivos se estudió que los problemas de diseño pueden tener muchos niveles de generalidad o detalle. Obviamente, es crucial el nivel de definición del problema por parte del diseñador o del interesado. Hay una gran diferencia entre diseñar un aparato telefónico y diseñar un sistema de telecomunicaciones.

En un problema de diseño siempre es posible subir o bajar por los niveles de generalidad. El caso clásico es el problema de "diseñar una perilla de una puerta". El diseñador puede moverse varios niveles hacia arriba hasta el de diseñar la puerta o, incluso, el de diseñar "un medio para entrar y salir" y encontrar soluciones que no necesiten ninguna perilla en absoluto, ipero esto no tiene ninguna utilidad para un cliente que fabrica perillas para puerta! Por otra parte, el diseñador podría moverse varios niveles hacia abajo, investigando la ergonomía de las manijas y la cinemática de los mecanismos de cierre —produciendo también soluciones que no utilicen perillas de puerta y que sean mejoras funcionales, pero que no son lo que el cliente desea—.

No obstante, hay ocasiones en que es conveniente cuestionar el nivel en el cual se plantea el problema de diseño. Un cliente puede estar enfocando de manera muy restringida la definición del problema en un nivel, cuando sería mejor buscar la solución en otro nivel. Reconsiderar el nivel de la definición del problema es un estímulo para que el diseñador proponga soluciones radicales e innovadoras.

Por lo tanto, conviene contar con un medio para considerar el nivel del problema en el que va a trabajar un diseñador o un equipo de diseño. También es muy útil si esto puede hacerse en una forma que no considere el tipo de solución potencial, sino las funciones esenciales que un tipo de solución debe satisfacer. Esto le da libertad al diseñador para desarrollar propuestas de solución alternativas que satisfagan los requerimientos funcionales.

El método de "análisis de funciones" ofrece un medio para considerar las funciones esenciales y el nivel en el que el problema debe abordarse. Las funciones esenciales son aquéllas que debe satisfacer el dispositivo, el producto o el sistema a diseñar, independientemente de los componentes físicos que pudieran utilizarse. El nivel del problema se decide estableciendo "límites" alrededor de un subconjunto coherente de funciones.

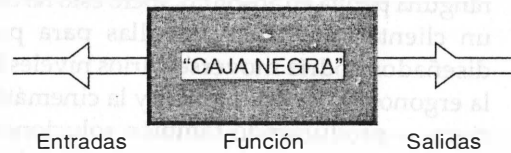
El método del análisis de funciones

Procedimiento

Expresar la función global del diseño en términos de la conversión de entradas en salidas

El punto de partida en este método consiste en concentrarse en lo que el nuevo diseño debe lograr y no en cómo se va a lograr. La forma básica más sencilla de expresar esto consiste en representar el producto o dispositivo a diseñar en una forma tan simple como una "caja negra" que convierte ciertas "entradas" en "salidas" deseadas. La "caja negra" contiene todas las funciones que son necesarias para convertir las entradas en las salidas (figura 28).

Figura 28
El modelo de sistemas de la "caja negra"



Al principio es preferible tratar de hacer esta función global tan amplia como sea posible —posteriormente puede reducirse si es necesario—. Sería incorrecto comenzar con una función general innecesariamente limitada que restrinja la gama de soluciones posibles. En esta etapa del proceso de diseño el diseñador puede hacer una contribución clara solicitando a los clientes o a los usuarios definiciones del propósito fundamental del producto o dispositivo y preguntando acerca de las entradas y las salidas requeridas —¿de dónde vienen las entradas?, ¿para qué son las salidas?, ¿cuál es la siguiente etapa de conversión?, etc.—.

Esta clase de cuestionamientos se conoce como "ampliación de los límites del sistema". Los "límites del sistema" son los límites conceptuales que se emplean para definir la función del producto o del dispositivo. Estos límites casi siempre se definen de manera muy reducida, con el resultado de que sólo se pueden hacer cambios menores, en vez de generar una reconsideración radical.

Descomponer la función global en un conjunto de funciones secundarias esenciales

Es importante tratar de asegurar que se anoten todas las entradas y salidas relevantes. Todas ellas, por lo general, se pueden clasificar como flujos ya sea de materiales, energía o información, y estas mismas clasificaciones pueden utilizarse para verificar si se ha omitido algún tipo de entrada o de salida.

La conversión del conjunto de entradas en un conjunto de salidas es una tarea compleja dentro de la "caja negra", por lo que es necesario descomponerla en tareas o funciones secundarias. En realidad, no existe una forma objetiva y sistemática para esto: el análisis en funciones secundarias puede depender de factores tales como las clases de componentes disponibles para las tareas específicas, la asignación necesaria o preferida de las funciones a las máquinas o a los operadores humanos, la experiencia del diseñador, etc.

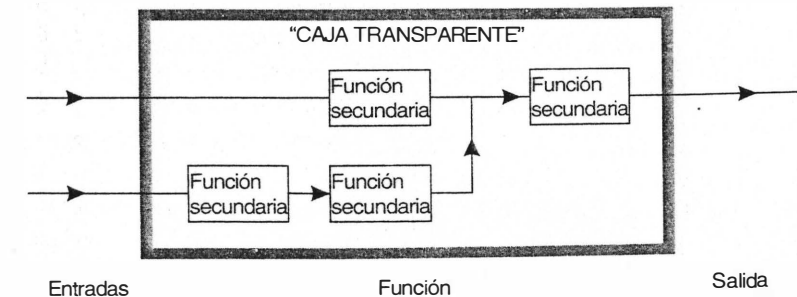
Cuando se especifican las funciones secundarias, conviene asegurarse de que todas ellas se expresen de la misma manera. Cada una deberá plantearse con un verbo y un sustantivo —por ejemplo, "amplificar señal", "contar artículos", "separar el desperdicio", "reducir el volumen—.

Como cada función secundaria tiene sus propias entradas y salidas, debe verificarse la compatibilidad de las mismas. También puede haber "funciones secundarias auxiliares" que deban agregarse, pero que no contribuyan directamente a la función general, como "eliminar el desperdicio".

Dibujar un diagrama de bloques que muestre las interacciones entre las funciones secundarias

Un diagrama de bloques se compone de todas las funciones secundarias, que se identifican por separado encerrándolas en cuadros y enlazándolas mediante sus entradas y salidas, de tal manera que satisfagan la función general del producto o el dispositivo que está siendo diseñado. En otras palabras, la "caja negra" original de la función general se vuelve a dibujar como una "caja transparente" en la que puedan verse las funciones secundarias necesarias y sus enlaces (figura 29).

Figura 29
El modelo de la "caja transparente"



El dibujo de este diagrama sirve para decidir la forma en que se enlazan las entradas y las salidas de las funciones secundarias, de manera que conformen un sistema factible y funcional. Se puede descubrir que se tiene que hacer malabares con las entradas y salidas, y que quizás algunas de las funciones secundarias deban redefinirse manera que todo quede conectado. Es útil emplear diferentes convenciones, como diferentes tipos de líneas, por ejemplo, para mostrar los diferentes tipos de entradas y salidas, es decir, flujos de materiales, energía o información.

Dibujar los límites del sistema

El diagrama de bloques dibujado también debe mostrar las decisiones tomadas acerca de la extensión precisa y la ubicación de los límites del sistema. Por ejemplo, en el diagrama no puede haber entradas o salidas "sueltas", excepto aquéllas que provienen de los límites del sistema o van hacia afuera.

Podría resultar que los límites tengan que reducirse nuevamente, después de la primera ampliación hecha durante la consideración de las entradas, las salidas y la función general. Los límites tienen que dibujarse en torno a un subconjunto de funciones ya identificadas a fin de definir un producto factible. También es probable que en este dibujo de los límites del sistema, el diseñador no tenga completa libertad —esto dependerá de la política gerencial o de los requerimientos del cliente. Generalmente, se pueden dibujar muchos límites diferentes del sistema, para definir diferentes productos o tipos de solución.

Buscar componentes apropiados para realizar las funciones secundarias y sus interacciones

Si las funciones secundarias se han identificado adecuadamente y en un nivel apropiado, entonces debe ser posible identificar un componente adecuado para cada función secundaria. Esta identificación de componentes dependerá de la naturaleza del producto, del dispositivo, o del sistema que se está diseñando. Por ejemplo, un "componente" podría ser una persona que realiza cierta tarea, un componente mecánico, o un dispositivo electrónico. Una de las posibilidades interesantes de diseño que han abierto los dispositivos electrónicos, como los microprocesadores, es que éstos ahora pueden ser sustituidos por componentes que anteriormente eran dispositivos mecánicos o cuya función quizás sólo podía hacerse por operadores humanos. El método de análisis de funciones es un auxiliar útil en estas circunstancias debido a que se enfoca en las funciones, y deja para esta última etapa del proceso de diseño la selección de los medios físicos para realizar dichas funciones.

Resumen

Finalidad

Establecer las funciones requeridas y los límites del sistema de un nuevo diseño.

Procedimiento

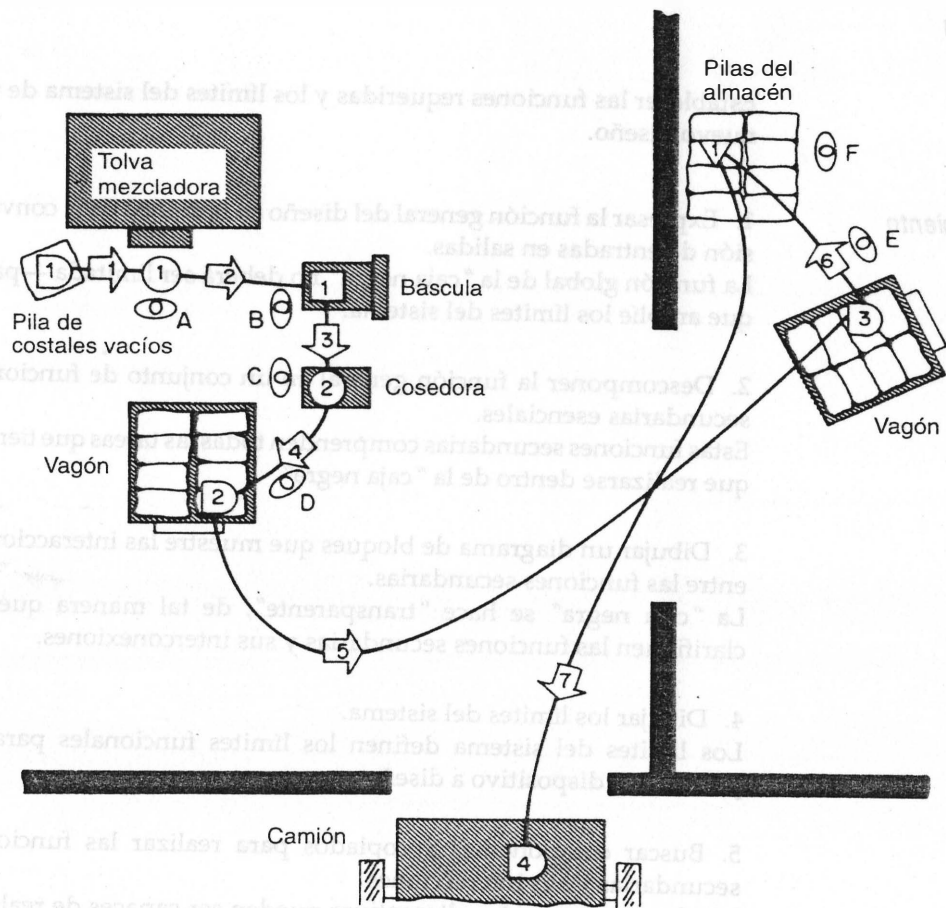
1. Expresar la función general del diseño en términos de la conversión de entradas en salidas.
La función global de la "caja negra" no deberá ser limitada —para que amplíe los límites del sistema.
2. Descomponer la función general en un conjunto de funciones secundarias esenciales.
Estas funciones secundarias comprenden todas las tareas que tienen que realizarse dentro de la "caja negra".
3. Dibujar un diagrama de bloques que muestre las interacciones entre las funciones secundarias.
La "caja negra" se hace "transparente", de tal manera que se clarifiquen las funciones secundarias y sus interconexiones.
4. Dibujar los límites del sistema.
Los límites del sistema definen los límites funcionales para el producto o dispositivo a diseñar.
5. Buscar componentes apropiados para realizar las funciones secundarias y sus interacciones.
Muchos componentes alternativos pueden ser capaces de realizar las funciones identificadas.

Ejemplos

Ejemplo 1: Un sistema de entrega de alimentos balanceados

El método del análisis de funciones es particularmente apropiado en el diseño de sistemas de procesos de flujo, como el que se muestra en el diagrama de la figura 30. Éste representa una fábrica en donde se empaca alimento para animales.

La compañía desea reducir los costos relativamente elevados de manejo y almacenamiento del alimento. Un diseñador podría atacar esta tarea buscando formas muy directas en las que cada parte del proceso existente pudiera hacerse de una manera más efectiva en costos. Sin embargo, una formulación más amplia del problema —la función genera — se representó en las siguientes etapas:



- | | |
|---|---|
| ① Pila de costales para ser llenados | ② El trabajador C dobla y cose la parte superior del costal |
| ① El trabajador A levanta costal vacío de la pila y lo coloca bajo la boquilla para llenado | ④ El trabajador D toma el costal y lo carga en el vagón |
| ① El trabajador A llena el costal de 100 libras mediante alimentación por gravedad, controlando manualmente la tasa de flujo | ⑤ El vagón cargado se lleva al almacén |
| ② El trabajador A entrega el costal al trabajador B | ⑥ Los trabajadores E y F apilan los costales |
| ① El trabajador B verifica el peso y agrega o quita alimento balanceado, según sea necesario, para ajustar el peso a 100 libras aproximadamente | ⑦ Los costales se almacenan para su venta |
| ③ El trabajador B entrega el costal al trabajador C | ⑦ Los costales se cargan en el camión, dos o tres a la vez, para posterior entrega al cliente |

Figura 30 El método existente de llenado, almacenamiento y despacho de costales de alimento para animales

1. Transferencia del alimento de la tolva mezcladora a los costales para ser almacenados en una bodega.
2. Transferencia del alimento de la tolva mezcladora a los costales para ser cargados en camión.
3. Transferencia del alimento de la tolva mezcladora a las tolvas de almacenamiento de los clientes.
4. Transferencia de los ingredientes del alimento desde la fuente a las tolvas de almacenamiento de los clientes.

Esta ampliación de la formulación del problema se muestra en el diagrama de la figura 31.

Cada formulación sugiere diferentes clases de soluciones, en que la formulación más amplia conduce quizás a la eliminación completa de las funciones secundarias de manejo, almacenamiento y carga. (Fuente: Krick).

Ejemplo 2: Empaque de cuadros de alfombra

Este ejemplo muestra otro proceso de flujo —el empaque de cuadros de alfombra en lotes—. Los diseñadores primero descompusieron la función general en una serie de funciones secundarias principales (figura 32).

Después de esto se aclararon algunas funciones auxiliares. Por ejemplo, la entrada desde la máquina separada de estampado incluye recortes que deben removerse; los cuadros rechazados también deben removerse; los materiales deben ser llevados para su empaque. La función secundaria "contar cuadros" también podría utilizarse como señal para el empaque de lotes de un número específico (vea la figura 33). (Fuente: Pahl y Beitz).

Figura 31
Formulaciones
alternativas del
problema de
distribución de
alimento para
animales

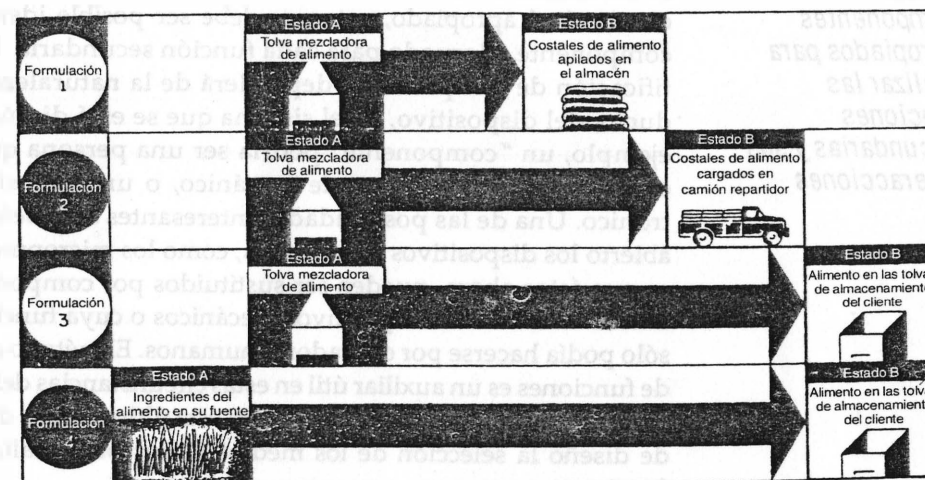


Figura 32
Análisis de las funciones principales para el empaque de cuadros de alfombra

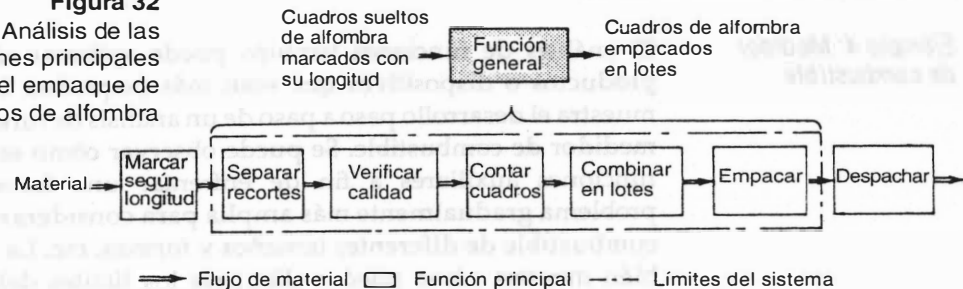
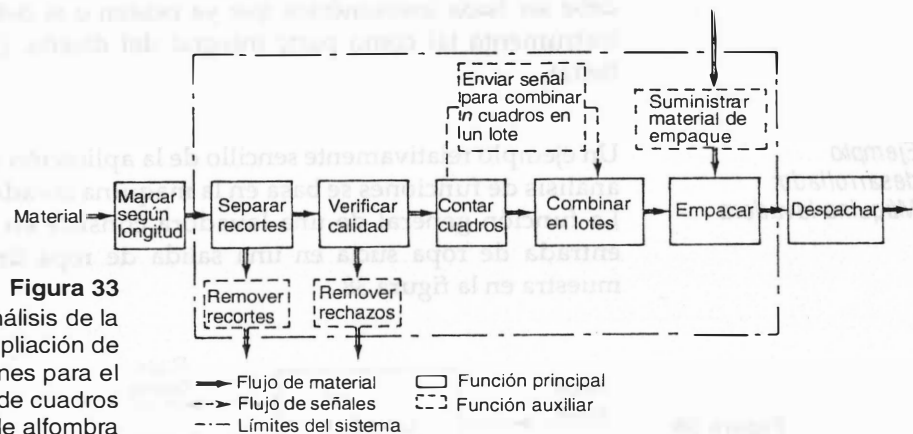


Figura 33
Análisis de la ampliación de funciones para el empaque de cuadros de alfombra



Ejemplo 3: Tetera automática

Este ejemplo es un desarrollo adicional del proyecto para el diseño de una máquina automática para preparar el té, el cual se inició en el método del árbol de objetivos (figura 24). El proceso fundamental que se va a realizar mediante la máquina es convertir agua fría y hojas de té en té caliente (también será necesario sacar las hojas de desperdicio de té después del proceso de infusión). Esta función general se muestra en la figura 34 en forma de "caja negra".

Figura 34
Modelo de caja negra para el proceso de preparación del té

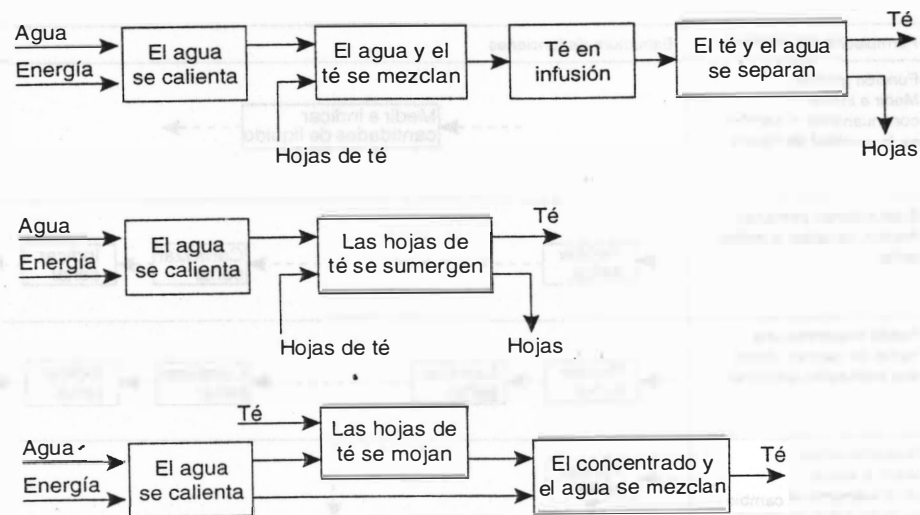
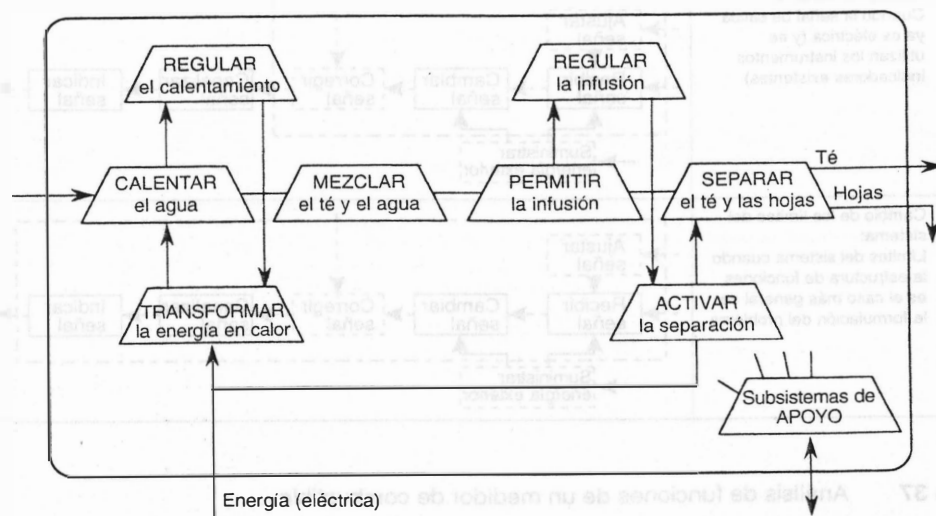


Figura 35
Tres modelos alternativos para el proceso de preparación del té

Figura 36
Análisis de funciones de la tetera automática

Después de considerar varios procesos alternativos mediante los cuales podría realizarse la función general, el diseñador se quedó con el proceso que se muestra en la figura 35(a) como un diagrama de flujo de funciones secundarias. De esta forma, resultaron evidentes varias funciones auxiliares necesarias, particularmente las que tenían que ver con el control de los procesos de calentamiento e infusión. El diagrama de análisis de funciones resultante se muestra en la figura 36. (Fuente: Hubka *et al.*)



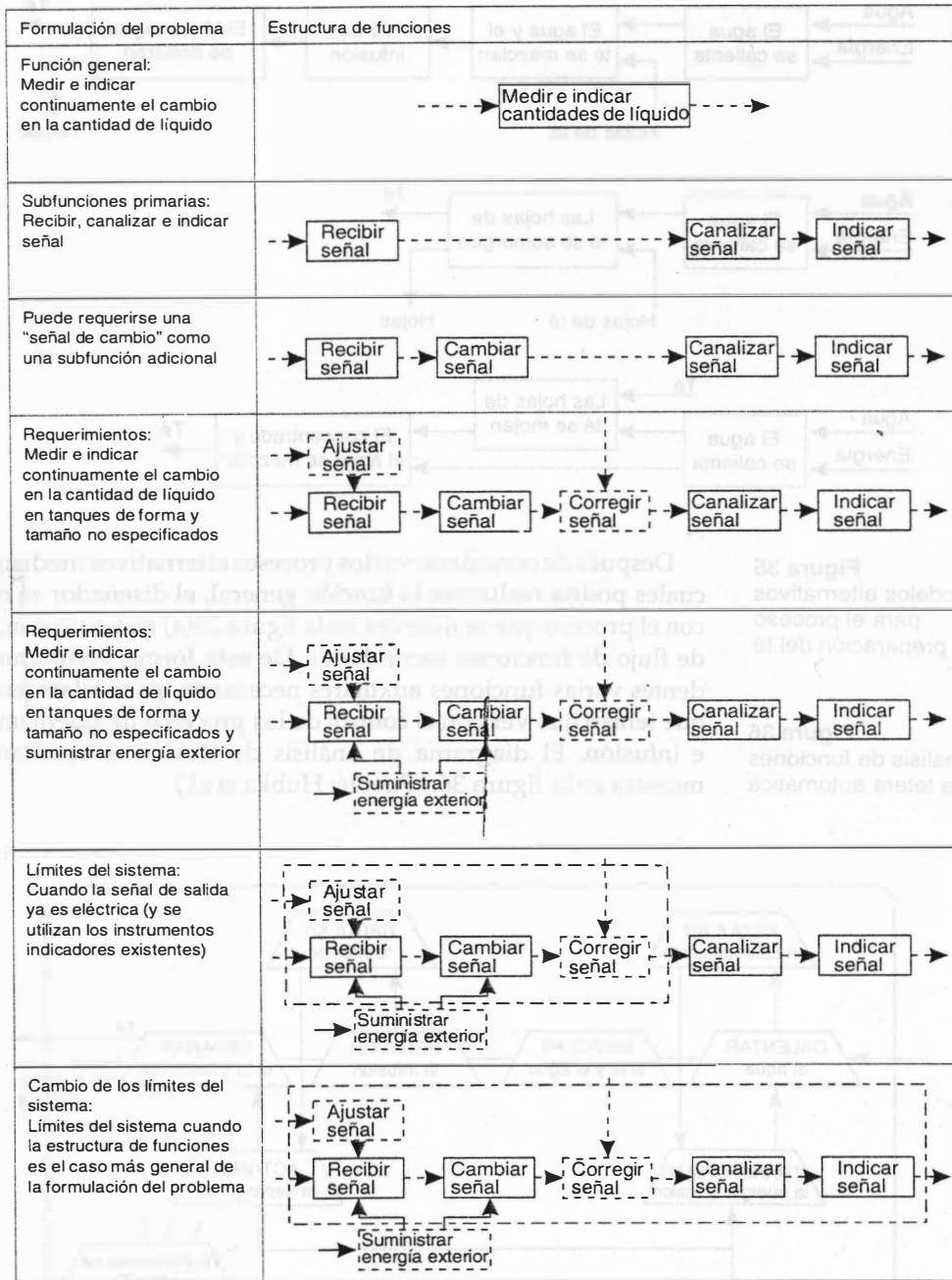


Figura 37 Análisis de funciones de un medidor de combustible

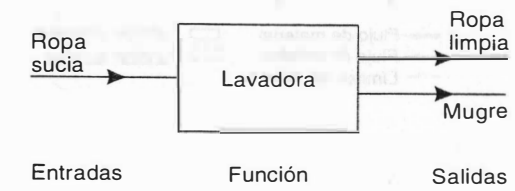
Ejemplo 4: Medidor de combustible

El análisis de funciones también puede aplicarse al diseño de productos o dispositivos que sean más pequeños. La figura 37 muestra el desarrollo paso a paso de un análisis de funciones de un medidor de combustible. Se puede observar cómo se introducen funciones auxiliares a fin de enfrentar una formulación de problema gradualmente más amplia para considerar tanques de combustible de diferentes tamaños y formas, etc. La figura también muestra cómo pueden dibujarse los límites del sistema en diferentes lugares, dependiendo en este caso de si la señal de salida debe ser hacia instrumentos que ya existen o si debe incluirse un instrumento tal como parte integral del diseño. (Fuente: Pahl y Beitz).

Ejemplo desarrollado: Máquina lavadora

Un ejemplo relativamente sencillo de la aplicación del método del análisis de funciones se basa en la máquina lavadora doméstica. La función general de una lavadora consiste en convertir una entrada de ropa sucia en una salida de ropa limpia, como se muestra en la figura 38.

Figura 38 Modelo de caja negra de una máquina lavadora



Dentro de la "caja negra" debe haber un proceso que desprenda la mugre de la ropa y, en consecuencia, la mugre misma debe ser también una salida separada. Sabemos que en el proceso convencional se incorpora agua como medio para lograr esta separación, y que una etapa adicional debe ser, en consecuencia, la conversión de ropa limpia (mojada) en ropa limpia (seca). Otras etapas adicionales comprenden también el planchado y la clasificación de la ropa. Así, la lista de las entradas y las salidas podría ser la siguiente:

<p>Entradas</p> <p>Ropa sucia</p>	<p>Salidas</p> <p>(Etapa 1) Ropa limpia</p> <p>Mugre</p> <p>(Etapa 2) Ropa seca</p> <p>Agua</p> <p>(Etapa 3) Ropa planchada</p>
-----------------------------------	---

Por lo tanto, las funciones secundarias esenciales para convertir la ropa sucia en ropa limpia, junto con los medios convencionales

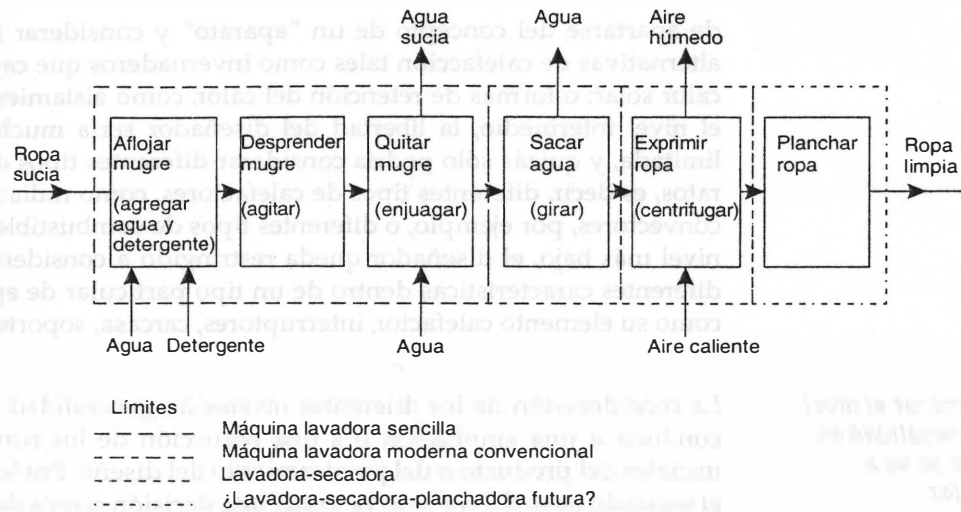


Figura 39

Análisis de funciones de la máquina lavadora

para realizarlas, serían las siguientes:

Funciones secundarias esenciales	Medios para lograr las funciones secundarias
Aflorar la mugre	Agregar agua y detergente
Desprender la mugre de la ropa	Agitar
Quitar la mugre	Enjuagar
Sacar el agua	Exprimir
Secar la ropa	Soplar con aire caliente
Quitar arrugas	Planchar

Un diagrama de bloques, con entradas y salidas principales y secundarias, podría verse como el de la figura 39. Los avances en el funcionamiento de las máquinas lavadoras, como se muestra en la figura, ha requerido una ampliación progresiva de los límites del sistema. Las primeras máquinas lavadoras simplemente desprendían la mugre de la ropa, pero no hacían nada para remover el agua en exceso de la ropa; el exprimido manual o mecánico se dejaba como una tarea para quien las operaba. La inclusión de la función de exprimir-secar eliminaba el agua en exceso, pero aún faltaba un proceso de secado. Este proceso está incorporado ahora en máquinas lavadoras y secadoras. Quizás el planchado de la ropa se incorporará de alguna manera en las máquinas futuras, aunque esta necesidad se ha visto reducida por el empleo de telas artificiales.

6 Fijación de requerimientos

Los problemas de diseño siempre se plantean dentro de ciertos límites. Uno de los límites más importantes, por ejemplo, es el correspondiente al costo: lo que el cliente está preparado para gastar en una nueva máquina, o lo que puede esperarse que paguen los consumidores finales como precio de compra por un producto. Otros límites comunes pueden ser el tamaño o peso aceptable de una máquina; algunos otros serán requerimientos de rendimiento, como la potencia de un motor; algunos más podrían ser establecidos por aspectos legales o de seguridad.

Este conjunto de requerimientos comprende la especificación del rendimiento del producto o la máquina. Los planteamientos de los objetivos de diseño o funciones (como aquéllos que se derivan del método del árbol de objetivos o del de análisis de funciones) se consideran como especificaciones de rendimiento, aunque esto en realidad no es correcto. Los objetivos y las funciones son planteamientos de lo que debe lograr o hacer un diseño, pero normalmente no se establecen en términos de límites precisos, que es lo que hace una especificación de rendimiento.

Al fijar límites acerca de lo que debe lograrse con un diseño, la especificación de rendimiento limita la gama de soluciones aceptables. En consecuencia, debido a que establece la gama de objetivos del diseñador, no deberá definirse de manera muy estrecha. Si es así, podrían eliminarse innecesariamente muchas soluciones que de otra manera serían aceptables. Por otra parte, una especificación demasiado amplia o vaga puede dejar al diseñador con muy poca idea de la dirección que debe tomar. Los límites de especificaciones establecidas de manera muy amplia también conducen a soluciones inapropiadas que tendrán que cambiarse o modificarse cuando se descubre que caen fuera de límites aceptables.

Por lo tanto, hay buenas razones para dedicar cierto esfuerzo para establecer una especificación exacta del rendimiento en los primeros momentos del proceso de diseño. Inicialmente, esta espe-

cificación fija ciertos límites al “espacio de soluciones” dentro del cual el diseñador debe buscar. Posteriormente, en el proceso de diseño, la especificación del rendimiento puede utilizarse al evaluar las soluciones propuestas para verificar que queden dentro de límites aceptables.

El método de *especificación del rendimiento* pretende ayudar a definir el problema de diseño, dejando suficiente libertad para que el diseñador tenga espacio de maniobra en las formas y medios para obtener una solución de diseño satisfactoria. Una especificación define el rendimiento requerido y no el producto requerido. El método, por lo tanto, hace énfasis en el rendimiento que debe alcanzarse una solución de diseño y no en un componente físico en particular como medio para alcanzar dicho rendimiento.

El método de la especificación del rendimiento

Procedimiento

Considerar los diferentes niveles de generalidad de solución que pueden aplicarse

Es importante que una especificación se plantee en un nivel apropiado de generalidad para el tipo de solución que se va a considerar. Una especificación en un nivel demasiado elevado de generalidad podría dar lugar a que se sugirieran soluciones inapropiadas, en tanto que un nivel demasiado bajo (una especificación muy definida) puede quitarle al diseñador casi toda la libertad para generar una gama de soluciones aceptables.

El primer paso, por lo tanto, consiste en considerar los diferentes niveles de generalidad. Una clasificación sencilla de los tipos de niveles de un producto, desde los más generales a los menos generales, podría ser:

- alternativas* del producto
- tipos* del producto
- características* del producto

Como ejemplo para ilustrar estos niveles, suponga que el producto en cuestión es un aparato doméstico de calefacción. En el nivel más alto de generalidad, el diseñador tiene la libertad de proponer formas alternativas de calefacción de una casa, como aparatos móviles, aparatos fijos, calefacción central con radiadores, aire caliente a través de ductos, etc. Incluso puede tener la libertad

de apartarse del concepto de un “aparato” y considerar formas alternativas de calefacción tales como invernaderos que capten el calor solar; o formas de retención del calor, como aislamiento. En el nivel intermedio, la libertad del diseñador sería mucho más limitada, y quizás sólo podría considerar diferentes tipos de aparatos, es decir, diferentes tipos de calefactores, como radiadores o cónvectores, por ejemplo, o diferentes tipos de combustible. En el nivel más bajo, el diseñador queda restringido a considerar sólo diferentes características dentro de un tipo particular de aparato, como su elemento calefactor, interruptores, carcasa, soportes, etc.

Determinar el nivel de generalidad en el que se va a trabajar

La consideración de los diferentes niveles de generalidad podría conducir a una ampliación o a una reducción de los conceptos iniciales del producto o del planteamiento del diseño. Por lo tanto, el segundo paso del método es tomar una decisión acerca del nivel apropiado.

Normalmente, el cliente, la gerencia de la compañía, o el consumidor final deciden el nivel en el que trabajará el diseñador. Por ejemplo, en el caso de aparatos de calefacción domésticos, sólo se consideraría el mayor nivel de generalidad (“alternativas”) si un fabricante de aparatos buscara diversificar o ampliar sus actividades en otros aspectos de la calefacción doméstica. Los niveles intermedios (“tipos”) normalmente se considerarían cuando se fuera a diseñar un nuevo producto, para agregarlo a la gama existente de aparatos o para sustituir los obsoletos. El nivel más bajo (“características”) se consideraría cuando se hicieran modificaciones a productos existentes.

Entre mayor sea el nivel de generalidad que pueda considerarse, mayor será la libertad del diseñador en términos de la gama de soluciones aceptables. Por supuesto, los niveles mayores también incluyen a los niveles inferiores de especificación —es decir, la especificación de características es parte de la especificación de los tipos, la cual es parte de la especificación de alternativas—.

Identificar los atributos de rendimiento requeridos

Una vez que se ha decidido el nivel en el cual va a efectuarse el diseño, empieza el trabajo sobre la especificación apropiada del rendimiento. Cualquier producto o máquina tendrá un conjunto de *atributos*, y éstos serán los que se planteen en la especificación del rendimiento. Entre los atributos se incluyen comodidad, portabilidad y durabilidad, así como características claves, como son velocidad, costo y seguridad.

Los atributos del rendimiento generalmente son similares a los objetivos y funciones del diseño, o se derivan de ellos. Por lo tanto,

si ya se preparó un árbol de objetivos o un análisis de funciones, éstos probablemente serán la fuente de la lista inicial de atributos de rendimiento.

Un aspecto de suma importancia que debe tenerse en mente al hacer la lista de los atributos de rendimiento es que éstos deben plantearse en una forma que sea independiente de cualquier solución particular. Los planteamientos que los clientes hacen de los atributos casi siempre están expresados en términos de soluciones, debido a que valoran algún aspecto del rendimiento que está incorporado en la solución, pero no han separado al atributo de una forma física particular. Dichos planteamientos, basados preferentemente en la solución y no en el rendimiento, por lo general restringen de manera innecesaria los conceptos de solución.

Por ejemplo, un cliente podría sugerir que el material para una superficie particular fuera de azulejos de cerámica, debido a que esa característica es satisfactoria en una aplicación existente. Pero el requerimiento esencial de rendimiento podría ser que la superficie no fuera porosa, que fuera fácil de limpiar y que tuviera una textura suave o dura, o simplemente que tuviera una apariencia brillante. Las alternativas aceptables podrían ser plástico, metal o mármol.

Detrás de la especificación de una característica particular de solución hecha por el cliente puede haber todo un conjunto de razones. Este conjunto podría ser toda la gama de atributos de una superficie cerámica, como se acaba de mencionar, además de la masa que proporcionan los azulejos de cerámica, a lo que se suma la variedad de colores, además de algún estado percibido u otro valor que no sea inmediatamente obvio. Una lista completa y confiable de atributos de rendimiento puede, por lo tanto, requerir un esfuerzo considerable para su compilación, y puede muy bien requerir una cuidadosa investigación de los requerimientos del cliente y quizás del fabricante.

La lista final de atributos del rendimiento contiene todas las condiciones que deberá satisfacer una propuesta de diseño. Sin embargo, dentro de esta lista podría ser necesario distinguir entre los atributos o requerimientos que son "demandas" y los que son "deseos". Las "demandas" son requerimientos que deben satisfacerse, en tanto que los "deseos" son aquéllos que el cliente o el diseñador desearía satisfacer en caso de ser posible. Por ejemplo, el requerimiento de una superficie no porosa podría ser una "demanda" funcional, pero su disponibilidad en una variedad de colores podría ser un "deseo" que dependa del material que efectivamente se elija.

*Establecer
requerimientos de
rendimiento breves
y precisos para
cada atributo*

Una vez que se ha compilado una lista confiable de atributos, para cada uno se escribe una especificación de rendimiento. Una especificación dice lo que debe *hacer* un producto, no lo que debe *ser*. Como ya se mencionó, esto muy bien podría requerir alguna investigación cuidadosa —no es adecuado adivinar simplemente requerimientos de rendimiento, ni tampoco tomarlos sólo a partir de un tipo de solución existente—.

Siempre que sea posible, una especificación de rendimiento deberá expresarse en términos cuantificables. Así, por ejemplo, deberá especificarse un peso máximo, más que un planteamiento vago como "peso ligero". Una especificación de seguridad —por ejemplo, para salir de un vehículo— deberá establecer el tiempo máximo permisible para salir en una emergencia, más que emplear términos como "rápidamente" o "prontamente". Asimismo, siempre que sea posible y apropiado, una especificación deberá fijar un rango de límites dentro de los cuales se encuentre el rendimiento aceptable. Por lo tanto, una especificación no debe decir "altura del asiento: 425 mm" cuando sea aceptable un rango entre 400 mm y 450 mm. Por otra parte, también deberá evitarse una "precisión" falsa: no especifique "un contenedor con un volumen de 21.2 litros" si a lo que se está refiriendo es a un cesto para papeles de "aproximadamente 300 mm de diámetro y 300 mm de alto".

Resumen

Finalidad

Hacer una especificación exacta del rendimiento requerido en una solución de diseño.

Procedimiento

1. Considerar los diferentes niveles de generalidad de solución que puedan aplicarse.

Podría haber una elección entre

alternativas del producto
tipos del producto
características del producto

2. Determinar el nivel de generalidad en el cual se va a trabajar. Esta decisión generalmente la hace el cliente. Entre mayor sea el nivel de generalidad, mayor libertad tendrá el diseñador.

3. Identificar los atributos de rendimiento requeridos. Los atributos deberán plantearse en términos que sean independientes de cualquier solución particular.

4. Establecer requerimientos de rendimiento breves y precisos para cada atributo.

Siempre que sea posible, las especificaciones deberán estar en términos cuantificables, además de identificar rangos entre los límites.

Ejemplos

Ejemplo 1: Llave mezcladora operada con una mano

Este ejemplo es una especificación de una llave mezcladora de agua, de tipo doméstico, que pueda operarse con una mano (figura 40). En el capítulo 1 (página 11) se presentó el planteamiento inicial del diseño para este proyecto. Como se observa, el planteamiento se ha ampliado considerablemente a medida que el equipo de diseño investiga el problema. Algunos detalles del planteamiento han cambiado (por ejemplo, la presión máxima) como resultado del establecimiento de las normas nacionales que se aplican a tales productos. También se ha considerado el rango de usuarios (requerimiento 11 —operación ligera para niños—), así como las consideraciones de seguridad (requerimientos 18 a 20). La escala de tiempo del proyecto también se ha incluido en la especificación. La columna "D o d" que se encuentra del lado izquierdo distingue entre demandas (D) y deseos (d) en la especificación. (Fuente: Pahl y Beitz).

Ejemplo 2: Medidor de combustible

El cliente formuló este problema en su nivel más bajo de generalidad: el diseño de un tipo particular de medidor de combustible para utilizarse en vehículos con motor. La formulación general e inicial del planteamiento del problema fue:

Un medidor para tener una lectura continua del cambio en la cantidad de líquido en tanques de tamaño y forma no especificados, y para indicar la medición a varias distancias de los tanques.

Después se desarrolló la siguiente lista de atributos:

- Apropiado para tanques de combustible de varios volúmenes
- varias formas
- varias alturas
- varios materiales

- Conexión en la parte superior o lateral del tanque
- Que opere a varias distancias del tanque
- Que mida gasolina o diesel
- Señal exacta
- Operación confiable

El equipo de diseño procedió a desarrollar una especificación completa del rendimiento, como se muestra en la figura 41. Como

		Especificación				Página 1
		para				Llave mezcladora operada con una mano
Cambios	D y d	Requerimientos				Responsable
	D	1 Capacidad (flujo mezclado) máx. 10 l/min a 2 bars				
	D	2 Presión máx. 10 bars (presión de prueba 15 bars según DIN 2401)				
	D	3 Temp. del agua: 60 °C estándar 100 °C (tiempo breve)				
	D	4 Fijación de la temperatura independiente de la capacidad y presión				
	d	5 Fluctuación permisible de temp. ± 5°C a una dif. de presión de ± 5 bars entre el suministro de agua caliente y fría				
	D	6 Conexión: 2 tubos de cobre 10 x 1 mm / = 400 mm				
	D	7 Conexión de un solo orificio Ø 35 ⁺² mm espesor de recipiente 0 - 18 mm (Cumplir con las dimensiones del recipiente DIN EN 31 DIN EN 32 DIN 1368)				
	D	8 Descarga por encima del borde superior del recipiente: 50 mm				
	D	9 Adaptarse a recipiente doméstico				
	d	10 Convertible a accesorios en la pared				
	D	11 Operación fácil (niños)				
	D	12 Ausencia de energía externa				
	D	13 Suministro de agua dura (agua potable)				
	D	14 Identificación clara del ajuste de temperatura				
	D	15 Marca comercial en lugar prominente				
	D	16 Ausencia de conexión de los dos suministros cuando esté cerrada				
	D	17 Ausencia de conexión cuando se extraiga agua				
	d	18 Que la manija no se caliente por arriba de 35°C				
	D	19 Que no queme al tocar los accesorios				
	d	20 Colocar protección contra quemaduras si el costo extra es pequeño				
	d	21 Operación obvia manejo sencillo y conveniente				
	D	22 Contornos suaves y de fácil limpieza sin bordes afilados				
	D	23 Operación silenciosa (≤ 20 dB según DIN 52218)				
	D	24 Vida de servicio de 10 años con 300 000 operaciones aproximadamente				
	d	25 Fácil mantenimiento y reparación sencilla.				
	D	26 Usar refacciones estándar				
	D	27 Costos máx. de fabr. 30 marcos alemanes (3000 unidades al mes)				
	D	28 Programas desde el comienzo del desarrollo				
			Diseño conceptual	Diseño de detalles	Diseño de la forma	Prototipo
	después de		2	4	6	9 meses

Figura 40 Especificación para una llave mezcladora operada con una mano

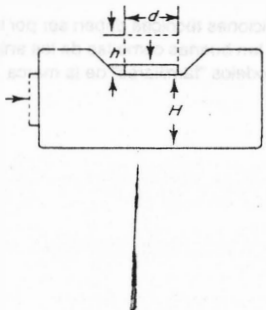
		Especificación		Página 1				
		para		Medidor de combustible				
Cambios	D y d	Requerimientos	Responsable					
		<p>1. <u>Contenedor, conexión, distancia</u></p> <p>Volumen: 20 - 160 l</p> <p>Forma fija o no especificada (rígida)</p> <p>Material: acero o plástico</p> <p>Conexión al contenedor:</p> <p>Conexión de la brida</p> <p>Conexión superior</p> <p>Conexión lateral</p> <p>H= 150 - 600 mm</p> <p>d = \varnothing 71 mm, h = 20 mm</p> <p>Distancia del tanque al indicador:</p> <p>\neq 0 m, 3 - 4 m</p> <p>1 - 20 m</p>						
		<p>2. <u>Contenido, rango de temperatura, material</u></p> <table border="1"> <tr> <td>Líquido</td> <td>Rango de operación</td> <td>Ambiente de almacenamiento</td> </tr> <tr> <td>Gasolina o diesel</td> <td>D -25 a +65°C</td> <td>-40 a +100°C</td> </tr> </table>			Líquido	Rango de operación	Ambiente de almacenamiento	Gasolina o diesel
Líquido	Rango de operación	Ambiente de almacenamiento						
Gasolina o diesel	D -25 a +65°C	-40 a +100°C						
		<p>3. <u>Señal, energía</u></p> <p>Salida del transmisor: señal eléctrica (cambio de voltaje con cambio en cantidad)</p> <p>Fuente disponible de energía: c.d. a 6, 12, 24 V</p> <p>Variación de voltaje -15 a +25%</p> <p>Exactitud de señal de salida a máx. \pm 3%</p> <p>\pm 2%</p> <p>(junto con error del indicador \pm 5%)</p> <p>bajo condiciones normales, nivel horizontal, v = constante;</p> <p>capaz de resistir sacudidas de un manejo normal</p> <p>Sensibilidad de respuesta: 1% de máxima señal de salida</p> <p>0.5% de máxima señal de salida</p> <p>Señal no afectada por el ángulo de la superficie del líquido</p> <p>Posibilidad de calibración de señal</p>						

Figura 41 Especificación para el medidor de combustible

		Especificación		Página 2
		para		Llave mezcladora operada con una mano
Cambios	D y d	Requerimientos	Responsable	
		<p>Posibilidad de calibración de señal con tanque lleno</p> <p>Contenido mínimo a medir: 3% del valor máximo</p> <p>Contenido del tanque de reserva mediante señal especial</p>		
		<p>4. <u>Condiciones de operación</u></p> <p>Aceleración hacia adelante \pm 10 m/s²</p> <p>Aceleración lateral \pm 10 m/s²</p> <p>Aceleración hacia arriba (vibración) hasta 30 m/s²</p> <p>Sacudidas en dirección hacia adelante sin daño hasta 30 m/s²</p> <p>Inclinación hacia adelante hasta \pm 30°</p> <p>Inclinación lateral máx. 45°</p> <p>Tanque no presurizado (ventilado)</p>		
		<p>5. <u>Requerimientos de prueba</u></p> <p>Pruebas con rocío de sal para componentes internos y externos según los requerimientos del cliente</p> <p>Prueba de presión para el tanque 30 kN/m</p>		
		<p>6. <u>Expectativa de vida, durabilidad del contenedor</u></p> <p>Expectativa de vida 5 años con relación a la corrosión causada por el contenido y la condensación</p> <p>Debe conformarse a los requerimientos de vehículos pesados</p>		
		<p>7. <u>Producción</u></p> <p>Modificación sencilla para adaptarse a diferentes tamaños de contenedor</p>		
		<p>8. <u>Operación, mantenimiento</u></p> <p>Instalación por operario no especializado</p> <p>Debe poder reemplazarse y no requerir mantenimiento</p>		
		<p>9. <u>Cantidad</u></p> <p>10 000/día del tipo ajustable, 5000/día del tipo más popular</p>		
		<p>10. <u>Costos</u></p> <p>Costos de fabricación \leq 3.00 marcos alemanes cada uno</p>		

en el caso anterior, también distinguieron entre demandas (D) y deseos (d). (Fuente: Pahl y Beitz).

La especificación del rendimiento se elaboró posteriormente como un conjunto de objetivos de diseño, con criterios correspondientes, como se muestra en la figura 42. (Fuente: Love).

Ejemplo 3: Cepillo de dientes eléctrico

Este ejemplo muestra el desarrollo de una especificación de rendimiento para un producto de consumo: un cepillo de dientes eléctrico. El problema se plantea en su nivel intermedio de generalidad, es decir, un nuevo tipo de cepillo de dientes, pero con características novedosas que requieren especificaciones de rendimiento precisas.

Los diseñadores agruparon en una lista los atributos del nuevo producto principalmente en términos de un conjunto de "necesidades del usuario":

Necesidades del usuario en la fase conceptual

Necesidades fisiológicas	Limpiar los dientes mejor que un cepillo manual, dar masaje a las encías, reducir las caries, contribuir a la higiene familiar, seguridad eléctrica y mecánica, etc.
Necesidades sociales	Aliento dulce y dientes blancos (necesidades simbólicas de aceptación social); mango de colores para que haga juego con el cuarto de baño, etc.
Necesidades psicológicas	Autonomía para decidir cuándo y cómo deberán cuidarse los dientes de uno, autoestima gracias al cuidado de los dientes, elogiar el esfuerzo, placer de dar o recibir un regalo, etc.
Necesidades técnicas	Diámetro, longitud, tamaño del cepillo, amplitud, frecuencia, peso, tiempo de funcionamiento, confiabilidad, vida útil, etc.
Necesidades de tiempo	Requerido para las ventas de la temporada navideña
Recursos invertidos	\$1 dólar por persona es la alternativa de menor costo, pero las rasuradoras eléctricas se venden a un precio 20 veces mayor que el de una rasuradora manual, por lo que probablemente el consumidor estará dispuesto a pagar \$20 dólares por un cepillo de dientes eléctrico

Objetivos	Criterios
1. Que sea atractivo, adecuado para su venta principalmente como regalo y en segundo lugar como una compra personal.	1a. Más del 75% del panel representativo de consumidores debe juzgar que el atractivo del diseño general y el empaque son mejores que los de las marcas X y Y. 1b. Los colores de decoración deben ser los mismos que los de nuestros productos regulares. 1c. El paquete de 75 x 100 mm debe poder exhibirse en el área de cajas.
2. Las funciones técnicas deben ser por lo menos tan buenas como las de los anteriores modelos "familiares" de la marca X.	2a. El consultor dental Dr. J. P. debe juzgar que las funciones técnicas son por lo menos tan buenas como las del anterior modelo "familiar" de la marca X. 2b. La amplitud debe estar entre 2 y 3 mm. 2c. La frecuencia debe estar entre 15 ± 5 ciclos/s. 2d. La vida de la batería debe ser mínimo de 50 min. cuando se pruebe de acuerdo con la norma XYZ. 2e. etc., para otros aspectos técnicos como peso, resistencia al impacto, frecuencia de reparación, dimensiones . . .
3. Para venderse en Estados Unidos y Canadá.	3. Debe cumplir las normas UL y CSA de seguridad (un criterio crucial).
4. El objetivo de tiempo es que el producto esté listo para su venta en la temporada navideña más próxima posible.	4. Las fechas importantes, partiendo hacia atrás de la producción de octubre deben ser: • aprobación del modelo a escala — 2 meses • liberación del herramental — 6 meses • prototipo de producción — 10 meses • corrida piloto — 10 meses • corrida de producción — 13 meses (Octubre)
5. El precio de venta no debe exceder en 10% al de los modelos actuales comunes.	5. El precio de venta deberá estar entre \$12.50 y \$17.50 dólares, dependiendo de las características que se ofrezcan, para una corrida de producción de 100 000 unidades.

Figura 42 Especificación del rendimiento para un cepillo de dientes eléctrico

Ejemplo 4: Automóvil urbano

En este ejemplo, un equipo de diseño emprendió un estudio del concepto de "automóvil urbano", es decir, un automóvil ligero y pequeño para utilizarse en ciudades o con otros propósitos de trayecto limitado. Para este problema se han desarrollado muchas soluciones diferentes, con diversos grados de éxito.

	Características	
	Requeridas	Deseadas
1 Características generales		
Automóvil para la ciudad o para una área delimitada (aeropuerto, puerto, estación de trenes, industria, etc.)	X	
Número de asientos: 2(4)	X	
Número de ruedas: 4	X	X
Utilización de espacio: máximo en relación a las dimensiones externas	X	
El vehículo debe ser económico		X
Rango > 100 km		
2 Condiciones de trabajo		
Las mismas que las relativas al uso de todo automóvil en la ciudad o para una área delimitada	X	
3 Dimensiones		
Longitud 2.5 m	X	
Ancho 1.5 m		X
Altura 1.6 m		X
4 Peso		
Peso neto máximo 400 kg		X
Capacidad disponible de carga 200 kg (300 kg)	X	
Peso bruto 600 kg (700 kg)		X
5 Capacidad para equipaje		
Volumen mínimo 150 dm ³	X	
Con los asientos traseros abatidos 350 dm ³		X
Posibilidad de carga exterior (en el techo)		X
6 Velocidad		
Velocidad promedio 50 km/h	X	
Velocidad máxima 70 km/h	X	
7 Tipo de motor		
Térmico (combustión interna, etc.)	X	
Eléctrico		
Termoeléctrico		
Termohidráulico		
Aire comprimido		
8 Características del motor		
Potencia: 2 kW		X
Consumo de combustible 1 litro por 25 km (motor térmico)		X
9 Mantenimiento		
Mínimo y sencillo		X
Posibilidad de encontrar refacciones: fácil		X
10 Utilización, uso		
Utilización: sencilla		X
Uso: frecuente	X	
Confiable: alta	X	
11 Durabilidad		
Al menos 50 000 km o 5 años	X	
12 Seguridad		
Tan alta como sea posible (activo y pasivo)	X	
13 Contaminación		
Que no sea superior al mínimo legal	X	
Cero		X
14 Forma y estética		
Agradable y, por lo tanto, factible de comercializarse	X	
Convertible		X
15 Producción		
En series pequeñas (500 vehículos/año)		X
16 Precio		
de \$2000 a \$2500 dólares (2/3 Fiat 126)	X	

Figura 43 Especificación para un automóvil urbano pequeño

El estudio del diseño incluyó un análisis de las características de muchos ejemplos de diseños anteriores de automóviles urbanos, así como una investigación del mercado, planeación de ciudades y criterios de ingeniería, etc. Como resultado, se elaboró una especificación de las características generales requeridas o deseadas en un automóvil urbano, que se muestran en la figura 43. Las características se clasifican ya sea como "requeridas" o "deseadas" —de manera similar a las "demandas" y "deseos" de otros ejemplos. (Fuente: Pighini *et al.*)

*Ejemplo desarrollado:
Computadora portátil*

Las computadoras personales se han convertido en un aspecto fundamental de muchas actividades. Algunas personas no sólo necesitan tener una en la oficina y una en el hogar, sino también una que pueda utilizarse en otros lugares y que, por lo tanto, viaje con ellos. Este ejemplo se basa en el diseño de una de estas computadoras portátiles.

Obviamente, el nivel de generalidad para este problema ha sido fijado por la solicitud del cliente de un nuevo diseño de computadora portátil: es un tipo de producto particular, con la libertad de los diseñadores, por lo tanto, restringida a *características* del producto.

Existen muchos atributos especializados que tendrán que investigarse y especificarse, como el tipo de microprocesador a incorporar, el tipo de pantalla, teclado, etc. El ejemplo se concentrará solamente en el atributo clave "portátil". ¿Qué significa exactamente esto? Se necesita conocer qué características de "portabilidad" podrían ser importantes para los compradores potenciales de la computadora.

Por lo tanto, se hicieron entrevistas a una variedad de usuarios de computadoras para conocer sus necesidades. De estas entrevistas resultó que existen dos aspectos distintos de "portabilidad". El primero es, de manera muy sencilla, que la máquina pueda ser llevada de manera cómoda y fácil —en contraste con algunos de los primeros modelos, que fueron conocidos como *i*"para llevarse en maletas" más que "portátiles"! El segundo aspecto es que el propósito de una máquina portátil es que pueda ser utilizada en una amplia variedad de lugares. Para desarrollar especificaciones de rendimiento es necesario una investigación adicional de ambos atributos con los usuarios. Por ejemplo, para especificar el atributo de rendimiento "portátil", no es adecuado sugerir simplemente un asa para transportar. Tampoco es adecuado simplemente pesar un producto rival y especificarlo como peso máximo. Necesitamos conocer la gama de usuarios de la computadora y las distancias típicas o tiempos que podría llevarse o transportarse. Los experimentos con unos cuantos usuarios representativos, y no los

más fuertes, y los máximos trayectos esperados podrían entonces establecer un límite de peso apropiado.

También se necesita investigar más los lugares en que se desea utilizar la computadora. ¿Incluye esto también el regazo de una persona en un tren o en un avión? En tal caso, la máquina debe ser pequeña pero estable. ¿Incluye su empleo el procesamiento de palabras en reuniones, conferencias o presentaciones? En tal caso, su operación debe ser silenciosa. ¿Incluye uso exterior a la intemperie? En tal caso, podrían existir requerimientos para que fuera a prueba de intemperie o de que el usuario pudiera llevar guantes.

Obviamente, en muchos lugares no existe una fuente de energía y, en consecuencia, una computadora portátil debe tener sus propias baterías. Puede suceder que los agentes de ventas y otras personas utilicen la computadora en su automóvil, quizás conjuntamente con una máquina de fax y un teléfono y, por lo tanto, la batería del automóvil podría ser utilizada a través del encendedor de cigarrillos. Otro aspecto que surge con relación al rendimiento es que los usuarios desean que la computadora portátil pueda conectarse a dispositivos convencionales como unidades de video e impresoras en diferentes lugares, para poder presentar una exhibición a un grupo de personas o dejar un documento impreso. Esto significa que es importante que el hardware sea compatible con tales dispositivos.

Por lo tanto, una especificación de rendimiento para el atributo de "portabilidad" se desarrolla de la siguiente manera:

Especificación del rendimiento Computadora portátil
Portabilidad

- Pueda llevarse en una mano
- Peso no mayor de 5 kg
- Estuche opcional para transporte, con bolsas para disquetes
- Cuando esté cerrada, debe ser a prueba de lluvia en la intemperie
- Dimensiones máximas de la base en uso: 450 mm × 450 mm
- Teclado casi silencioso
- Fuentes de poder:
 - corriente alterna
 - batería
 - contacto en el encendedor de cigarrillos del automóvil
- Compatible con unidades de video e impresoras estándar

7 *Determinación de características*

Determinar la especificación de un producto puede ser origen de conflictos y malentendidos entre los miembros de mercadotecnia e ingeniería del equipo de diseño. Esto por lo general se debe a que se concentran en diferentes interpretaciones acerca de lo que debe especificarse. Los gerentes y los investigadores de mercado tienden a concentrarse más en la especificación de los atributos deseables de un nuevo producto (casi siempre desde el punto de vista de los requerimientos del cliente), en tanto que los diseñadores y los ingenieros se concentran más en las características de ingeniería de un producto (generalmente en términos de sus propiedades físicas).

La relación entre las características y los atributos es de hecho muy estrecha, por lo que se pueden evitar confusiones si se entiende con claridad esta relación. Los diseñadores toman las decisiones correspondientes a las propiedades físicas del producto, determinando de esta manera sus características de ingeniería; pero dichas características determinan entonces los atributos del producto, los cuales, a su vez, satisfacen las necesidades y requerimientos del cliente. Por ejemplo, el diseñador de ingeniería puede seleccionar una cubierta particular de metal para un producto, de un cierto calibre y acabado superficial, determinando de esta forma características como peso, rigidez y textura; estas características fijan los atributos del producto como portabilidad, durabilidad y apariencia.

Con la creciente competencia en los mercados de todos los productos, ha sido necesario asegurar que se entienda adecuadamente la relación entre las características de ingeniería y los atributos del producto. En particular, es necesario entender exactamente qué desean los clientes en términos de atributos del producto y asegurar que éstos se traduzcan cuidadosamente en especificaciones apropiadas de las características de ingeniería. Esta actitud

hacia el diseño del producto se basa en la filosofía de “escuchar la voz del cliente”, y se refleja en una creciente concentración en la calidad del producto. El diseño que tiene siempre en mente la calidad se reconoce como un factor principal en la determinación del éxito comercial de un producto.

Un método completo para lograr la correspondencia entre los requerimientos del cliente con las características de ingeniería es el método del *despliegue de la función de calidad*. Esta frase es una traducción de los caracteres japoneses *Hin Shitsu, Ki No, Ten Kai*. La frase significa el arreglo (despliegue) estratégico en todos los aspectos de un producto (funciones) de características (calidades) apropiadas de acuerdo a las demandas del cliente.

Este método reconoce que la persona que compra (o quien más influye en la decisión de compra) un producto es la persona más importante en la determinación del éxito comercial de un producto. Si los clientes no lo compran, entonces el producto —no importa qué tan “bien diseñado” pueda estar— será un fracaso comercial. Por lo tanto, “la voz del cliente” tiene prioridad en la determinación de los atributos del producto. Esto significa que debe tenerse cuidado en identificar quiénes son los clientes, escuchar cuidadosamente lo que dicen y determinar las características de ingeniería del producto a la luz de esto.

El despliegue de la función de calidad se ocupa esencialmente de traducir los requerimientos del cliente en características de ingeniería, y se presenta aquí en la parte central del proceso de diseño. Sin embargo, ya que es un método completo, algunos de sus aspectos pueden utilizarse en varias etapas del proceso de diseño; también se apoya en características de algunos otros métodos de diseño.

El método del despliegue de la función de calidad

Procedimiento

Identificar los requerimientos del cliente en términos de los atributos del producto

El método comienza con la identificación de los clientes y de sus puntos de vista de los requerimientos y los atributos deseados en el producto. Existen varias técnicas de investigación de mercado que pueden utilizarse para recopilar información acerca de los requerimientos y preferencias de los clientes. Estos métodos incluyen “clínicas” del producto, en donde a los clientes se les hacen preguntas a fondo acerca de lo que les gusta y disgusta de produc-

tos particulares, y “pruebas de corredor” en donde se acomodan varios productos competidores en exhibición en una sala o corredor y se les solicita a los clientes que inspeccionen los productos y den sus opiniones y reacciones.

Por supuesto, los clientes generalmente hablarán de los productos en términos tanto de sus atributos generales como de sus características específicas —observaciones que van desde “es fácil de usar” hasta “no me gusta el color”—. Como en el método de la especificación del rendimiento, es necesario interpretar los planteamientos más generales en planteamientos de requerimientos más precisos, aunque es más importante identificar y conservar los deseos y preferencias de los clientes, que reinterpretar las observaciones en la percepción del diseñador de lo que los clientes “realmente quieren decir”. Por esta razón, en los planteamientos de los atributos del producto se retienen las palabras y las frases que los clientes utilizan efectivamente, aun cuando pudieran parecer vagas e imprecisas.

Determinar la importancia relativa de los atributos

Por supuesto, no todos los atributos del producto que se identifican tienen la misma importancia para los clientes. Por ejemplo, “fácil de usar” puede ser más importante que “fácil de darle mantenimiento”. De la misma manera, algunos requerimientos (como se indicó en el método de especificación del rendimiento) podrían ser “demandas” o requerimientos absolutos (“seguro de usar”, por ejemplo), más que preferencias relativas.

El equipo de diseño debe conocer cuáles atributos del diseño de su producto son los que afectan más fuertemente la percepción que los clientes tienen del mismo; por lo tanto, es necesario establecer la importancia relativa que los clientes asignan a dichos atributos. Como ya se mencionó, los métodos de investigación de mercado pueden ayudar a establecer estas preferencias relativas y confirmar si lo que los clientes dicen que desean se ve reflejado realmente en lo que compran.

También pueden utilizarse algunas técnicas relativamente sencillas para evaluar la importancia relativa de los atributos identificados. Por ejemplo, a los clientes se les puede solicitar que hagan una clasificación ordenada de sus requerimientos, o que asignen “puntos” a los diversos atributos (preferiblemente desde una asignación fija de puntos máximos). (Las técnicas correspondientes se estudian en el método de objetivos ponderados, capítulo 9).

El resultado de esta etapa del procedimiento es la asignación de “pesos” relativos al conjunto de atributos del producto que los clientes han especificado. A cada atributo normalmente se le asigna

un valor porcentual, es decir, los pesos para el conjunto completo de atributos dan un total de 100.

Evaluar los atributos de productos competidores

Los clientes juzgan los atributos del producto comparándolo con otros productos. Por ejemplo, un comprador de un automóvil podría decir que el automóvil A "parece que responde más que el automóvil B". Este empleo de comparaciones es perfectamente comprensible, dado que los clientes en su mayoría no son expertos y sólo pueden hacer conjeturas acerca de lo que es posible en el diseño de un producto mediante la observación de lo que efectivamente logran algunos productos. La información de investigación de mercado también se recopila mediante métodos de comparación entre productos.

En un mercado competitivo, por lo tanto, el equipo de diseño debe tratar de asegurar que su producto satisfaga los requerimientos de los clientes en una mejor forma que los productos competidores. En consecuencia, el rendimiento de la competencia se analiza particularmente con respecto a los atributos del producto que tienen una elevada ponderación en importancia relativa. Algunas de estas medidas de rendimiento serán objetivas y cuantitativas, en tanto que otras serán comparaciones subjetivas hechas por los clientes. De cualquier modo, aun cuando puedan hacerse mediciones objetivas, éstas deben verificarse contra las percepciones de los clientes, las cuales podrían no corresponder con las medidas objetivas.

Al momento de diseñar un nuevo producto, puede darse el caso de que no existan muchos productos competidores, pero eso es poco usual; la mayoría de los diseños de productos tienen que competir contra productos que ya se encuentran en el mercado. En el caso en que un equipo de diseño esté rediseñando o mejorando un producto existente, este paso del procedimiento no sólo resalta los puntos donde pueden ser necesarias mejoras al producto del equipo de diseño, sino también en qué puntos el producto tiene ventajas sobre la competencia, y que deberán conservarse. Las calificaciones de rendimiento del propio producto y el de la competencia deberán acomodarse en forma de lista frente al conjunto de atributos del producto.

Elaborar una matriz de atributos del producto contra las características de ingeniería

Como se sugirió anteriormente, los clientes no son expertos y, por lo tanto, generalmente no pueden especificar sus requerimientos en términos de las características de ingeniería del producto que influyen en los requerimientos. Por ejemplo, el comprador de un automóvil podría saber lo que se siente con el atributo "capacidad de respuesta" pero es poco probable que pueda referirse a éste en

términos del par de torsión del motor. Por lo tanto, es necesario que el equipo de diseño identifique las características de ingeniería de su producto que satisfacen o influyen de alguna forma en los requerimientos del cliente. Por ejemplo, el peso global de un automóvil, así como el par de torsión del motor, influirán en su "capacidad de respuesta".

Las características de ingeniería deben ser reales y factibles de medirse para que el diseñador de ingeniería tenga algún control sobre ellas. Es comprensible que los clientes sean más bien vagos en sus requerimientos, o que los expresen en términos desafortunadamente subjetivos, pero el diseñador de ingeniería sólo puede trabajar con los parámetros cuantitativos de características de ingeniería identificables. Es a través del ajuste de los parámetros de dichas características que el diseñador influye en el rendimiento, así como en la percepción que el cliente tiene del producto. Por lo tanto, es necesario hacer un esfuerzo considerable para identificar las características de ingeniería apropiadas y asegurar que cada una de éstas se pueda expresar en unidades que puedan ser medidas.

Por supuesto, no todas las características de ingeniería afectan a todos los atributos del producto; en consecuencia, la elaboración de una matriz le permitirá al equipo identificar qué características afectan a qué atributos. Es usual hacer una lista de los atributos en forma vertical, junto con sus pesos relativos, en el borde izquierdo de la matriz y las características de manera horizontal, a lo largo del borde superior. De esta forma, los atributos forman las filas de la matriz, y las características forman las columnas. Cada celda de la matriz representa una interacción potencial o relación entre una característica de ingeniería y un requerimiento del cliente.

En el borde derecho de la matriz se puede hacer una lista de los resultados de la evaluación de los productos competidores, con las calificaciones por los atributos de los productos competidores y el propio producto. A lo largo del borde inferior de la matriz está el lugar usual para anotar las unidades de medición de las características de ingeniería. Si ya existe un producto y se está rediseñando, entonces también pueden insertarse aquí los propios valores del producto para estas características, junto con los valores obtenidos por los productos competidores.

Identificar las relaciones entre las características de ingeniería y los atributos del producto

La verificación de las celdas de la matriz hace posible identificar en qué parte influyen algunas características de ingeniería en determinado atributo del producto. No todas las relaciones entre características y atributos son de igual valor. Es decir, algunas características tienen una fuerte influencia sobre algunos atributos, en tanto que otras sólo ejercen una influencia débil.

Por lo tanto, el equipo de diseño trabaja en forma metódica en toda la matriz, haciendo un registro en las celdas cuando se presenta una relación, junto con la fuerza de dicha relación. Para representar la fuerza de la relación a veces se utilizan números (por ejemplo, 6 para una relación fuerte, 3 para una relación de mediana fuerza, 1 para una relación débil), o pueden emplearse símbolos. Cuando se utilizan números es posible introducir un segundo valor en cada celda, que es el peso relativo del atributo multiplicado por la fuerza de la relación. Las calificaciones más altas de estos valores permiten identificar fácilmente en dónde hacer el ajuste de características de ingeniería para tener una gran influencia en la percepción global que los clientes tienen del producto. Sin embargo, a menos que se puedan establecer medidas exactas de la fuerza de estas relaciones, deberá recordarse que los números implican una exactitud falsa.

Identificar las interacciones relevantes entre las características de ingeniería

Es común que exista una interacción entre las características de ingeniería, particularmente en términos de su influencia sobre la percepción que los clientes tienen del producto. Por ejemplo, un motor de gran potencia probablemente también será más pesado, incrementando de esta forma el peso del vehículo, sin que aumente necesariamente la "capacidad de respuesta" percibida. Estas interacciones pueden ser positivas o negativas.

Una forma sencilla de verificar estas interacciones consiste en agregar otra sección a la matriz correspondiente. Esta nueva sección generalmente se agrega en la parte superior de la matriz. Como proporciona a la matriz un "techo" en forma triangular, al diagrama resultante se le conoce como la "casa de la calidad" (vea el ejemplo desarrollado, figura 48).

Con esta matriz se puede hacer una verificación sistemática de las interacciones entre las características de ingeniería y determinar si estas interacciones son negativas o positivas. Sin embargo, para completar la matriz con "techo" deben hacerse muchas suposiciones acerca del diseño final y recordarse que los cambios en el concepto del diseño pueden dar por resultado cambios en estas interacciones.

Establecer las cifras meta que deben alcanzarse en las características de ingeniería

El equipo de diseño tiene ya en este punto del método una muy buena idea del diseño de su producto, incluyendo las percepciones de los clientes y las que se tienen de los productos competidores, así como de la forma en que las características de ingeniería del producto se relacionan con los requerimientos del cliente. En este paso del procedimiento el equipo determina las metas que pueden fijarse

para los parámetros que se pueden medir de las características de ingeniería a fin de satisfacer los requerimientos del cliente o mejorar el producto sobre el de sus competidores.

Por supuesto, en una situación competitiva es importante saber los logros de los competidores en las características de sus productos, por lo que sería necesaria una investigación detallada de dichos productos. El equipo de diseño puede entonces fijar sus metas, que deben ser mejores que las de la competencia. A veces será necesario realizar pruebas con los clientes para determinar las cifras aceptables para las metas. Esto es similar a la determinación de valores en una especificación del rendimiento.

Resumen

Finalidad

Establecer las metas que deben alcanzarse en las características de ingeniería de un producto, de manera que satisfagan los requerimientos del cliente.

Procedimiento

1. Identificar los requerimientos del cliente en términos de los atributos del producto.
Es importante reconocer "la voz del cliente" y que los requerimientos expresados no estén sujetos a una "reinterpretación" por parte del equipo de diseño.
2. Determinar la importancia relativa de los atributos.
Se pueden emplear técnicas de clasificación o de asignación de puntos para determinar los pesos relativos de los diversos atributos. Normalmente se emplean pesos porcentuales.
3. Evaluar los atributos de los productos de la competencia.
Las calificaciones de rendimiento de los productos de la competencia y del propio producto (si ya existe una versión de éste) deberán acomodarse en una lista para compararse contra el conjunto de los requerimientos del cliente.
4. Dibujar una matriz de los atributos del producto contra las características de ingeniería.
Incluir todas las características de ingeniería que influyan en alguno de los atributos del producto y asegurarse de que se expresen en unidades que se pueden medir.
5. Identificar las relaciones entre las características de ingeniería y los atributos del producto.
La fuerza de las relaciones puede indicarse mediante símbolos o números; el empleo de números tiene ciertas ventajas, pero puede introducir una "exactitud" espuria.

6. Identificar las interacciones relevantes entre las características de ingeniería.

La matriz con "techo" de la "casa de la calidad" proporciona esta verificación, pero puede depender de los cambios en el concepto del diseño.

7. Fijar las cifras meta que deben alcanzarse en las características de ingeniería.

Utilizar información de los productos de la competencia o de pruebas con los clientes.

Ejemplos

Ejemplo 1: Salpicadera para bicicleta

Este ejemplo es de un producto relativamente sencillo, pero ilustra la gran cantidad de esfuerzo que es necesario en el diseño para satisfacer los requerimientos del cliente, incluso en productos sencillos. Se trata de un diseño para un nuevo tipo de producto —una salpicadera desmontable para la rueda trasera de bicicletas de montaña—. Normalmente dichas bicicletas no tienen salpicaderas, pero se consideró que una salpicadera desmontable sería un producto potencialmente deseable en aquellos casos en que el ciclista no desea que se ensucie su ropa con el agua y lodo lanzados por la rueda posterior.

La figura 44 muestra la matriz de interacciones de despliegue de la función de calidad preparada para este problema de diseño. El equipo de diseño entrevistó a ciclistas de montaña y les preguntó qué características les gustaría ver incorporadas en una salpicadera desmontable, y luego organizaron esta información (conservando "la voz del cliente" tanto como fue posible) en atributos del producto. También se agregaron requerimientos adicionales del patrocinador del proyecto, como costos, tiempo y requerimientos de fabricación. Todos se agruparon en listas en el borde izquierdo de la matriz.

Algunos de los requerimientos eran "ineludibles", es decir, deberían satisfacerse de manera absoluta, en tanto que otros podían ponderarse relativamente entre ellos. Estos pesos relativos se acomodan en una lista junto con los requerimientos; los requerimientos absolutos se indican con un asterisco.

Debido a que aún no existían en el mercado productos comparables, el equipo no podía evaluar los atributos de productos de la competencia. Sin embargo, decidieron hacer comparaciones con otros dos medios posibles para evitar que el lodo salpicara al ciclista —un guardafangos fijo y un impermeable—. Las evaluaciones de esas alternativas se indican en el borde derecho de la matriz.

		REQUERIMIENTOS DE INGENIERÍA													Puntos de referencia			
		Ponderación (total 100)	Pesos para colocar	Tiempo para colocar	Pesos para desmontar	Tiempo para desmontar	# de partes	# de herram. no estándar requeridos	# de herram. estándar requeridos	Peso de todas las partes	Fuerza para catarse el desprendimiento	Adaptación a bicicletas (actualmente en el mercado)	Rigidez (lateral)	% de agua bloqueada	Salpicaderas no removible	Impermeable		
REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	Desempeño funcional	Impide que el agua llegue al ciclista	*												9	4	5	
		Montar/desmontar	Fácil de colocar	7	9	3			3	3	9						1	4
			Fácil de desmontar	4	3	9			3	3							1	5
			Rápida de colocar	3			9	3	3	3	9						1	4
			Rápida de desmontar	1			3	9	3	3							1	5
			Pueda colocarse cuando la bicicleta esté sucia	3					3	3							1	3
	Pueda desmontarse cuando la bicicleta esté sucia	1					3	3							1	5		
	Funcionamiento con la bicicleta	No dañe	10	1	1	1	1			1						3	5	
		No atrape agua, etc.	7					9								3	5	
	Integridad estructural	No traquete	8	1		1		3								3	3	
		No bambolee	7	1		1		3					9			2	2	
		No se doble	4	1		1		3					3			3	N/A	
		Larga vida	11	1		1		3								3	2	
		Peso ligero	7					3			9					5	3	
		No se desprenda accidentalmente	10								9					5	N/A	
	Restricciones de espacio	No interferencia	Adaptación	7								9				4	5	
			Con ciclista	*												5	1	
			Con tren de transmisión	*												5	3	
Con luces y generador			*												4	4		
Con frenos			*												4	3		
Con canastilla			*												5	3		
Apariencia	Aerodinámico	5													5	5		
	Color popular	5													2	1		
Tiempo	Desarrollo en 3 meses	*													1	5		
	Comercializable en 12 meses	*													1	5		
Costo	Capital mínimo < \$15,000 dólares	*													1	5		
	Fabricación < \$3 dólares cada una	*													5	5		
Manufatura	200,000/año durante 5 años	*													1			
	Usar instalaciones existentes	*													1			
Unidades			#	seg	#	seg	#	#	#	oz	lb	%	in/pulg	%				
Metas			1	2	2	3	2	0	0	8	10	95	.01	95				
Defensa no removible			4	300	4	200	3	0	2	8	300	100	.01	95				
Impermeable			3	15	3	5	1	0	0	6	?	100	Bajo	100				

Figura 44 Matriz de interacciones de requerimientos para la salpicadera de bicicleta

A continuación se establecieron las características de ingeniería para el diseño de una salpicadera, relacionándolas con los atributos deseados del producto. Por ejemplo, el atributo "fácil de montar" podría medirse mediante 1) el número de pasos necesarios para montarla, 2) el tiempo necesario para el montaje, 3) el número de partes necesarias y 4) el número de herramientas estándar necesarias. Estas características (que en el ejemplo se denominaron "requerimientos del ingeniero") se anotan a lo largo de la parte superior de la matriz, y en las celdas apropiadas de la matriz se muestran los valores para la fuerza de las relaciones entre las características y los atributos.

Finalmente, en la parte inferior de la matriz se anotan las unidades mediante las cuales pueden medirse las características de ingeniería, y las metas fijadas para el diseño del nuevo producto en comparación con las alcanzadas por otras alternativas. De esta forma, el equipo de diseño obtuvo un panorama completo de este novedoso problema de diseño y determinó un conjunto de metas factibles de ser medidas que el diseño debía alcanzar. (Fuente: Ullman).

Ejemplo 2: Taladro accionado por baterías

Figura 45 "Casa de la calidad" para el diseño de un taladro accionado por baterías

Este ejemplo se refiere a un proyecto para diseñar un taladro manual accionado por baterías para el mercado profesional. Se utilizó para demostrar algunos de los principios del despliegue de la función de calidad, especialmente las matrices de interacciones de la "casa de la calidad", que se muestran en la figura 45.

Se muestra una lista sencilla de los atributos del producto (columna AC, o "atributos del cliente") junto con las características de ingeniería correspondientes (fila CI). Con las CI se indican signos

AC	CI				
	Potencia máxima ↑	Par de torsión ↑	Capacidad de trabajo ↑	Masa ↓	Vida de la herramienta ↑
Uso continuo de la herramienta	25		9	3	
Herramienta potente	25	9	9		
Herramienta de propósitos múltiples	20	6	6		
Herramienta fácil de manejar	20			9	
Herramienta duradera	25				9
Importancia atribuida	1.5	1.5	1.0	1.1	1.0
Unidades	W	Nm	kJ	kg	hrs
Valores de la competencia	85	1.5	25	1.59	1000
Metas					

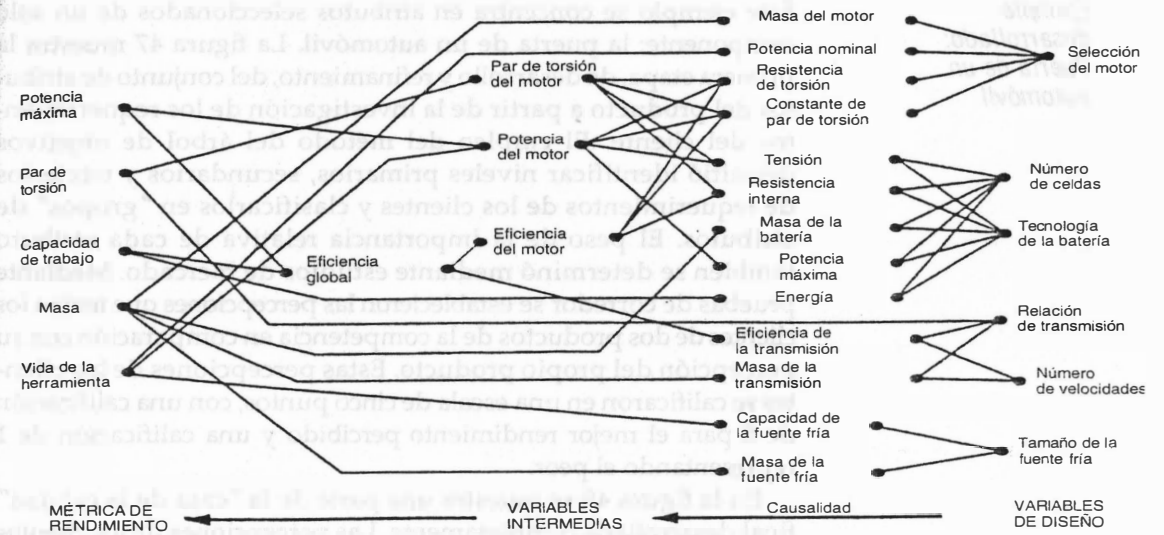


Figura 46 Red de propiedades físicas que influyen en las características de ingeniería del taladro accionado por baterías

positivos o negativos para indicar el deseo de aumentar o disminuir el valor de una característica. En el cuerpo de la matriz se han insertado valores para las fuerzas de las relaciones entre los atributos y las características, y el "techo" se ha completado parcialmente para la interacción entre las CI. La información suplementaria en la parte inferior de la matriz incluye los valores CI que obtuvo el principal producto competidor y la "importancia atribuida" a cada CI. Éste es un valor que se deriva calculando las sumas ponderadas de las relaciones entre CI y AC. Estos valores relativos indican en dónde podría tener mayor influencia el cambio de una característica de ingeniería.

Las complejidades de las características de ingeniería mismas se ilustran en la figura 46; la red corresponde a las propiedades que influyen en las características de ingeniería. Por ejemplo, la característica del "par de torsión" se determina mediante la relación de transmisión y el par de torsión del motor. A su vez, el par de torsión se determina mediante la resistencia de torsión, la constante de par de torsión, el voltaje y la resistencia interna. De esta forma, los "parámetros de rendimiento" o características de ingeniería, se determinan mediante una compleja red de variables de diseño o propiedades físicas. Es precisamente mediante la determinación de estas variables básicas que el diseñador de ingeniería satisface finalmente los requerimientos del cliente. (Fuente: Ramaswamy y Ulrich).

Ejemplo desarrollado: Puerta de un automóvil

Este ejemplo se concentra en atributos seleccionados de un solo componente: la puerta de un automóvil. La figura 47 muestra la primera etapa, de desarrollo y refinamiento, del conjunto de atributos del producto a partir de la investigación de los requerimientos del cliente. El empleo del método del árbol de objetivos permitió identificar niveles primarios, secundarios y terciarios de requerimientos de los clientes y clasificarlos en "grupos" de atributos. El peso de la importancia relativa de cada atributo también se determinó mediante estudios de mercado. Mediante pruebas de corredor se establecieron las percepciones que tenían los clientes de dos productos de la competencia en comparación con su percepción del propio producto. Estas percepciones de los clientes se calificaron en una escala de cinco puntos, con una calificación de 5 para el mejor rendimiento percibido y una calificación de 1 representando el peor.

En la figura 48 se muestra una parte de la "casa de la calidad" final desarrollada completamente. Las percepciones de los clientes acerca del rendimiento de los productos de la competencia se muestran gráficamente del lado derecho.

Se determinaron medidas objetivas de las características relevantes de ingeniería para el producto actual y dos productos de la competencia, las cuales se muestran abajo de la matriz. En el

Figura 47
Análisis del árbol de objetivos de los requerimientos del cliente para la puerta de un automóvil

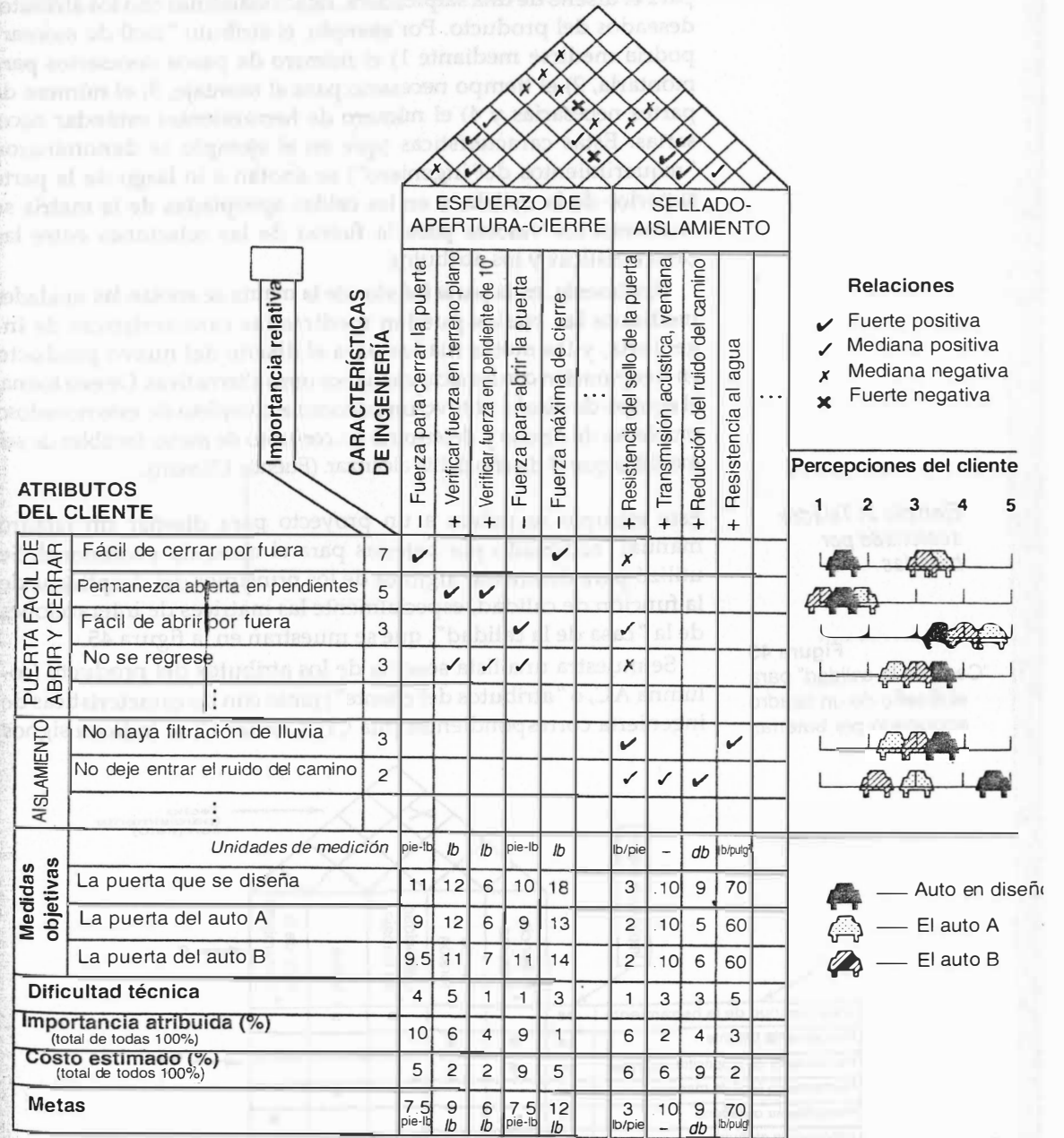


Figura 48 "Casa de la calidad" (parcial) para la puerta del automóvil

“techo” de la matriz se muestran las interacciones positivas y negativas entre las CI. Finalmente, en la línea inferior están las metas que se fijaron para un rediseño de la puerta del automóvil, después de considerar no sólo la importancia atribuida, sino también la dificultad técnica y el costo estimado de las mejoras en el diseño actual. (Fuente: Hauser y Clausing).

8 Generación de alternativas

La generación de soluciones es, por supuesto, el aspecto esencial y central del diseño. Ya sea que uno lo vea como un acto misterioso de creatividad o como un proceso lógico de solución de problemas, todo el propósito del diseño es hacer una propuesta de algo nuevo —algo que todavía no existe—.

Mucho de lo que se escribe y se enseña en el diseño se centra, por lo tanto, en productos o máquinas nuevas, que parecen surgir de manera espontánea de la mente del diseñador. Sin embargo, esto pasa por alto el hecho de que la mayor parte de los diseños son en realidad una variante o una modificación de un producto que ya existe. Los clientes y los consumidores finales, por lo general, prefieren las mejoras a las innovaciones.

En consecuencia, una característica importante de la actividad de diseño es hacer variantes sobre temas establecidos. También es la forma en la que se desarrolla en realidad gran parte del pensamiento creativo. En particular, la creatividad puede verse en muchos casos como un nuevo arreglo o una nueva combinación de elementos existentes.

Este reordenamiento creativo es factible debido a que es posible combinar un número relativamente pequeño de elementos o componentes básicos en un gran número de formas diferentes. Esto se demuestra con el ejemplo sencillo del arreglo de cuadrados adyacentes en patrones:

Núm. de cuadrados	Núm. de arreglos de formas distintas
2	1
3	2
4	5
5	12
6	35
7	108
8	369
.	.
.	.
.	.
16	13 079 255

El número de diferentes arreglos, es decir, patrones o diseños, pronto se convierte en una "explosión combinatoria" de posibilidades.

El método del diagrama morfológico explota este fenómeno y motiva al diseñador a identificar combinaciones novedosas de elementos o componentes. El diagrama presenta la gama completa de elementos, componentes o soluciones secundarias que pueden combinarse para formar una solución. El número de combinaciones posibles generalmente es muy elevado, e incluye no sólo las soluciones convencionales existentes, sino también una amplia gama de variantes y soluciones completamente novedosas.

El principal propósito de este método es ampliar la búsqueda de nuevas soluciones posibles. La morfología estudia la forma. Por lo tanto, un análisis morfológico es un intento sistemático para analizar la forma que puede asumir un producto o una máquina y un diagrama morfológico es un resumen de este análisis. En el diagrama se pueden seleccionar diferentes combinaciones de soluciones secundarias, lo que puede conducir a nuevas soluciones que no se habían identificado anteriormente.

El método del diagrama morfológico

Procedimiento

Hacer una lista de las características o funciones que son esenciales para el producto

El propósito de la lista es tratar de establecer los aspectos esenciales que deben incorporarse en el producto, o que éste debe ser capaz de realizar. En consecuencia, estos aspectos generalmente se expresan en términos más bien abstractos de requerimientos o funciones del producto. En el método del diagrama morfológico, dichos aspectos se conocen como los "parámetros" de diseño. Al igual que en muchos otros métodos de diseño, en vez de pensar en términos de los componentes físicos que podría tener un producto típico, se tiene que pensar en las funciones a las que sirven dichos componentes.

Los elementos de la lista deben tener el mismo nivel de generalidad y ser tan independientes uno del otro como sea posible. También deben cubrir completamente las funciones necesarias del producto o la máquina a diseñar. No obstante, la lista no debe ser demasiado larga; si lo es, la gama de combinaciones posibles de soluciones secundarias puede resultar tan grande que sea difícil de manejar. Una lista razonable y manejable debe tener de cuatro a ocho características o funciones, aproximadamente.

El método del diagrama morfológico

Anotar medios por los cuales cada característica o función podría realizarse

Estas listas secundarias son las soluciones secundarias individuales que, al combinarse, una de cada lista, forman la solución general de diseño. Estas soluciones secundarias también se pueden expresar en términos más bien generales, pero probablemente sea mejor si pueden identificarse como componentes reales o formas físicas. Por ejemplo, si una de las "funciones" de un vehículo es que tenga potencia motriz, entonces los diferentes "medios" para lograr esto podrían ser motores que usen diferentes combustibles —es decir, gasolina, diesel, electricidad, gas—.

Las listas de medios pueden incluir no sólo a los componentes convencionales existentes o las soluciones secundarias del producto particular, sino también elementos nuevos que sean considerados como factibles.

Elaborar un diagrama que contenga todas las soluciones secundarias posibles

El diagrama morfológico se construye a partir de las listas anteriores. Al principio, este diagrama es simplemente una rejilla de cuadros vacíos. Verticalmente, del lado izquierdo, se incluyen las características o funciones esenciales del producto —es decir, la primera lista que se elaboró—. A continuación, en cada fila del diagrama se introducen las listas secundarias apropiadas de soluciones secundarias o medios para realizar las funciones. No hay una relación dentro de las columnas del diagrama; los distintos cuadros son simplemente ubicaciones convenientes para los distintos elementos. Por ejemplo, podría haber tres medios para realizar la primera función, cinco medios para realizar la segunda función, dos medios para realizar la tercera, etc.

Una vez terminado, el diagrama morfológico contiene la gama completa de todas las formas diferentes de solución teóricamente posibles para el producto. Esta gama completa de soluciones la integran las combinaciones que se forman al seleccionar de cada fila una solución secundaria a la vez. Por lo tanto, el número total de combinaciones casi siempre es muy grande. Por ejemplo, si sólo hubiera tres filas (funciones), con tres cuadros (medios) en la primera fila, cinco en la segunda y dos en la tercera, entonces el conjunto completo de combinaciones posibles sería de $3 \times 5 \times 2 = 30$. Debido a esta explosión combinatoria potencial, la lista de medios para cada función deberá mantenerse razonablemente breve.

Identificar las combinaciones factibles de soluciones secundarias

Obviamente, la gama completa de combinaciones posibles para cualquier producto puede ser un número muy grande. Algunas de estas combinaciones —probablemente un número pequeño— serán soluciones existentes; otras serán nuevas soluciones factibles; y probablemente un gran número más serán soluciones imposibles,

ya sea por razones de aplicación práctica o debido a que algunos pares particulares de soluciones secundarias pudieran ser incompatibles.

Si el número total de combinaciones posibles no es muy grande, entonces quizás se pueda anotar cada combinación y de esta forma establecer el rango completo de soluciones. Cada solución potencial puede entonces ser considerada y elegirse una o más de las mejores soluciones (por razones de costo, rendimiento, novedad, o cualquier criterio que sea importante) para futuro desarrollo.

Si —como es muy probable— el número total de combinaciones posibles es muy grande, entonces deben encontrarse algunos medios para reducirlas a un número más manejable. Una forma consiste en elegir sólo un conjunto limitado de soluciones secundarias de cada fila —por ejemplo, aquéllas que se sabe que son eficientes o prácticas, o que se ven prometedoras por alguna otra razón. Otra forma consiste en identificar las soluciones secundarias no factibles, o pares incompatibles de soluciones secundarias, y de esta forma descartar las combinaciones que las incluyan.

Una búsqueda realmente exhaustiva de todas las combinaciones posibles en un diagrama morfológico requiere mucho trabajo paciente y tedioso. Es quizás una actividad en donde debe emplearse una computadora.

Resumen

Finalidad

Generar la gama completa de soluciones alternativas de diseño para un producto y ampliar de esta forma la búsqueda de nuevas soluciones potenciales.

Procedimiento

1. Hacer una lista de las características o funciones que sean esenciales para el producto. Sin que sea demasiado larga, la lista debe cubrir completamente las funciones, en un nivel apropiado de generalización.
2. Para cada característica o función, mencionar los medios con los cuales podría realizarse. Estas listas deben incluir nuevas ideas, así como componentes o soluciones secundarias existentes y conocidas.
3. Elaborar un diagrama que contenga todas las soluciones secundarias posibles. Este diagrama morfológico representa el espacio total de soluciones para el producto, conformado por las combinaciones de soluciones secundarias.

4. Identificar las combinaciones factibles de soluciones secundarias. El número total de combinaciones posibles puede ser muy grande y, por lo tanto, las estrategias de búsqueda tienen que guiarse por restricciones o criterios.

Ejemplos

Ejemplo 1: Configuración de un vehículo

Un ejemplo sencillo de un análisis morfológico aplicado a las configuraciones de un vehículo surgió en el curso del diseño de vehículos destinados a establecer marcas de velocidad en tierra y en agua, en donde era necesario definir las configuraciones más aceptables. Las funciones de los vehículos se definieron como:

Soporte
Transmisión
Estabilidad
Control

En cada caso, los medios para realizar estas funciones se clasificaron como terrestres, acuáticos o aéreos. El diagrama morfológico resultante se muestra en la figura 49. Otras posibles combinaciones que pueden ser objeto de definiciones de este tipo: un yate terrestre, una tabla para surfing aéreo, un aerodeslizador (hovercraft) o un deslizador de reacción hidráulica (hydrofoil). (Fuente: Norris).

Ejemplo 2: Máquina cosechadora de papas

Una mejora a la forma abstracta y redundante de los diagramas morfológicos puede hacerse usando —donde sea posible— representaciones pictóricas de los diferentes medios para realizar las funciones. En la figura 50 se muestra como ejemplo el diagrama morfológico de una máquina cosechadora de papas. En el diagrama se resalta una combinación seleccionada de soluciones secundarias. Se puede observar que se eligen dos soluciones secundarias para la función secundaria "separar piedras". Esto sugiere que cada solución secundaria no es realmente adecuada por sí misma, o que el diagrama morfológico no se construyó con suficiente cuidado —quizás "separar piedras" no es sólo una función secundaria, sino que necesita definirse con mayor cuidado—. (Fuente: Pahl y Beitz).

Ejemplo 3: Posicionador para soldadura

Un posicionador para soldadura es un dispositivo para soportar y sostener una pieza de trabajo y colocarla en una posición adecuada para soldarse. La figura 51 muestra un diagrama morfológico para uno de estos dispositivos, en el que se emplean palabras complemen-

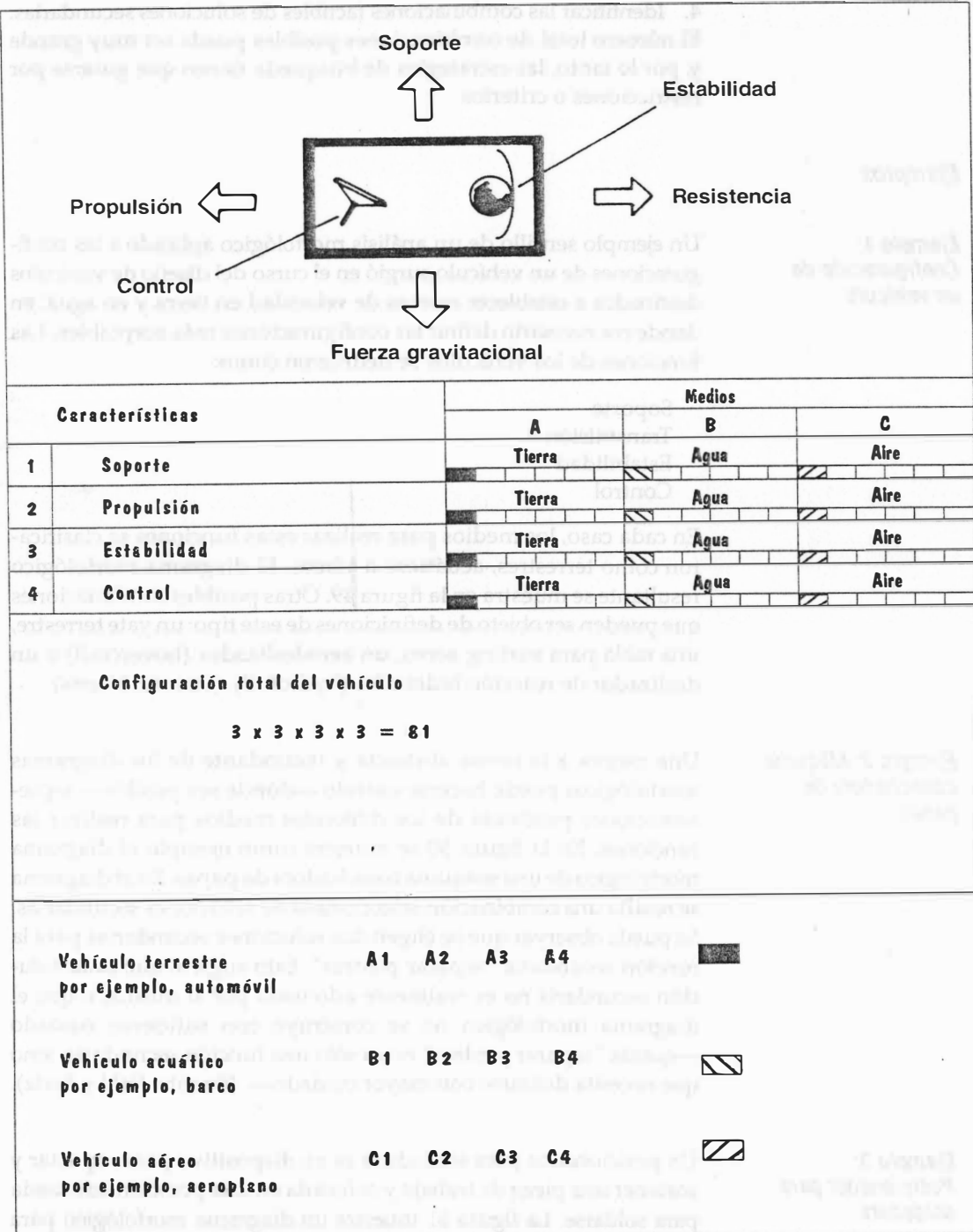


Figura 49 Diagrama morfológico de las configuraciones básicas del vehículo

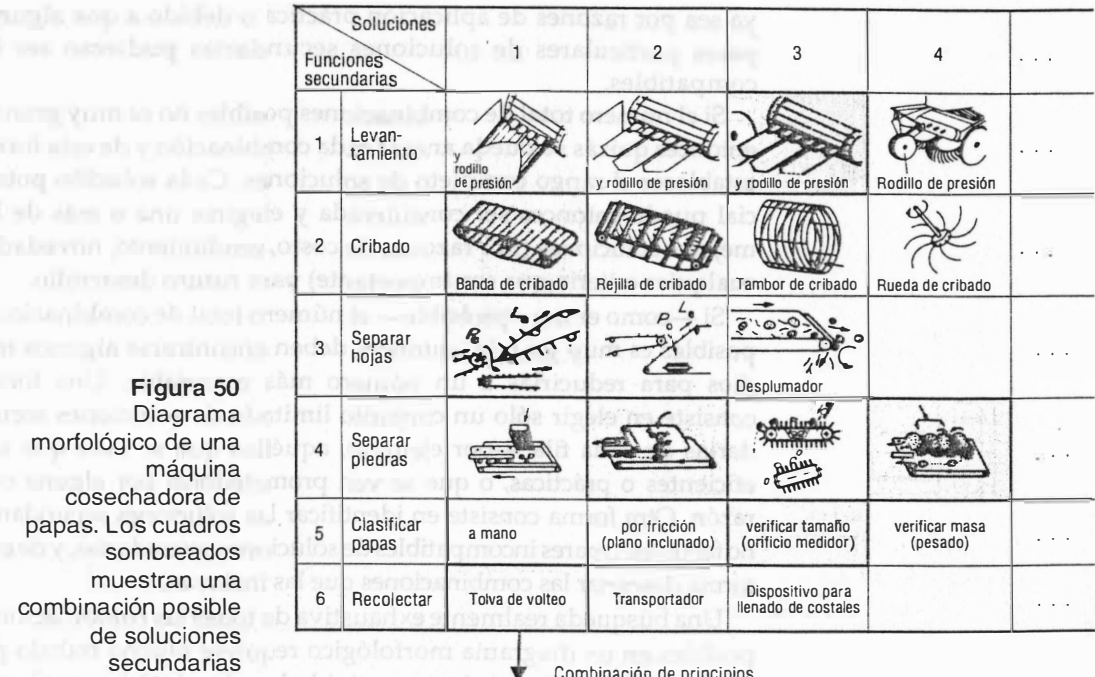


Figura 50 Diagrama morfológico de una máquina cosechadora de papas. Los cuadros sombreados muestran una combinación posible de soluciones secundarias

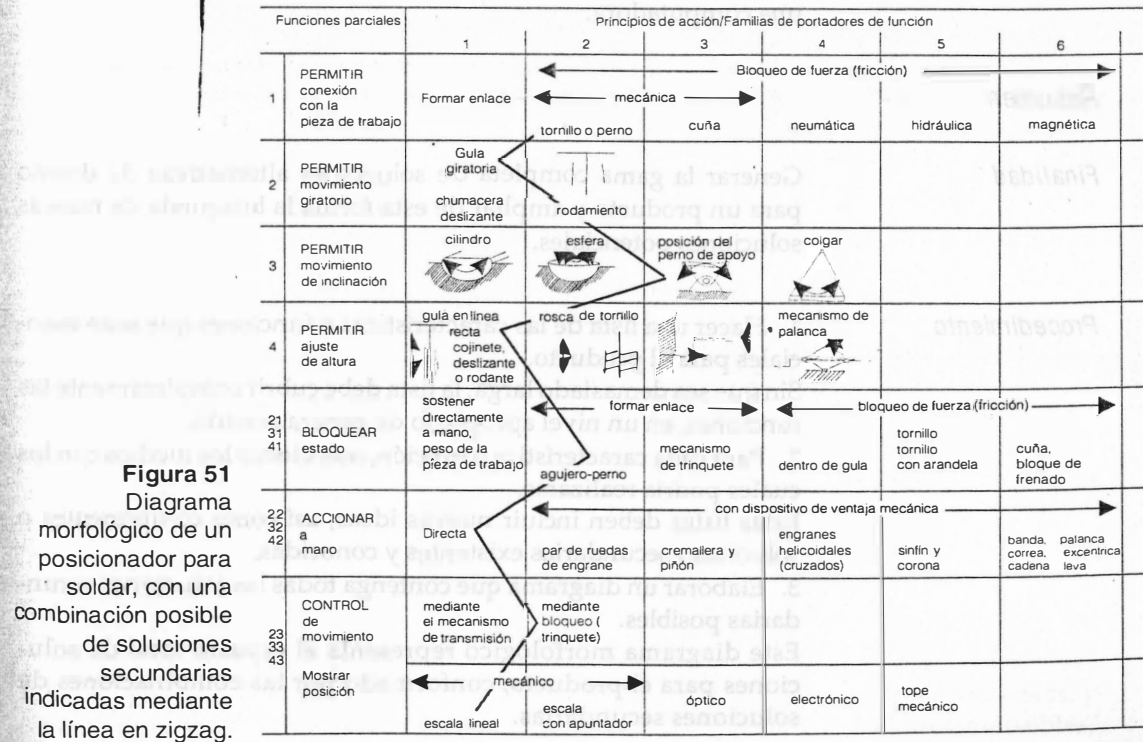


Figura 51 Diagrama morfológico de un posicionador para soldar, con una combinación posible de soluciones secundarias indicadas mediante la línea en zigzag.

Concepto					
Nota: Portadores de función para funciones 2.1, 3.1, 4.1, 2.2, 3.2, 4.2, 2.3, 3.3, 4.3 son compatibles con todas las combinaciones de funciones principales					
Combinaciones de portadores de función	Función 2	1	1	1	1
	Función 3	1	3 (2 pernos)	3 (palanca)	3 (1 perno)
	Función 4	1	1	1	1
Evaluación aproximada	Técnica (puntos débiles)		aproximadamente de igual valor (Función 3.1)		(Función 3.1)
	costos de fabricación	2	3	3	4
Orden de clasificación general		4	2	3	1

Figura 52
Cuatro combinaciones posibles del posicionador para soldar hechas en bosquejos de concepto

tadas con bosquejos. La línea en zigzag indica en el diagrama una combinación posible de soluciones secundarias. Incluso entonces se descubrió que había alternativas para la forma física real de algunas de las soluciones secundarias. Por ejemplo, los bosquejos de la figura 52 muestran configuraciones alternativas de los medios elegidos para permitir un movimiento inclinado. (Fuente: Hubka).

Ejemplo 4:
Acoplamiento de flechas

Este ejemplo muestra que incluso los componentes pequeños pueden someterse de manera útil a un análisis morfológico. El ejemplo es el de un acoplamiento de flechas similar al acoplamiento convencional "Oldham" que transmite un par de torsión incluso en el caso de desplazamientos radiales y axiales de las flechas. La figura 53 muestra una parte del diagrama morfológico que se elaboró. Un tipo de solución (A) se analizó en sus componentes y elementos (que se presentan en columnas, en vez de filas) y las diversas soluciones secundarias se indicaron mediante figuras y palabras. En los cuadros del diagrama se muestran dos nuevas combinaciones alternativas (B y C) mediante los diferentes conjuntos de puntos. La combinación (B) se desarrolló y patentó como un diseño nuevo; ver figura 54. (Fuente: Ehrlenspiel y John).

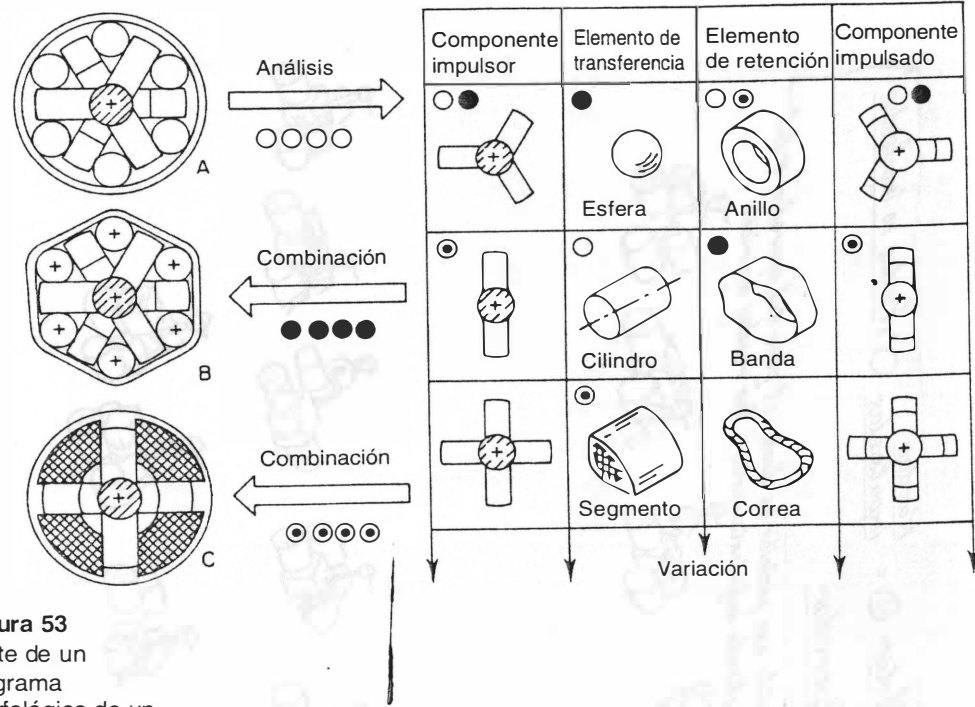


Figura 53
Parte de un diagrama morfológico de un acoplamiento de flechas

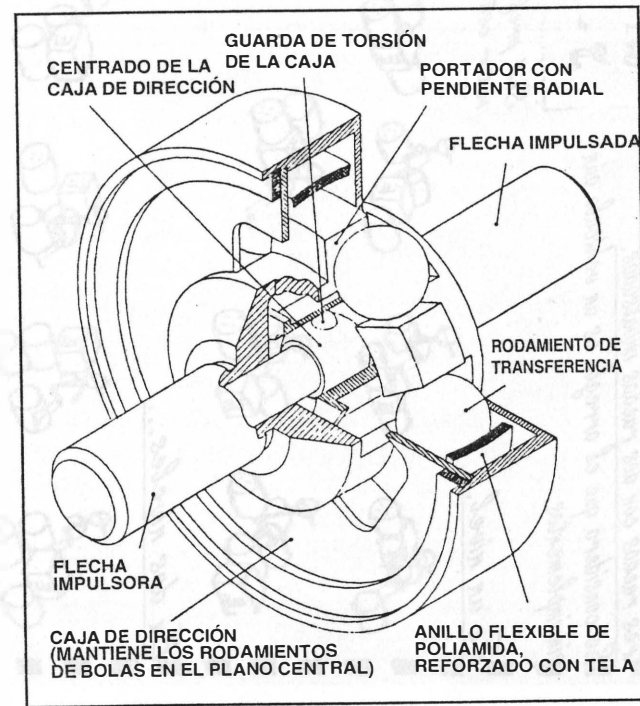


Figura 54
Diseño para una forma novedosa de acoplamiento, derivada de una de las combinaciones del diagrama morfológico

Ejemplo 5: Máquina para mantenimiento de campos deportivos

Este ejemplo muestra una adaptación de los principios del análisis morfológico. Se ocupa solamente del arreglo formal, o configuración, de los elementos básicos esenciales del producto y representa las configuraciones alternativas en términos puramente gráficos. El ejemplo es el de una máquina para mantenimiento de campos deportivos, y el análisis morfológico mostrado en la figura 55 explora las alternativas para configurar los elementos del operador, motor, ruedas motrices y ruedas impulsadas, y su disposición posible en uno, dos o tres niveles verticales. Los bosquejos muestran arreglos alternativos para una máquina de tres o de cuatro ruedas, en donde las opciones de los arreglos se han variado de manera sistemática para generar todas las configuraciones posibles de diseño.

Las opciones se evaluaron contra los criterios de diseño y se desarrolló una opción preferida, como se muestra en la figura 56. (Fuente: Tovey).

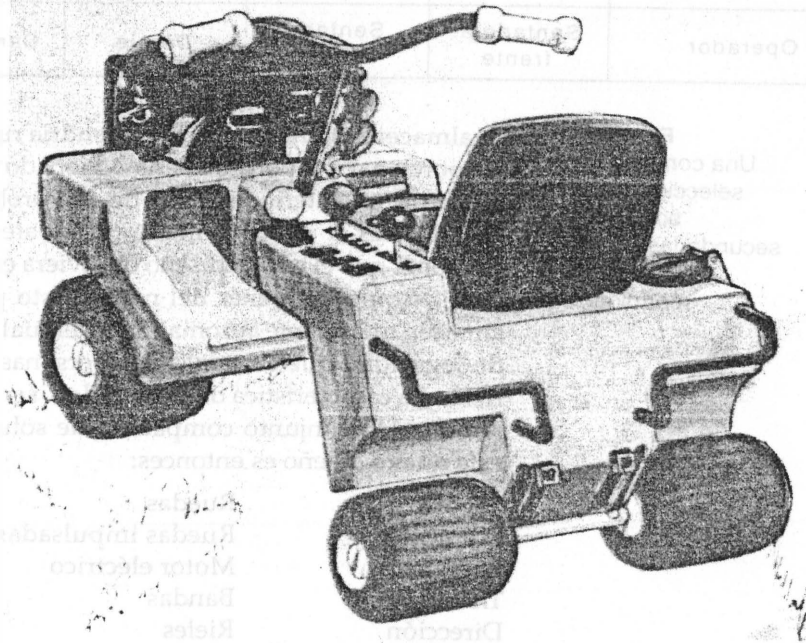


Figura 56
Bosquejo del diseño para una opción preferida, derivada del análisis morfológico

En este ejemplo se desean encontrar versiones alternativas del montacargas convencional utilizado para levantar y transportar cargas en fábricas, almacenes, etc. Si se investiga unas cuantas de estas máquinas se identifican las características genéricas esenciales como sigue:

Ejemplo desarrollado: Montacargas

1. Medios de soporte que permitan movimiento
2. Medios para mover el vehículo
3. Medios para dirigir el vehículo
4. Medios para detener el vehículo
5. Medios para levantar las cargas
6. Lugar del operador

Estas características parecen ser comunes a todos los montacargas, aunque las diferentes versiones tienen medios diferentes para realizar las funciones. Por ejemplo, la mayoría se desplaza sobre ruedas (medios de soporte) que permiten al vehículo ir a cualquier parte sobre una superficie plana, aunque algunos están restringidos a desplazarse sobre rieles.

Cuando se examinan los medios para mover el vehículo, se concluye que se trata de una característica demasiado general, por lo que se decide descomponerla en características separadas para a) los medios de propulsión (normalmente ruedas impulsadas), b) la fuente de energía (motor eléctrico, motor de gasolina o diesel) y c) el tipo de transmisión (engranes y flechas, bandas, hidráulica, etc.). La adición de algunas alternativas nuevas, y quizás extravagantes, a las alternativas convencionales, generaría una lista como la siguiente:

Característica	Medios
Soporte	Ruedas, pista, colchón de aire, plano inclinado, pies mecánicos
Propulsión	Ruedas impulsadas, empuje de aire, cable móvil, inducción lineal
Energía	Eléctrica, gasolina, diesel, gas embotellado, vapor
Transmisión	Engranajes y flechas, bandas, cadenas, hidráulica, cable flexible
Dirección	Ruedas giratorias, empuje de aire, rieles
Detención	Frenos, empuje reverso, trinquete
Levantamiento	Ariete hidráulico, cremallera y piñón, tornillo, cadena o cable de malacate
Operador	Sentado al frente, sentado atrás, de pie, caminando, control remoto

En la figura 57 se muestra un diagrama morfológico que incorpora estas listas. El cálculo de las posibles combinaciones o soluciones en este diagrama es de 90 000 diseños posibles de montacargas. Por supuesto, algunas no son soluciones prácticas, o implican opciones incompatibles —por ejemplo, un vehículo de colchón de aire no

Característica	Medios				
	Ruedas	Pista	Colchón de aire	Correderas	Pies mecánicos
Soporte	Ruedas	Pista	Colchón de aire	Correderas	Pies mecánicos
Propulsión	Ruedas impulsadas	Empuje de aire	Cable móvil	Inducción lineal	
Energía	Eléctrica	Gasolina	Diesel	Gas embotellado	Vapor
Transmisión	Engranajes y flechas	Bandas	Cadenas	Hidráulica	Cable flexible
Dirección	Ruedas de giro	Empuje de aire	Rieles		
Detención	Frenos	Empuje inverso	Trinquete		
Levantamiento	Ariete hidráulico	Cremallera y piñón	Tornillo	Malacate de cadena o de cable	
Operador	Sentado al frente	Sentado atrás	De pie	Caminando	Control remoto

Figura 57
Diagrama morfológico de un montacargas

podría tener un sistema de dirección por ruedas—. Un montacargas típico y convencional comprendería el siguiente conjunto de opciones del diagrama:

Soporte	Ruedas
Propulsión	Ruedas impulsadas
Energía	Motor diesel
Transmisión	Engranajes y flechas
Dirección	Ruedas giratorias
Detención	Frenos
Levantamiento	Cremallera y piñón
Operador	Sentado atrás

La inclusión de unas cuantas opciones no convencionales en el diagrama sugiere algunas posibilidades de diseños radicalmente nuevos. Por ejemplo, la idea de "pies mecánicos" (es decir, mecanismos para caminar, similares a piernas y pies) podría conducir a diseños apropiados para ser utilizados en terrenos difíciles como sitios de construcción —o incluso capaces de subir escalones—.

El diagrama también puede utilizarse para ayudar a generar algunas ideas de diseño algo menos extravagantes, pero novedosas, no obstante. Por ejemplo, la idea de emplear rieles para la dirección muy bien podría ser apropiada en grandes almacenes, en donde los rieles podrían instalarse en los pasillos entre los estantes

Característica	Medios				
	Ruedas	Pista	Colchón de aire	Correderas	Pies mecánicos
Soporte	Ruedas	Pista	Colchón de aire	Correderas	Pies mecánicos
Propulsión	Ruedas impulsadas	Empuje de aire	Cable móvil	Inducción lineal	
Energía	Eléctrica	Gasolina	Diesel	Gas embotellado	Vapor
Transmisión	Engranajes y flechas	Bandas	Cadenas	Hidráulica	Cable flexible
Dirección	Ruedas de giro	Empuje de aire	Rieles		
Detención	Frenos	Empuje inverso	Trinquete		
Levantamiento	Ariete hidráulico	Cremallera y piñón	Tornillo	Malacate de cadena o de cable	
Operador	Sentado al frente	Sentado atrás	De pie	Caminando	Control remoto

Figura 58
Una combinación seleccionada de soluciones secundarias a partir del diagrama morfológico

de almacenamiento. El vehículo tendría ruedas para soporte y para proporcionar propulsión. Sería accionado eléctricamente ya que se utilizaría en interiores. Uno de los problemas de los vehículos eléctricos es el poder limitado de la batería, por lo que se podría proponer que el nuevo diseño obtuviera energía de un riel eléctrico vivo —como los trenes del metro. Esto podría ser factible en un almacén totalmente automatizado, el cual no tendría los problemas de seguridad que existen si las personas tienen que atravesar los rieles. La característica del "operador" sería, por lo tanto, de control remoto. Un conjunto compatible de soluciones secundarias para este nuevo diseño es entonces:

Soporte	Ruedas
Propulsión	Ruedas impulsadas
Energía	Motor eléctrico
Transmisión	Bandas
Dirección	Rieles
Detención	Frenos
Levantamiento	Tornillo
Operador	Control remoto

Este conjunto se muestra como una selección del diagrama morfológico de la figura 58.

La parte de especial importancia en este método de representación de los datos, al igual que en los métodos de representación de los datos, es el hecho de que el diseñador puede, en la representación de los datos, representar los datos de manera que sea posible hacer que los datos sean más comprensibles. Para ello, el diseñador puede utilizar un lenguaje de programación que sea más comprensible para el diseñador. Esto puede ser un lenguaje de programación que sea más comprensible para el diseñador. Esto puede ser un lenguaje de programación que sea más comprensible para el diseñador.

Al igual que en los métodos de representación de los datos, el diseñador puede, en la representación de los datos, representar los datos de manera que sea posible hacer que los datos sean más comprensibles. Para ello, el diseñador puede utilizar un lenguaje de programación que sea más comprensible para el diseñador. Esto puede ser un lenguaje de programación que sea más comprensible para el diseñador.

El proceso de representación de los datos puede ser un proceso de representación de los datos que sea más comprensible para el diseñador. Esto puede ser un lenguaje de programación que sea más comprensible para el diseñador.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z																								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

El proceso de representación de los datos puede ser un proceso de representación de los datos que sea más comprensible para el diseñador. Esto puede ser un lenguaje de programación que sea más comprensible para el diseñador.

El proceso de representación de los datos puede ser un proceso de representación de los datos que sea más comprensible para el diseñador. Esto puede ser un lenguaje de programación que sea más comprensible para el diseñador.

El proceso de representación de los datos puede ser un proceso de representación de los datos que sea más comprensible para el diseñador. Esto puede ser un lenguaje de programación que sea más comprensible para el diseñador.

9 Evaluación de alternativas

Una vez que se ha creado una serie de diseños alternativos, el diseñador enfrenta el problema de seleccionar el mejor. En varios puntos del proceso de diseño, quizás también deban tomarse decisiones sobre soluciones secundarias alternativas o características alternativas y su posible incorporación en el diseño final. En consecuencia, la elección entre diferentes alternativas es una característica común de la actividad de diseño.

La elección puede hacerse con base en conjeturas, intuición, experiencia, o tomando una decisión arbitraria. Sin embargo, es mejor si la elección se hace mediante un procedimiento más lógico, o por lo menos abierto. No sólo el diseñador se sentirá más seguro de su elección, sino que las otras personas implicadas en la toma de decisiones, o sea los clientes, los gerentes y los colegas en el equipo de diseño, podrán participar en la elección, o evaluar su validez.

Si en el proceso de diseño ya se utilizaron algunos de los métodos de diseño anteriores, entonces deberá haber información disponible para guiar la elección entre las alternativas. Por ejemplo, las propuestas de diseño pueden verificarse contra los criterios establecidos por el método de especificación del rendimiento; además, si los objetivos de diseño se han establecido mediante el método del árbol de objetivos, entonces pueden utilizarse en la evaluación de diseños alternativos.

De hecho, la evaluación de alternativas sólo puede hacerse si se toman en consideración los objetivos que se supone debe alcanzar el diseño. Una evaluación determina el "valor" o "utilidad" global de una propuesta de diseño particular con relación a los objetivos de diseño. Sin embargo, puede considerarse que cada objetivo tiene diferente "valor" comparado con los otros, es decir, se considera más importante. Por lo tanto, generalmente resulta necesario tener algún medio para ponderar diferencialmente los objetivos, de tal manera que los rendimientos de los diseños alternativos puedan evaluarse y compararse a lo largo de todo el conjunto de objetivos.

El método de *objetivos ponderados* es un medio para evaluar y comparar los diseños alternativos, empleando objetivos diferencialmente ponderados. Este método asigna pesos numéricos a los objetivos y calificaciones numéricas a los rendimientos de los diseños alternativos medidos contra los objetivos correspondientes. Sin embargo, debe hacerse hincapié en que tales calificaciones y ponderaciones pueden conducir a una persona incauta a cierta aritmética muy dudosa. La simple asignación de números a los objetivos, u objetos, no significa que se les puedan aplicar operaciones aritméticas. Por ejemplo, si a un jugador de fútbol se le asigna el número 9, no es necesariamente tres veces mejor, o vale tres veces más, que un jugador al que se le asigna el número 3, ¡aun cuando pudiera anotar tres veces más goles! Las operaciones aritméticas sólo pueden aplicarse a datos que se han medido en una escala de *intervalos* o *razones*.

El método de objetivos ponderados

Procedimiento

Preparar la lista de los objetivos de diseño

Para hacer cualquier clase de evaluación, es necesario tener un conjunto de criterios, mismos deben basarse en los objetivos de diseño, es decir, lo que se quiere que logre el diseño. Los objetivos deben establecerse en una etapa temprana del proceso de diseño. Sin embargo, en las etapas posteriores del proceso —cuando la evaluación se vuelve especialmente importante— el primer conjunto de objetivos podría muy bien haber sido modificado, o quizás no fuera totalmente apropiado para los diseños que efectivamente se han desarrollado. En consecuencia, como una etapa preliminar en el procedimiento de evaluación, es necesaria cierta clarificación del conjunto de objetivos.

Los objetivos incluyen factores técnicos y económicos, requerimientos de los usuarios, requerimientos de seguridad, etc. Es necesario elaborar una lista completa. Siempre que sea posible, un objetivo debe plantearse de tal forma que pueda hacerse una evaluación cuantitativa del rendimiento alcanzado por un diseño con respecto a dicho objetivo. Algunos objetivos están relacionados inevitablemente con los aspectos cualitativos del diseño; a éstos se les pueden asignar posteriormente "calificaciones", pero deberá tenerse presente la advertencia acerca de las limitaciones del empleo de la aritmética.

Ordenar la lista de objetivos

La lista de objetivos contiene una amplia variedad de requerimientos de diseño, algunos de los cuales serán considerados más importantes que otros. Como primer paso en la determinación de los "pesos" relativos de los objetivos, generalmente es posible hacer una lista en orden de importancia. Una forma consiste en escribir cada objetivo en una tarjeta distinta y luego clasificar las tarjetas en un orden comparativo, es decir, desde el "más importante" hasta el "menos importante".

Al igual que con muchos otros aspectos de este método de diseño, generalmente es útil que el proceso del ordenamiento de los objetivos se haga como un esfuerzo de equipo, ya que cada miembro de un equipo de diseño podría muy bien dar diferentes prioridades a los objetivos. Se pretende que la discusión de estas diferencias conduzca a un consenso en el equipo. Como alternativa, se le podría pedir al cliente que decida el orden de clasificación, o que el departamento de investigación de mercados proporcione las preferencias de los clientes.

El proceso de ordenamiento puede auxiliarse mediante la comparación sistemática de pares de objetivos, uno contra otro. Se puede utilizar una tabla sencilla para registrar las comparaciones y llegar a un ordenamiento, como éste:

Objetivos	A	B	C	D	E	Totales de fila
A	–	0	0	0	1	1
B	1	–	1	1	1	4
C	1	0	–	1	1	3
D	1	0	0	–	1	2
E	0	0	0	0	–	0

Cada objetivo se considera a su vez contra cada uno de los demás. En la celda correspondiente de la matriz se anota una cifra de 1 ó 0, lo que dependerá de si el primer objetivo tiene más o menos importancia que el segundo, y así sucesivamente. Por ejemplo, se comienza con el objetivo A y trabaja a lo largo de la fila de la tabla preguntando "¿Es A más importante que B?" ... "¿que C?" ... "¿que D?" , etc. Si se considera más importante, en la celda de la matriz se anota un 1; si se considera menos importante, entonces se anota un 0. En el ejemplo anterior, el objetivo A se considera menos importante que todos los demás objetivos, excepto el objetivo E.

A medida que se completa cada fila, de la misma manera también puede completarse la columna correspondiente con un conjunto opuesto de cifras; así, si la fila A indica 0001, entonces la columna A debe ser 1110. Si se considera que dos objetivos son igualmente importantes, se puede introducir un 1/2 en los dos cuadros correspondientes.

Una vez efectuados todos los pares de comparaciones, los totales de las filas indican el orden de clasificación de los objetivos. El total de fila más grande indica el objetivo de máxima prioridad. Por lo tanto, en el ejemplo anterior el orden de clasificación resulta ser:

B
C
D
A
E

Aquí es donde puede surgir uno de los primeros problemas de la clasificación, si las relaciones no resultan ser transitivas. Es decir, el objetivo A puede considerarse más importante que el objetivo B, y el objetivo B más importante que el objetivo C, pero el objetivo C podría entonces considerarse más importante que el objetivo A. Cuando se presenta esta situación, es necesario tomar algunas decisiones difíciles para resolver los problemas.

Un orden de clasificación es un ejemplo de una escala *ordinal*; y en este tipo de escala no pueden realizarse operaciones aritméticas.

Asignar a los objetivos ponderaciones relativas

El siguiente paso consiste en asignar un valor numérico a cada objetivo, representando su "peso" con relación a los otros objetivos. Una forma sencilla de hacerlo consiste en considerar la lista ordenada como si los objetivos estuvieran colocados en posiciones de importancia o valor relativo, en una escala de, por ejemplo, 1 a 10 ó 1 a 100. En el ejemplo anterior, los objetivos ordenados podrían colocarse en posiciones relativas en una escala de 1 a 10 como sigue:

10 B
9
7 C
6
5 D
4 A
3
2 E
1

Al objetivo más importante, que es B, se le ha dado el valor de 10, y a los otros se les han dado valores relativos a éste. Así, el objetivo C se valúa como un 70% del valor del objetivo B; el objetivo A se

valúa dos veces más alto que el objetivo E, etc. Los valores correspondientes de la escala son los pesos relativos de los objetivos. (Los objetivos clasificados como más alto y más bajo no se colocan necesariamente en las posiciones superior e inferior absolutas de la escala).

Si se llega a estas ponderaciones relativas y es satisfactoria la posición relativa de los objetivos en la escala, entonces se habrá convertido la escala ordinal de clasificación en una escala de valores de intervalos, que puede utilizarse para operaciones aritméticas.

Un procedimiento alternativo consiste en decidir que se distribuya un cierto número de puntos—por ejemplo, 100—entre todos los objetivos, concediendo puntos con base en el valor relativo y haciendo cesiones y ajustes entre los puntos dados a los diferentes objetivos, hasta lograr que las asignaciones relativas sean aceptables. Esto puede hacerse en equipo, para que cada uno de los miembros asigne un número fijo de puntos totales entre los objetivos, según qué tan alto los valore. Si se asignan 100 puntos entre los objetivos del A al E en el ejemplo anterior, los resultados podrían ser:

B 35
C 25
D 18
A 15
E 7

Puede utilizarse un árbol de objetivos para obtener lo que es probablemente el método más confiable de asignación de pesos. Al objetivo global, de más alto nivel, se le da el valor de 1.0; en cada nivel inferior, a los objetivos secundarios se les asignan entonces pesos relativos a los demás, pero que también totalizan 1.0. Sin embargo, sus verdaderos pesos se calculan como una fracción del peso verdadero del objetivo que está arriba de ellos.

Este planteamiento se aclara en la figura 59. Cada triángulo del árbol se designa con el número del objetivo (O₁, O₁₁, etc.) y se le dan dos valores: su valor con relación a sus vecinos del mismo nivel y su verdadero valor o valor con relación al objetivo general. Así, en la figura 59, a los objetivos O₁₁₁ y O₁₁₂ (objetivos secundarios de O₁₁) se les dan valores relativos entre ellos de 0.67 y 0.33; pero sus verdaderos valores sólo pueden totalizar 0.5 (el verdadero valor del objetivo O₁₁) y, por lo tanto, se calculan como $0.67 \times 0.5 = 0.34$ y $0.33 \times 0.5 = 0.16$.

Cuando se emplea este procedimiento se facilita la asignación de pesos con cierta consistencia, debido a que es relativamente sencillo

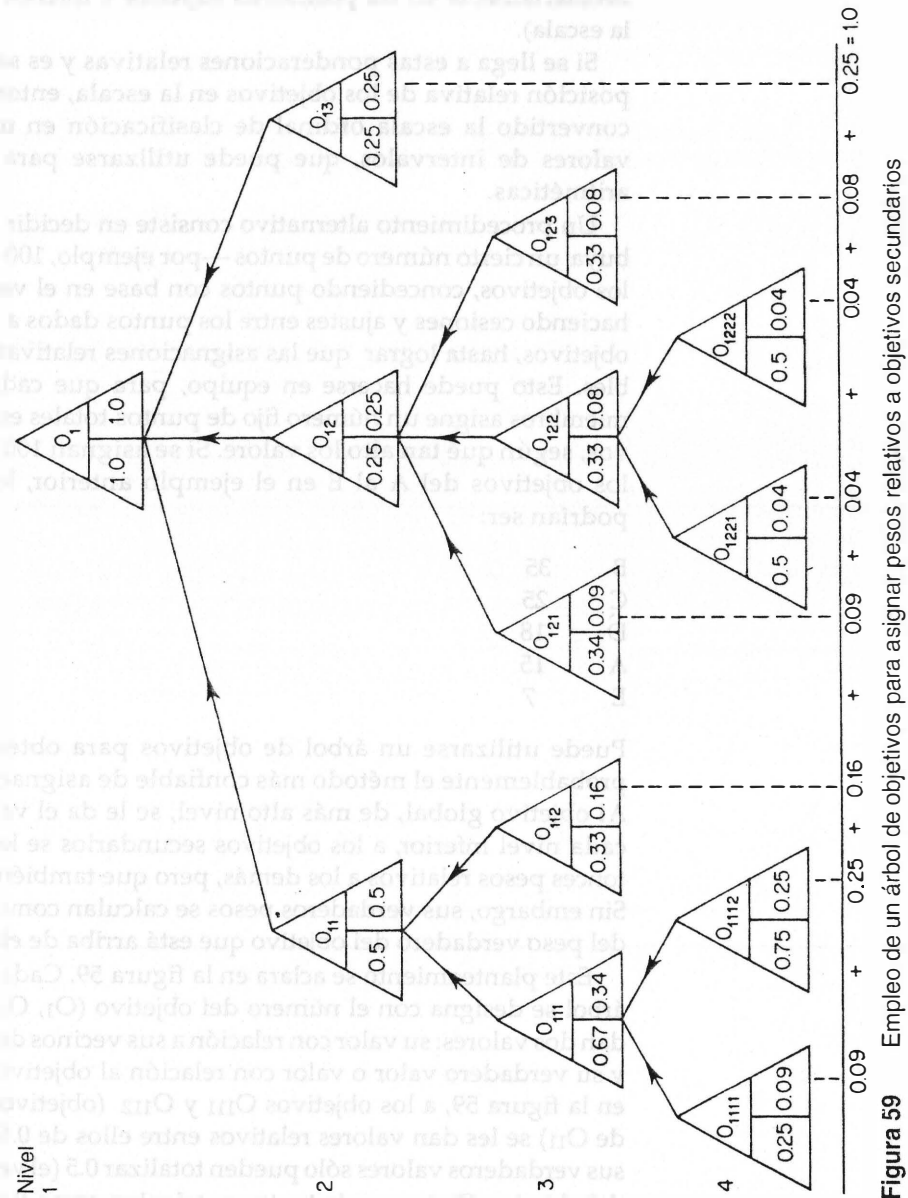


Figura 59 Empleo de un árbol de objetivos para asignar pesos relativos a objetivos secundarios

Establecer parámetros de rendimiento o calificaciones de utilidad para cada uno de los objetivos

comparar objetivos secundarios en pequeños grupos de dos o tres y con relación a un solo objetivo de mayor nivel. Todos los pesos verdaderos suman 1.0, y eso también asegura la validez aritmética de los pesos.

Los planteamientos de los objetivos deben convertirse en parámetros que puedan medirse, o por lo menos estimarse con cierta confianza. Así, por ejemplo, el objetivo de que una máquina tenga "alta confiabilidad" podría convertirse en un parámetro de rendimiento de "fallas por cada 10 000 horas de funcionamiento", el cual podría medirse a partir de datos disponibles o estimarse a partir de experiencias previas con dicho tipo de máquina.

Algunos parámetros no se pueden medir en forma sencilla y cuantificable, pero sí es posible asignarles calificaciones de utilidad estimadas en una escala de puntos. La escala más sencilla generalmente tiene cinco grados, que representan los siguientes niveles de rendimiento:

- Muy por debajo del promedio
- Debajo del promedio
- Promedio
- Arriba del promedio
- Muy por arriba del promedio

Una escala de cinco puntos (0-4) es demasiado burda, y quizás se necesite emplear una escala de nueve puntos (0-8) o de once puntos (0-10). Los grados de rendimiento evaluados mediante una escala de once puntos y una escala de cinco puntos pueden compararse como en la tabla 1.

Tanto los parámetros cuantitativos como los cualitativos pueden compararse conjuntamente en una escala de puntos, representando la escala de rendimiento del peor al mejor posible. Por ejemplo, el consumo de combustible y la comodidad de un automóvil podrían representarse en una escala de siete puntos como en la tabla 2.

Debe tenerse cuidado al compilar las escalas de puntos, ya que los valores asignados a los parámetros pueden no aumentar y disminuir de manera lineal. Por ejemplo, en la escala anterior el valor del consumo decreciente de combustible se supone que aumenta linealmente, pero podría muy bien considerarse como más valioso para proporcionar mejoras en el consumo de combustible en el extremo inferior de la escala más que en el extremo superior. Es decir, la "curva de utilidad" para un parámetro podría ser una curva exponencial u otro tipo de curva, en lugar de una recta.

Tabla 1

Escala de once puntos	Significado	Escala de cinco puntos	Significado
0	solución totalmente inútil	0	inadecuada
1	solución inadecuada		
2	solución muy mala	1	débil
3	solución mala		
4	solución tolerable		
5	solución adecuada	2	satisfactoria
6	solución satisfactoria		
7	solución buena	3	buena
8	solución muy buena		
9	solución excelente		
10	solución perfecta o ideal	4	excelente

Tabla 2

Puntos	Consumo de combustible (millas/ gal)	Comodidad
0	<27	muy incómodo
1	29	poca comodidad
2	32	comodidad por abajo del promedio
3	35	comodidad promedio
4	38	comodidad por arriba del promedio
5	41	buena comodidad
6	>43	extremadamente cómodo

Calcular y comparar los valores de utilidad relativa de los diseños alternativos

El paso final en la evaluación consiste en considerar cada propuesta de diseño alternativa y calcular para cada una de ellas una calificación para su rendimiento con respecto a los parámetros establecidos. Como se mencionó, se recomienda la participación de todos los miembros del equipo de diseño (y especialmente de los clientes, cuyo punto de vista es realmente el que cuenta), ya que las distintas soluciones pueden ser calificadas de manera diferente por cada persona.

Las medidas burdas de rendimiento o calificaciones de puntos por parámetro en cada diseño alternativo deben ajustarse de manera que tomen en cuenta los diferentes pesos de cada objetivo. Esto se hace multiplicando simplemente la calificación por el valor del peso, para obtener así un conjunto de calificaciones ajustadas para cada diseño alternativo, que indica el "valor de utilidad" relativo de dicha alternativa para cada objetivo.

Estos valores de utilidad se utilizan después como base de comparación entre los diseños alternativos. Una de las comparaciones más sencillas que pueden hacerse consiste en sumar las calificaciones de los valores de utilidad para cada alternativa. Estas calificaciones totales permiten después que las alternativas sean clasificadas en orden de rendimiento general.

Son posibles otro tipo de comparaciones, como la elaboración de gráficas o histogramas para representar los perfiles de valores de utilidad de los diseños alternativos. Estas comparaciones visuales, más que numéricas, representan un cuadro que puede ser más fácil de captar y explicar. También ponen de relieve aquellos puntos en donde las alternativas pueden ser significativamente diferentes en su rendimiento.

El beneficio con el empleo de este método de evaluación está en hacer comparaciones entre alternativas, en lugar de utilizarlo simplemente para tratar de elegir la mejor alternativa. La compilación de la evaluación probablemente implicará hacer muchas ponderaciones, calificaciones de puntos y otras decisiones controvertidas, además de que ciertos resultados aritméticos podrían ser extremadamente dudosos. En consecuencia, el "mejor" valor de utilidad general podría ser muy engañoso; no obstante, las discusiones, decisiones, clasificaciones y comparaciones involucradas en la evaluación con toda seguridad son fuente de inspiración.

Resumen

Finalidad

Comparar los valores de utilidad de las propuestas de diseño alternativas, con base en su rendimiento frente a los objetivos diferencialmente ponderados.

Procedimiento

1. Hacer una lista de los objetivos de diseño. Podría requerirse la modificación de estos objetivos con relación a la lista inicial; un árbol de objetivos también puede ser una característica útil de este método.
2. Ordenar la lista de objetivos. Las comparaciones por pares ayudan a establecer el orden de clasificación.
3. Asignar ponderaciones relativas a los objetivos. Estos valores numéricos deben estar en una escala de intervalos; una alternativa consiste en asignar pesos relativos a los diferentes niveles de un árbol de objetivos, de manera que todos los pesos sumen 1.0.
4. Establecer parámetros de rendimiento o calificaciones de utilidad para cada uno de los objetivos. Tanto los objetivos cuantitativos como los cualitativos deben reducirse a un rendimiento en escalas sencillas de puntos.
5. Calcular y comparar los valores de utilidad relativa de los diseños alternativos. Multiplicar cada calificación de los parámetros por su valor ponderado —la mejor alternativa tiene el valor de la máxima suma—; la comparación y la discusión de los perfiles de los valores de utilidad puede ser un mejor auxiliar en el diseño que simplemente elegir la mejor.

Ejemplos

Ejemplo 1: Vehículo automotor

Los principios básicos del método de objetivos ponderados se demuestran en este ejemplo sencillo del cálculo de los valores de utilidad de tres diferentes vehículos automotores. Suponiendo que los tres tienen aproximadamente el mismo precio, el comprador potencial podría fijar los siguientes objetivos:

- Bajo consumo de combustible
- Bajo costo de refacciones
- Facilidad de mantenimiento
- Alto nivel de comodidad

Se considera que los pesos relativos son 0.5, 0.2, 0.1 y 0.2, respectivamente.

Al objetivo de “bajo consumo de combustible” se le asigna fácilmente un parámetro de rendimiento —el que corresponde a la cifra conocida de consumo de combustible a partir de pruebas estándar, en millas por galón—. En la tabla de comparación (figura 60), las cifras se convierten en puntos de una escala de siete puntos, como se sugiere en el procedimiento.

Objetivo	Peso	Parámetro	Automóvil A			Automóvil B			Automóvil C		
			Magnitud	Calificación	Valor	Magnitud	Calificación	Valor	Magnitud	Calificación	Valor
Bajo consumo de combustible	0.5	Millas por galón	33	2	1.0	40	4	2.0	36	3	1.5
Bajo costo de refacciones	0.2	Costo de 5 refacciones típicas	£18	7	1.4	£22	5	1.0	£28	2	0.4
Fácil de mantener	0.1	Facilidad de servicio	Muy sencillo	5	0.5	Complicado	2	0.2	Promedio	3	0.3
Comodidad	0.2	Calificación de comodidad	Mala	2	0.4	Muy buena	5	1.0	Buena	4	0.8
Valor general de utilidad					3.3			4.2			3.0

Figura 60 Diagrama de evaluación de objetivos ponderados para tres vehículos automotores alternativos

Para medir el "costo de las refacciones" se decidió tomar el costo de un conjunto estándar de refacciones típicas que tuvieran que comprarse, por ejemplo, en los primeros tres años de la vida del automóvil. Aquí también se utilizó una escala de siete puntos para convertir las cifras de costos en una calificación de puntos de utilidad.

El objetivo de "facilidad de mantenimiento" se evaluó en una escala de siete puntos de "facilidad de servicio". La evaluación se basó en el número de trabajos rutinarios de servicio y en la facilidad con la que podrían hacerse en un vehículo particular.

Finalmente, la comodidad también se evaluó en una escala de siete puntos, de manera similar a la que se presentó en el procedimiento.

Para cada alternativa, la calificación de utilidad de cada objetivo se multiplicó por el peso del objetivo, dando un valor de utilidad relativa. Si estas cifras se suman conjuntamente, se obtiene un valor de utilidad general para cada alternativa. Como lo muestran los resultados de la tabla de la figura 60, el automóvil B se perfila como el mejor de manera general.

Este ejemplo está tomado del proyecto para el diseño de un dispositivo de laboratorio para realizar pruebas de cargas por impulsos en conectores de ejes. Se hizo una evaluación completa de varios diseños alternativos, basada en el árbol de objetivos que se presentó anteriormente en el método del árbol de objetivos (ejemplo 3, figura 23).

Los objetivos primarios y los objetivos secundarios en diferentes niveles se ponderaron en la forma descrita en el procedimiento (véase la figura 61). El equipo de diseño procedió entonces a desarrollar parámetros que se pudieran medir o evaluar para todos los objetivos, como se indica en la tabla de comparación (figura 62).

Para cada uno de los cuatro diseños alternativos se calcularon valores de utilidad para cada objetivo. La segunda alternativa (variante V2) surge como la mejor solución, con un valor de utilidad general de 6.816. Sin embargo, la variante V3 parece bastante comparable, con un valor de utilidad general de 6.446. En consecuencia, se realizó una comparación de los perfiles de valor de las dos alternativas. Esto se muestra en la figura 63, en donde la altura de cada barra de la gráfica representa el peso relativo de cada objetivo, y su longitud representa la calificación obtenida por el diseño particular.

La gráfica muestra que V2 tiene un perfil más consistente que V3, con relativamente menos puntos débiles. En consecuencia, V2

Ejemplo 2:
Dispositivo de prueba

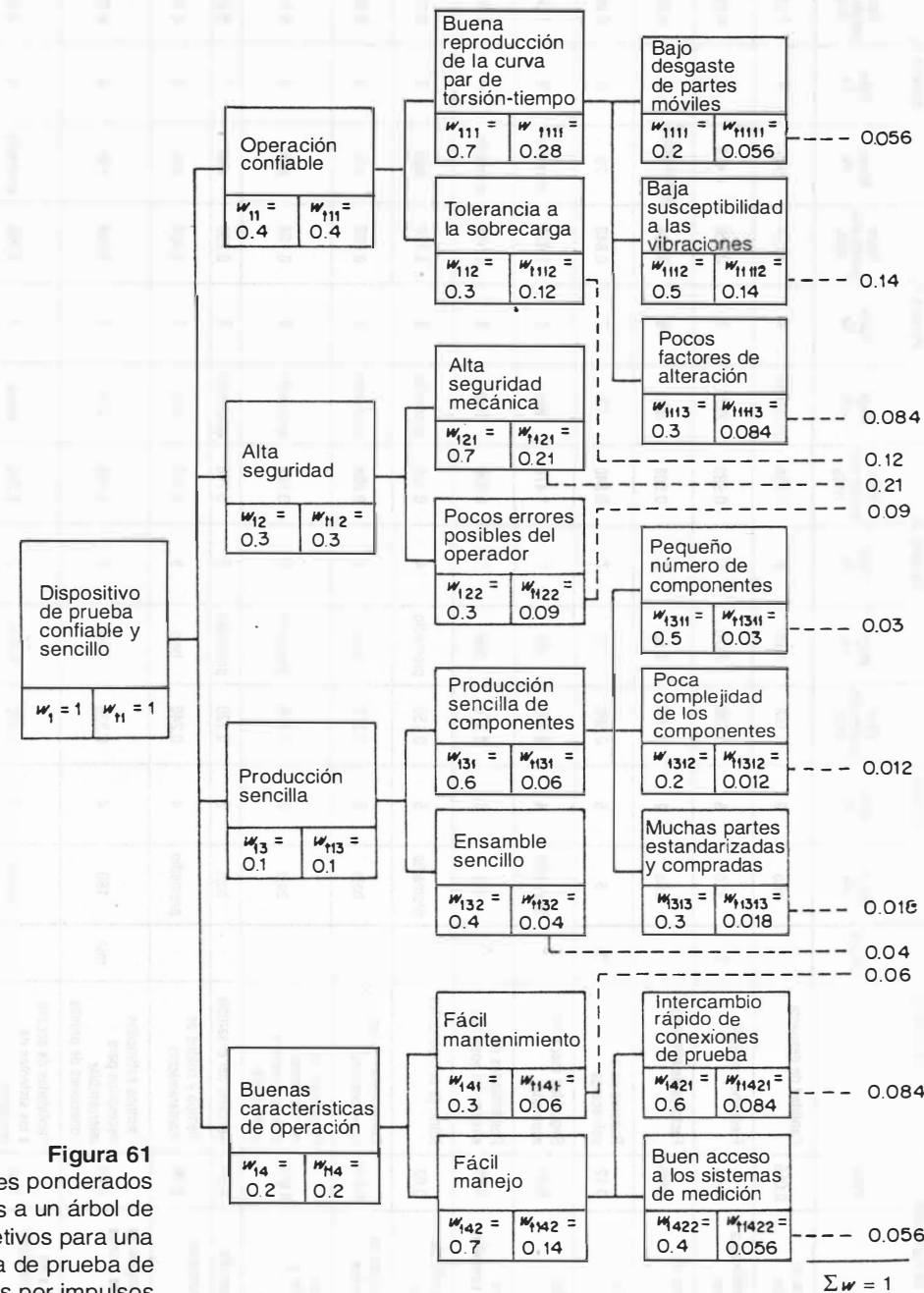


Figura 61
Valores ponderados asignados a un árbol de objetivos para una máquina de prueba de cargas por impulsos

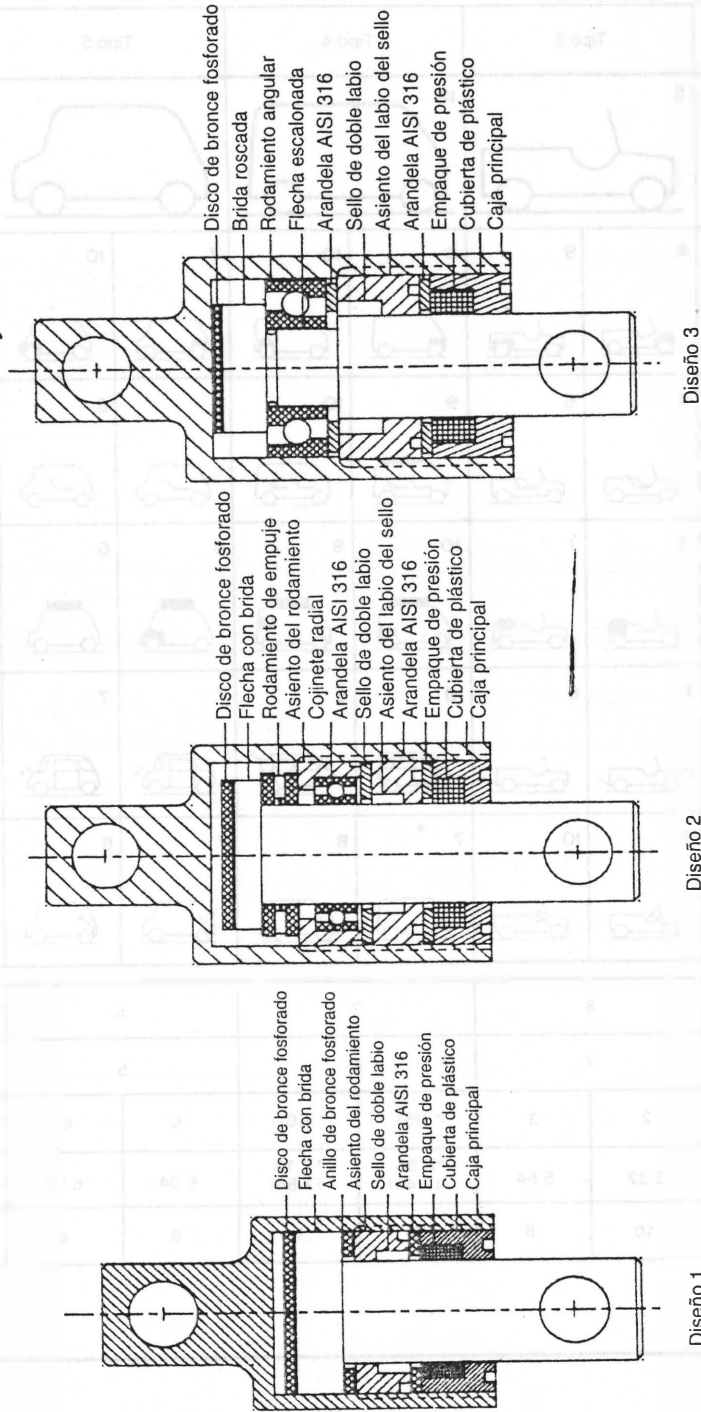


Figura 64 Tres diseños alternativos para la junta giratoria

Criterios de diseño	Peso W*	Diseño 1		Diseño 2		Diseño 3	
		S	U	S	U	S	U
1 Costo							
Materiales	6	8.5	0.51	5.5	0.33	7	0.42
Sellos	2	8	0.16	8	0.16	8	0.16
Rodamientos	4	9	0.36	5	0.2	8	0.28
Arandelas	1	7.5	0.07	7.5	0.07	7.5	0.07
Empaque de presión	2	9	0.18	9	0.18	9	0.18
Pernos	1	9	0.09	9	0.09	8	0.08
Mano de obra	6	8	0.48	5	0.3	7.5	0.45
Herramientas y equipo	6	8	0.48	5	0.3	7.5	0.45
Costo indirecto	20	8.5	1.7	7	1.4	7.5	1.5
Mercadotecnia	2	7	0.14	8	0.16	9	0.18
2 Desempeño							
Sellado	9	8	0.72	8	0.72	8	0.72
Suavidad	9	5	0.45	9	0.81	8.5	0.76
Alineamiento	6	5	0.3	7	0.42	8	0.48
Formación de protuberancias	2	8	0.16	8	0.16	8	0.16
Mantenimiento	4	8	0.32	8	0.32	8	0.32
3 Fabricación							
Facilidad	5	8.5	0.42	7	0.35	7.5	0.37
Tiempo	5	9	0.45	4.5	0.22	7.5	0.37
Ensamble	5	9	0.45	6.5	0.32	8	0.4
4 Resistencia	5	8	0.4	9.5	0.47	9.5	0.47
La utilidad global			7.84		6.98		7.82

*W = peso porcentual de cada criterio (de 100)
 S = calificación de calidad de cada diseño (de 10)
 U = utilidad (calificación ponderada) del diseño = W x S

Figura 65 Diagrama de evaluación para los tres diseños

básicos de automóvil urbano y las variantes dentro de cada tipo para aspectos tales como la posición del motor. A continuación evaluaron este conjunto total de variantes mediante factores de ponderación y una evaluación de cada variante en una escala de 0-10 (figura 66). De acuerdo a esto, el automóvil tipo 4 resultó ser la forma básica preferida, y se utilizó como el concepto para un trabajo de diseño más detallado. (Fuente: Pighini *et al.*)

Ejemplo 5: Salpicadera para bicicleta

El proyecto de diseño de una salpicadera desmontable para la rueda trasera de las bicicletas de montaña, para proteger a los corredores de salpicaduras al utilizar la bicicleta en la ciudad, se introdujo en el método de despliegue de la función de calidad (ejemplo 1). Con base en el análisis de despliegue de la función de calidad se desarrollaron seis conceptos de diseño alternativos para la salpicadera, incluyendo un cepillo para limpiar las ruedas, alerones para lodo de varios tipos y una guarda fijada al asiento y al poste. A fin de evaluar estos conceptos alternativos y seleccionar el mejor para su desarrollo, se utilizó un método similar al de objetivos ponderados.

	Función secundaria	Portador de función	Tarea	Principio de evaluación	Factor de ponderación	Tipo 1	
A	Ofrece espacio, soporte y protección para las personas y el equipaje	Carrocería y marco del auto-móvil	Forma óptima del automóvil	Espacio interior Capacidad de protección	0.12	5	
B	Genera la energía para la transmisión	Motor y transmisión	Posición óptima del motor	Espacios disponibles Complejidad de la transmisión	0.08	7	8
C	Soporta a las personas en forma segura y cómoda	Asientos	Disposición óptima de los asientos	Seguridad Comodidad Posibilidad de tener 4 asientos	0.08	4	5
D	Ofrece espacio para equipaje	Compartimento del equipaje	Posición óptima y mayor capacidad del compartimento de equipaje	Espacio usado para el equipaje Compartimento interno	0.08	5	4
E ₁ E ₂	Para entrada y salida Para vista exterior	Puertas Ventanas	Número, dimensiones y posición óptima de puertas y ventanas	Facilidad para entrada, salida y colocación de equipaje Visibilidad para el conductor y los pasajeros	0.08	7	7
F	Cambia la dirección del avance del automóvil	Sistema de dirección	Disposición óptima del sistema de dirección	Posición del motor Complejidad del sistema de dirección	0.08	9	10
G	Evaluación estética				0.08	9	
H	Evaluación de costos				0.16	4	
I	Evaluación de la seguridad				0.24	4	5
	Suma total					5.48	5.88
	Orden de mérito					9	7
NOTAS: 1 Marcas de evaluación 0 = inaceptable; 1-3 = todavía aceptable; 4-6 = adecuado; 7-9 = bueno; 10 = muy bueno (solución óptima) 2 Suma total = (marca x factor de ponderación) 3 Las marcas entre paréntesis son para el automóvil con dos asientos							

Figura 66 Diagrama de evaluación de conceptos alternativos para el automóvil urbano pequeño

Tipo 2		Tipo 3		Tipo 4		Tipo 5		Tipo 6	
8	5	10	7	3					
8	9	8	9	8	10	7	10	9	
5	6	5	6	9	10	5	6	5	
9	8	3	1	10	9	8	6	2	
10	9	6	6	10	9	7	7	8	
9	10	9	10	7	8	7	8	10	
8		8		7		6		10	
5		7		6		5		6	
4	5	2	3	*3(5)	*3(6)	5	6	6	
6.64	6.96	5.32	5.64	*6.96 (7.44)	*7.12 (7.84)	6.04	6.52	6.28	
3	2	10	8	2	1	6	4	5	

Esta variante del método estándar emplea un concepto de diseño denominado "datum", contra el cual se comparan todos los demás. El datum puede elegirse de las nuevas alternativas que están bajo consideración, o puede utilizarse un diseño existente como datum. En este ejemplo, se eligió como datum un guardafangos estándar de bicicleta con aditamentos para desmontaje rápido.

Figura 67
Diagrama de evaluación para conceptos alternativos de la salpicadera de bicicleta

El conjunto de objetivos de diseño y sus pesos se determinaron en el análisis de despliegue de la función de calidad. Para cada objetivo se evaluó después cada concepto de diseño alternativo como mejor (+), peor (-) o igual (S), en comparación con el datum.

	Wt	I	II	III	IV	V	VI	VII
Montaje fácil	7	+	+	+	+	+	S	D
Desmontaje fácil	4	-	+	+	+	+	S	A
Montaje rápido	3	+	+	+	+	+	S	T
Desmontaje rápido	1	+	+	+	+	+	S	U
Montar cuando esté sucia	3	+	+	+	+	S	S	M
Desmontar cuando esté sucia	1	-	+	-	+	S	+	
No se deteriore	10	+	+	+	+	S	S	
No atrape agua	7	-	+	-	S	S	S	
No traqueteo	8	-	-	-	-	S	S	S
No bamboleo	7	-	-	-	S	S	S	
No se doble	4	-	-	-	S	-	S	
Larga vida	11	-	S	-	S	-	S	
Peso ligero	7	+	S	S	-	S	S	
No se desprenda accidentalmente	10	+	S	S	S	S	S	
Se adapte a la mayoría de las bicicletas	7	+	S	S	S	S	S	
Aerodinámica	5	-	S	-	-	+	S	
Total +		8	8	6	7	5	1	0
Total -		8	3	7	3	2	0	0
Total global		0	5	-1	4	3	1	0
Total ponderado		1	17	-15	9	5	1	0

En la figura 67 se muestra la matriz de decisiones. En la parte inferior de la matriz se presentan los totales de los signos + y signos - en cada concepto. Para cada uno de ellos se calcula un total general ponderado sumando los pesos positivos y negativos de los objetivos apropiados.

En este ejemplo, el concepto 2 resultó ser el líder claro. Sin embargo, debe recordarse que esto se da en comparación con el datum, y que también deben hacerse comparaciones directas entre los conceptos alternativos mismos. Por lo tanto, el concepto 2 se eligió como el nuevo datum y se hicieron comparaciones con los conceptos 4 y 5. Esta verificación confirmó que el concepto 2 era la alternativa preferida. (Fuente: Ullman).

*Ejemplo desarrollado:
Unidad de transmisión*

Este ejemplo del método de evaluación mediante objetivos ponderados emplea estimaciones de costos monetarios en lugar del sistema de escala de puntos. El ejemplo surgió en la evaluación de cinco unidades de transmisión alternativas para una máquina que procesa fibra sintética. Los objetivos utilizados en la evaluación fueron:

1. Costo
2. Estandarización con otras unidades de la planta
3. Características adicionales ofrecidas como estándar
4. Confiabilidad

Por supuesto, para el costo se dispone inmediatamente de un valor monetario, pero éste no es tan obvio para los otros objetivos. En consecuencia, para el segundo objetivo se hicieron las estimaciones de los costos de refacciones adicionales requeridas si se eligiera una unidad no estandarizada. Para el tercer objetivo fue posible estimar el costo de incorporar las características adicionales requeridas en las unidades para las cuales no eran estándar.

La estimación de un valor monetario para la confiabilidad fue más difícil. Como primer paso, se decidió asignar valores subjetivos relativos a cada variante, reflejando el grado de confianza del diseñador en la unidad (según su experiencia), en una escala de 1 (confianza absoluta) a 0 (nada de confianza). Esto dio por resultado la tabla 3.

Tabla 3

	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅
Probabilidad de ausencia de problemas	1	0.8	1	1	0.9
Probabilidad de algunos problemas	0	0.2	0	0	0.1

La unidad de transmisión más barata con una calificación de confianza de 1 fue V₁ (costo: 355 libras esterlinas). Si se presentaran problemas en las unidades V₂ o V₅, éstas podrían reemplazarse con una unidad V₁, dando costos relativos (reservando 50 libras esterlinas para flete adicionalmente a los costos básicos de la unidad V₁) como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅
Costos de la confiabilidad	0	405	0	0	405
		x0.2			x0.1
		£81			£40.5

Los objetivos no se ponderaron en forma complicada, sino que se clasificaron simplemente en orden de importancia y se les dio un peso equivalente a su orden de clasificación, como sigue:

Objetivo	Orden de clasificación	Peso
Objetivo 1	3	2
Objetivo 2	1	4
Objetivo 3	2	3
Objetivo 4	4	1

Esto dio como resultado la tabla de costos núm. 5.

Tabla 5

Variante	Objetivo: Peso:	1 2	2 4	3 3	4 1	Costo total ponderado
V ₁	Costo	335	0	50	0	
	Costo ponderado	710	0	150	0	860
V ₂	Costo	300	40	50	81	
	Costo ponderado	600	160	150	81	991
V ₃	Costo	435	0	0	0	
	Costo ponderado	870	0	0	0	870
V ₄	Costo	385	20	0	0	
	Costo ponderado	770	80	0	0	850
V ₅	Costo	485	60	25	40.5	
	Costo ponderado	970	240	75	40.5	1325.5

Las cifras del costo total ponderado indican que V₄ es la mejor alternativa, con el menor costo. Sin embargo, el diseñador prefirió elegir a V₃. Esto sugiere que la ponderación inicial de objetivos fue incorrecta. Para que fuera preferida la variante V₃, se requeriría que el objetivo 1 (el costo básico de la unidad) no tuviera asignado un peso de 2, sino un peso de 1. Es decir, la clasificación y la ponderación de los objetivos debería haber sido:

Objetivo	Orden de clasificación	Peso
Objetivo 1	4	1
Objetivo 2	1	4
Objetivo 3	2	3
Objetivo 4	3	2

Dados estos pesos alternativos, los costos totales ponderados para las cinco variantes pueden calcularse como:

V ₁	505
V ₂	772
V ₃	435
V ₄	465
V ₅	881

Así, con estas ponderaciones modificadas, V₃ es la alternativa de menor costo. Este ejemplo muestra que el proceso del cálculo de los valores ponderados de utilidad ayuda a clarificar las preferencias y las prioridades que de otra forma podrían permanecer oscuras. Cuando se plantean abiertamente, por lo menos pueden discutirse y justificarse, y quizás modificarse. (Fuente: Tebay *et al.*)

y es esencial. Los valores de los atributos se comparan entre sí y se ordenan en una escala de importancia. En este punto se debe tener en cuenta que los valores de los atributos se comparan entre sí y se ordenan en una escala de importancia. En este punto se debe tener en cuenta que los valores de los atributos se comparan entre sí y se ordenan en una escala de importancia.

El método de la ingeniería del valor se centra en los valores funcionales y está dirigido a aumentar la diferencia entre el costo y el valor de un producto: reduciendo el costo o agregando valor, o ambas cosas a la vez.

Una buena cantidad del trabajo de diseño en la práctica no tiene que ver con la creación de conceptos de diseño radicalmente nuevos, sino con modificaciones a diseños de productos existentes. Las modificaciones buscan mejorar un producto —mejorar su rendimiento, reducir su peso, reducir su costo, mejorar su apariencia, etc.—. Todas estas modificaciones generalmente pueden clasificarse en uno de dos tipos: las que buscan incrementar el valor para el comprador o las que buscan reducir el costo para el productor.

El valor de un producto para su comprador es lo que éste considera que vale el producto. El costo de un producto para su productor es lo que cuesta diseñarlo, fabricarlo y entregarlo en el punto de venta. El precio de venta de un producto generalmente se encuentra en algún punto entre el costo para el productor y el valor para el comprador.

La actividad de diseño, por lo tanto, tiene que ver esencialmente con la adición de valor. Cuando las materias primas se convierten en un producto, se agrega un valor por encima de los costos básicos de los materiales y su procesamiento. El valor que se agregue depende del valor del producto que percibe el comprador, y dicha percepción está determinada en gran medida por los atributos del producto que proporciona el diseñador.

Por supuesto, los valores fluctúan, dependiendo de los contextos sociales, culturales, tecnológicos y ambientales, los cuales modifican la necesidad, la relevancia o la utilidad de un producto. También se encuentran complejos factores psicológicos y sociológicos que afectan el valor simbólico o de estima de un producto. Sin embargo, también existen valores más estables y completos asociados con la función de un producto, y son principalmente estos valores funcionales los que interesan al diseñador de ingeniería.

El método de la ingeniería del valor se concentra en los valores funcionales y está dirigido a aumentar la diferencia entre el costo y el valor de un producto: reduciendo el costo o agregando valor, o ambas cosas a la vez.

10 Mejora de detalles

Una buena cantidad del trabajo de diseño en la práctica no tiene que ver con la creación de conceptos de diseño radicalmente nuevos, sino con modificaciones a diseños de productos existentes. Las modificaciones buscan mejorar un producto —mejorar su rendimiento, reducir su peso, reducir su costo, mejorar su apariencia, etc.—. Todas estas modificaciones generalmente pueden clasificarse en uno de dos tipos: las que buscan incrementar el valor para el comprador o las que buscan reducir el costo para el productor.

El valor de un producto para su comprador es lo que éste considera que vale el producto. El costo de un producto para su productor es lo que cuesta diseñarlo, fabricarlo y entregarlo en el punto de venta. El precio de venta de un producto generalmente se encuentra en algún punto entre el costo para el productor y el valor para el comprador.

La actividad de diseño, por lo tanto, tiene que ver esencialmente con la adición de valor. Cuando las materias primas se convierten en un producto, se agrega un valor por encima de los costos básicos de los materiales y su procesamiento. El valor que se agregue depende del valor del producto que percibe el comprador, y dicha percepción está determinada en gran medida por los atributos del producto que proporciona el diseñador.

Por supuesto, los valores fluctúan, dependiendo de los contextos sociales, culturales, tecnológicos y ambientales, los cuales modifican la necesidad, la relevancia o la utilidad de un producto. También se encuentran complejos factores psicológicos y sociológicos que afectan el valor simbólico o de estima de un producto. Sin embargo, también existen valores más estables y completos asociados con la función de un producto, y son principalmente estos valores funcionales los que interesan al diseñador de ingeniería.

El método de la ingeniería del valor se concentra en los valores funcionales y está dirigido a aumentar la diferencia entre el costo y el valor de un producto: reduciendo el costo o agregando valor, o ambas cosas a la vez.

haciendo ambas cosas. En muchos casos, el énfasis está simplemente en la reducción de costos, y el esfuerzo de diseño se concentra en el diseño detallado de los componentes, en sus materiales, formas, métodos de fabricación y procesos de ensamble. Esta versión más limitada del método se conoce como *análisis del valor*. Por lo general, este análisis se aplica sólo a la mejora de un producto existente, en tanto que el método más amplio de la ingeniería del valor también se aplica a nuevos diseños o al rediseño sustancial de un producto. El análisis del valor requiere particularmente información detallada sobre los costos de los componentes.

Debido a la variedad y al detalle de la información requerida en el análisis del valor y en la ingeniería del valor, estos métodos generalmente se realizan como un trabajo de equipo, en donde participan miembros de los departamentos de diseño, costos, mercadotecnia, departamentos de producción, etc.

El método de la ingeniería del valor

Procedimiento

Hacer una lista de los distintos componentes del producto e identificar la función a la que sirve cada uno de ellos

Una de las formas en que las compañías buscan superar los productos de sus rivales comerciales consiste en comprar un producto competidor, estudiar sus componentes individuales y tratar de encontrar la manera en que su propio producto podría mejorarse tanto en diseño como en fabricación. Ésta es una forma de conocer algunos de los secretos del competidor sin recurrir al espionaje industrial.

Esta misma clase de técnica está en el corazón de la ingeniería del valor y el análisis del valor. El primer paso analítico del método consiste en desarmar un producto para ver sus distintos componentes —ya sea literal y físicamente, o por medio de una lista y dibujos particularizados de partes—. Sin embargo, las listas de partes y los dibujos de ingeniería convencionales tienen un valor limitado para comprender y visualizar los componentes, las formas en que encajan entre ellos en el producto general, así como la forma en que se fabrican y ensamblan. Por lo tanto, si no se dispone de un producto real o una versión prototipo para su desmantelamiento, entonces es útil contar con algo similar a los diagramas en explosión del producto para mostrar los componentes en forma tridimensional y en sus ubicaciones relativas o secuencias de ensamble.

El propósito de este primer paso del procedimiento consiste en lograr una completa familiaridad con el producto, sus componentes

y su ensamble. Esto es particularmente importante si en el proyecto trabaja un equipo, ya que sus diferentes miembros tendrán diferentes puntos de vista acerca del producto y quizás sólo una comprensión limitada de sus componentes y de sus funciones. En consecuencia, es necesario realizar un análisis exhaustivo de los subensambles y componentes individuales para determinar la forma en que contribuyen en términos funcionales al producto global.

En ocasiones no es del todo claro a qué función sirve o contribuye un componente. Éste puede ser el caso de manera particular en productos que han tenido una larga vida y que puedan haber pasado a través de muchas versiones diferentes: algunos componentes pueden ser simplemente elementos redundantes que quedaron de versiones anteriores. Sin embargo, también podría suceder que se hayan introducido componentes para enfrentar problemas que surgieron en el uso del producto y, por lo tanto, aquellos componentes que parecen redundantes no deben eliminarse en forma demasiado rápida. Se dan casos en que se diseña el producto con redundancia de manera deliberada para mejorar su confiabilidad.

El objetivo de este paso en el procedimiento consiste en producir una lista completa de componentes, agrupados según sea necesario en subensambles con sus funciones identificadas. En la ingeniería del valor, a diferencia de las aplicaciones más limitadas de análisis del valor de este método, se aplica un objetivo similar, aun cuando la intención final pudiera ser la de desarrollar un producto completamente nuevo, en lugar de hacer simplemente mejoras a un producto existente. En este caso, el punto de partida es un producto contra el cual se ha decidido competir en el mercado, un arquetipo o una versión hipotéticamente típica del nuevo producto propuesto.

Determinar los valores de las funciones identificadas

Las preguntas acerca del valor son, por supuesto, claramente difíciles. Son un asunto de debate político y de discusiones subjetivas entre individuos. En consecuencia, quizás no sea fácil que un equipo llegue a un acuerdo sobre el valor de las funciones particulares de un producto. No obstante, debe recordarse que el valor de un producto significa su valor tal como lo percibe el comprador. Por lo tanto, los valores de las funciones del producto deben ser aquéllas que perciben los clientes y no las que perciben los diseñadores o los fabricantes. Por esta razón, la investigación de mercados debe ser la base de cualquier evaluación confiable de los valores de las funciones.

Los precios de mercado de diferentes productos pueden proporcionar indicadores de los valores que los clientes asignan a varias

funciones. Por ejemplo, algunos productos existen en una escala de versiones diferentes y aquellos con más funciones son los productos que están en el extremo superior de la escala. En consecuencia, las diferencias en los precios deben reflejar las diferencias en los valores que se perciben de las funciones adicionales. Sin embargo, los clientes perciben el producto como una entidad total y no como un conjunto de funciones separadas, razón por la cual los factores subjetivos, como la apariencia, tienen más importancia que los factores objetivos funcionales. Se dice que la solidez del sonido que produce al cerrarse la puerta de un automóvil es uno de los factores que más influye en la percepción del cliente sobre el valor del vehículo.

Se han hecho grandes esfuerzos para tratar de cuantificar los valores o beneficios percibidos, particularmente en conexión con el método del "análisis de costo-beneficio" que se utiliza en la planeación. Por ejemplo, en la planeación del transporte, algunos de los beneficios de una nueva carretera o un puente pueden cuantificarse en términos del tiempo que ahorran los viajeros al utilizar este medio. Después se busca convertir estos beneficios (y costos) en términos monetarios, de manera que se puedan hacer comparaciones directas.

A pesar de la dificultad de la evaluación de los valores, es necesario hacer el mejor intento posible por clasificar en un marco lógico y expresar los valores percibidos de las funciones de los componentes. Tal vez no tenga sentido reducir los costos de los componentes si sus valores también se están reduciendo, de manera que el producto se vuelva menos deseable (o menos valioso) a los ojos de los compradores potenciales. Si no pueden hacerse estimaciones cuantificables y confiables de los valores, entonces por lo menos debe intentarse hacer evaluaciones sencillas para determinar si el valor es alto, mediano o bajo.

Aunque pudiera parecer sorprendente, no siempre es fácil para una compañía determinar los costos de los componentes utilizados en los productos. Los métodos de contabilidad pueden no ser suficientemente específicos para identificar los costos particularizados de los componentes. En consecuencia, uno de los subproductos útiles de un ejercicio de análisis del valor o de ingeniería del valor, puede ser la mejora de los métodos de costeo. El trabajo en equipo nuevamente resulta ser particularmente relevante debido a que una información confiable de costos con suficiente detalle sólo puede obtenerse sintetizando la información que proviene de diferentes especialistas departamentales.

No es suficiente conocer simplemente el costo del material de un componente, o su costo de compra si se obtiene de un proveedor. El equipo que realiza el análisis del valor necesita conocer el costo

Determinar los costos de los componentes

del componente como un elemento del costo global del producto —es decir, después de que está completamente terminado e incorporado en el producto—. En consecuencia, además de los costos de los materiales o los costos de compra también están los costos de mano de obra y los costos de máquina que deben agregarse en los procesos de ensamble. Se sugiere que también deberían agregarse los costos generales de fabricación, aunque podría ser difícil asignarlos de manera exacta a los componentes individuales, por lo que en su lugar se supone que se distribuyen igualmente entre todos los componentes.

Es importante no ignorar los componentes de bajo costo, particularmente si se utilizan en grandes cantidades (por ejemplo, la tornillería). Incluso una reducción relativamente pequeña de los costos por artículo puede dar a un costo global considerable cuando se multiplica por el número de componentes utilizados.

A demás de determinar los costos absolutos de los componentes, también deberán calcularse sus costos relativos o porcentuales en términos del costo total del producto. De esta forma, la atención puede concentrarse en los componentes o subensambles que representan una porción significativa del costo total.

Buscar formas de reducir costos, sin reducir el valor, o de agregar valor, sin agregar costos

Esta etapa fundamental del diseño requiere una combinación de pensamiento crítico y creativo. El pensamiento crítico está dirigido a lo que *es* el diseño, y el pensamiento creativo está dirigido a lo que *podría ser*. La idea de desarmar un producto de un competidor para buscar formas de mejorarlo es un concepto útil que debe tenerse en mente en esta etapa. Generalmente es más fácil ser crítico del diseño del producto de otra persona y sugerir mejoras, que del propio producto, y es esta clase de crítica creativa la que se requiere en esta etapa final.

Los intentos por reducir costos generalmente se concentran en los componentes y en las formas de simplificar su diseño, fabricación o ensamble, pero también deben examinarse críticamente las funciones que realiza un producto, ya que podría ser posible simplificarlas, reducir su número, o incluso eliminarlas completamente si tienen un valor limitado para el comprador.

Existen algunas estrategias generales que pueden aplicarse para guiar la búsqueda de formas de reducir costos. La primera consiste en concentrarse en los componentes de alto costo, buscando su reemplazo por alternativas de menor costo. La segunda consiste en revisar cualquier componente que se utilice en grandes cantidades, ya que los pequeños ahorros individuales pueden dar un ahorro global considerable. Una tercera estrategia consiste en identificar componentes y funciones que formen parejas de alto costo y alto valor, o de bajo costo y bajo valor, ya que la finalidad es alcanzar funciones de alto valor con componentes de bajo costo. Una técnica particular consiste en comparar el costo de un componente utiliza-

do en el diseño con el medio absoluto de menor costo para realizar la misma función; las diferencias grandes sugieren áreas de reducción de costos, aun cuando la versión de menor costo puede no ser una opción viable.

Con el propósito de reducir costos, puede utilizarse una lista de verificación como guía:

Eliminar	¿Puede eliminarse completamente una función y, en consecuencia, sus componentes? ¿Son redundantes algunos componentes?
Reducir	¿Puede reducirse el número de componentes? ¿Pueden combinarse varios componentes en uno solo?
Simplificar	¿Existe alguna alternativa más simple? ¿Existe una secuencia de ensamble más fácil? ¿Existe una forma más sencilla?
Modificar	¿Existe un material satisfactorio más barato? ¿Puede mejorarse el método de fabricación?
Estandarizar	¿Pueden estandarizarse las partes, en vez de que sean partes especiales? ¿Pueden estandarizarse o modularizarse las dimensiones? ¿Pueden duplicarse los componentes?

Mientras que el enfoque del análisis del valor tiende a hacer énfasis en la reducción de costos, el enfoque más amplio de la ingeniería del valor también busca formas de agregar valor a un producto. Por ejemplo, en vez de eliminar funciones, como se sugirió anteriormente, la ingeniería del valor busca formas para mejorar las funciones de un producto. En cualquier caso, la finalidad siempre es la de aumentar la relación valor/ costo.

Uno de los medios más significativos para agregar valor a un producto, sin incrementar necesariamente su costo, consiste en mejorar su facilidad de uso. Esto se ha vuelto particularmente evidente en la preferencia por las computadoras personales clasificadas como "amigables con el usuario". En este caso, la "amistad" quizás se aplica más al software que al hardware, o por lo menos a la combinación de software y hardware, de manera que el uso de la computadora sea natural y fácil. Se pueden aplicar principios similares a todas las máquinas —su uso deberá ser directo, claro y cómodo—. Existe un considerable cuerpo de conocimientos en el campo de la ergonomía que pueden aplicarse a los aspectos del diseño de la máquina que están relacionados con el usuario.

Otros aspectos que normalmente contribuyen a la calidad o valor de un producto son:

Utilidad	Rendimiento en aspectos como capacidad, potencia, velocidad, exactitud o versatilidad.
Confiabilidad	Ausencia de descomposturas o mal funcionamiento; funcionamiento bajo diversas condiciones ambientales.
Seguridad	Operación segura y libre de peligros.
Mantenimiento	Ausencia de requerimientos de mantenimiento, o requerimientos sencillos y no frecuentes.
Tiempo de vida	Con excepción de los productos desechables, un tiempo largo de vida que ofrezca un buen valor a cambio del precio inicial de compra.
Contaminación	Pocos subproductos desagradables o indeseables, o ausencia total de ellos, incluyendo ruido y calor.

Finalmente, existe toda una clase de atributos del valor relacionados con la estética. Éstos incluyen no sólo la apariencia de un producto —color, forma, estilo, etc.— sino también otros aspectos, como acabado superficial y sensación al tacto.

Evaluar alternativas y seleccionar mejoras

La aplicación del análisis del valor o la ingeniería del valor deberá dar por resultado un número de sugerencias alternativas para cambios al diseño del producto. Algunas de estas alternativas podrían no ser compatibles y, de hecho, todas las sugerencias deberán evaluarse cuidadosamente antes de seleccionar aquéllas que pueda demostrarse que son mejoras genuinas.

Resumen

Finalidad

Incrementar o mantener el valor de un producto para el comprador y reducir al mismo tiempo su costo para el productor.

Procedimiento

1. Hacer una lista de los distintos componentes del producto e identificar la función a la que sirve cada componente. En caso de ser posible, el producto real deberá desarmarse en sus componentes; los diagramas en explosión y los diagramas de funciones y componentes son más útiles que las listas de partes.
2. Determinar los valores de las funciones identificadas. Deben ser los valores tal como los perciben los clientes.
3. Determinar los costos de los componentes. Deben calcularse una vez que se han terminado y ensamblado completamente.

4. Buscar formas de reducir los costos, sin reducir el valor, o de agregar valor, sin agregar costos.

Es necesario hacer una crítica creativa, dirigida a incrementar la relación valor/ costo.

5. Evaluar alternativas y seleccionar mejoras.

Ejemplos

Ejemplo 1: Difusor para el cielo raso

Figura 68

Análisis del valor de un difusor de cielo raso en sistemas de aire acondicionado

Algunas veces pueden lograrse ahorros sustanciales en costos, incluso en productos relativamente sencillos. A un cuando el costo por unidad pudiera no ser grande, los ahorros totales pueden ser importantes cuando están involucradas un gran número de unidades. En este ejemplo, el producto es un difusor con un valor de \$10 dólares, y que se utiliza como dispositivo para cubrir el cielo raso en los puntos de salida de los sistemas de calefacción y aire acondicionado. Su función es ayudar a dispersar el flujo de aire en el cuarto, además de que su apariencia sea atractiva.

Función	Costo	Cambio en el diseño
Modernizar el producto	\$1.34 (13%)	Eliminar el cono central.
Minimizar mantenimiento y limpieza	\$0.05 (0.5%)	Los usuarios se quejaban de que el techo se manchaba a causa de la salida de aire. El equipo dio nueva forma a los tres conos restantes para ramificar el aire gradualmente y evitar que tocara el techo alrededor del difusor.
Asegurar la estabilidad	\$1.36 (13%)	El equipo se refirió a su hoja de trabajo de funciones-costos y descubrió que la mitad de las paletas, sujetadores y remaches, todos los resortes y gran parte del trabajo de mano de obra de ensamble eran para asegurar la estabilidad. El cambio se hizo con dos formas de alambre con dos de las patas soldadas por puntos a un cono central de nuevo diseño.
Facilitar la instalación y simplificar el ajuste	\$1.07 (10%)	Ambas funciones se realizan mediante áreas de acceso en los conos, para permitir el uso de un destornillador para fijar la unidad a las tuberías y para ajustar el amortiguador de tuberías después de la instalación. Se eliminaron las áreas de acceso en la instalación, ya que la instalación moderna no requiere fijación por tornillos. Se agregó un orificio para permitir el ajuste del amortiguador.
Proteger los embarques	\$0.86 (8%)	Las pláticas con los usuarios previas al estudio revelaron que los difusores se ordenaban invariablemente en pares. La caja de empaque se rediseñó para transportar dos unidades, con una reducción significativa en costos.

Algunas pláticas informales con usuarios y clientes (incluyendo a los instaladores) para determinar sus gustos y disgustos acerca del difusor existente revelaron varias áreas en donde los diseñadores sintieron que no había correspondencia entre los costos de fabricación y el valor que percibían los clientes de ciertos detalles. Las recomendaciones de los diseñadores sobre los cambios se presentan en la figura 68.

Los cambios dieron por resultado una reducción del 24% en los costos de material y del 84% en los costos de mano de obra, ahorrando a la compañía aproximadamente 500 000 dólares. Como resultado del rediseño se obtuvieron mejoras funcionales y estéticas; además de una reducción del 20% en el precio, estas mejoras contribuyeron a un incremento significativo en la participación de la compañía en el mercado. (Fuente: Fowler).

Ejemplo 2: Sistema de ignición

El producto bajo investigación en este ejemplo fue un motor de 1200 caballos de fuerza, utilizado principalmente en sistemas de compresión. El motor incluía varias características o subsistemas, que no ofrecían los competidores. Una de ellas era una sistema de ignición totalmente blindado, para evitar cualquier posibilidad de que una chispa encendiera el gas alrededor del motor. La compañía suponía que ésta era una característica valiosa de su motor. Sin embargo, los cuestionarios a un grupo seleccionado de usuarios, como parte de un ejercicio de ingeniería del valor, revelaron que la característica del sistema de ignición blindado no alcanzaba una calificación alta.

La figura 69 muestra el informe del análisis del valor elaborado por el equipo de diseño. Propusieron cambiar a un sistema de ignición no blindado, pero ofreciendo el sistema blindado como una opción de mayor costo para los clientes que lo desearan. El costo estimado del cambio fue tan sólo de 1520 dólares por diseño y dibujo. El ahorro bruto anual fue de 54 000 dólares, con un ahorro neto de 253 000 dólares durante los primeros tres años. (Fuente: Fowler).

Ejemplo 3: Válvula de aire

Este ejemplo, el análisis del valor de una válvula de aire de avión (figura 70) muestra cómo pueden costearse los componentes y las funciones en una tabla o matriz de comparación. Los componentes contribuyen a diversas funciones diferentes o relacionadas, por lo que el costo de una función particular se distribuye entre varios componentes. La clase de matriz de costos de componente/ función que se muestra en la figura 71 permite al diseñador analizar en detalle estas relaciones que son complejas. Cuando un componente contribuye a más de una función, puede ser difícil descomponer su costo general

ARTÍCULO Sistema de ignición blindado PROPUESTA Núm. 3-2-16
 PARTE Núm. Varias FECHA 9/12/87
 USADO EN Todos los motores CLASE 1 2 3

FUNCIONES CLAVES QUE REALIZA Resistir explosión CANTIDAD 76 POR Año

COSTOS DE PRODUCTO/PROCESO

MATERIAL	ACTUAL	PROPUESTO
MANO DE OBRA		
TOTAL	\$978	\$278

AHORRO BRUTO ANUAL \$54,600

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

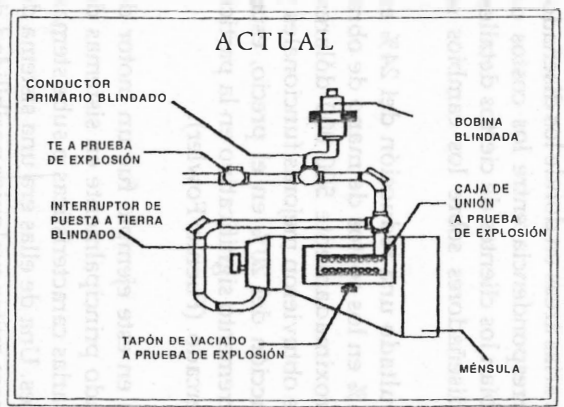
DISEÑO	209fr @22	\$440	A HERRAMENTAL		D	
DIBUJO	609fr @18	\$1,080	B		E	
PRUEBA			C		F	
CAPITAL			DIVIDIDO ENTRE		AÑOS	G

COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN (TOTAL DE A HASTA G) \$1,520

	AHORRO NETO	DERIVADO	TOTAL
PRIMER AÑO	\$53,080	\$30,264	\$83,344
NETO A 3 AÑOS	\$162,280	\$90,792	\$253,072

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN Disñar y dibujar el sistema de ignición no blindado.
Modificar catálogos de ventas y manuales. Trabajar el cambio por fases.

EQUIPO (INDICAR CON UN CÍRCULO AL LÍDER)
Allen Bork Ned Bangor Stan Filber Walt Garbert Andrew Frome



DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO Los datos del grupo seleccionado de usuarios comprueban que el usuario no aprecia el costoso sistema de ignición blindado. Cambiar al no blindado como estándar. Suministrar el blindado como una opción

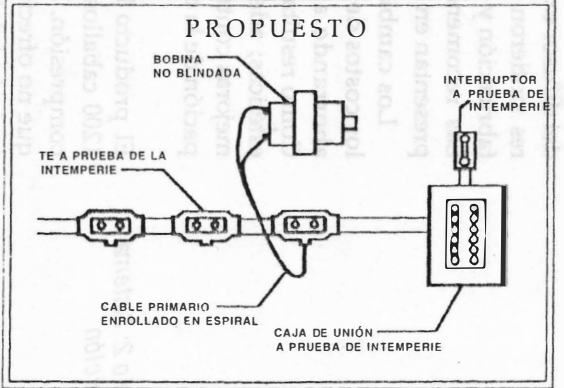
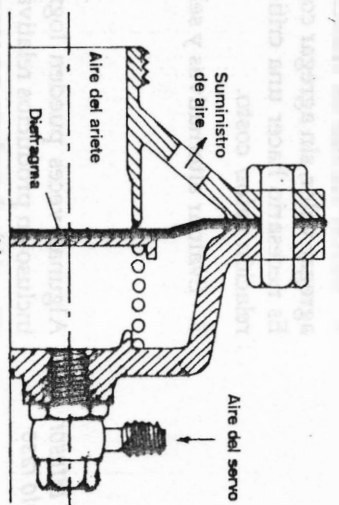


Figura 69 Análisis del valor del sistema de ignición de un motor

Figura 70

Análisis de costos de una válvula de aire para avión

Partes o ensambles	Costo (£)
Ensamble en forma de baño	1.07
Carcasa de la válvula	6.62
Resorte	0.39
Ensamble del diafragma	2.14
Cubierta	2.24
Oreja	0.10
Tuercas, tornillos y arandelas	2.34
Costo del ensamble	4.58
Total	£19.48



(a)

Partes	Funciones	Detener aire	Sentir aire del ariete	Sentir aire del servo	Conectar partes	Proporcionar partes	Resistir montaje	Proporcionar soporte	Proporcionar intercambabilidad	Sin función	Costo total	%
Ensamble en forma de baño	0.4	1.0	0.2	0.4	0.4	0.8	0.2	0.8	0.47	1.07	5.5	
Carcasa de la válvula	0.4	1.0	0.2	2.82	0.8	0.2	0.8	0.6	6.62	34.0		
Resorte	0.6	0.1	0.1	0.1	0.94	0.2	0.1	0.39	0.39	2.0		
Ensamble del diafragma	0.6	0.1	0.1	1.2	0.1	0.1	0.34	0.1	2.14	11.0		
Cubierta	0.4	0.4	0.4	1.2	0.1	0.1	0.34	0.1	2.24	11.5		
Oreja				2.14	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5		
Tuercas, tornillos y arandelas				4.58	0.1	0.1	0.1	0.1	2.34	12.0		
Ensamble				12.08	0.9	0.6	1.24	0.67	1.09	4.58	23.5	
Total	1.0	1.1	0.7	12.08	0.9	0.6	1.24	0.67	1.09	19.48	100.0	
% total	5.1	5.7	3.4	62.0	4.6	3.1	6.4	3.4	5.6			
Alto o bajo				A					A			

(b)

Partes	Funciones	Detener aire	Sentir aire del ariete	Sentir aire del servo	Conectar partes	Proporcionar partes	Resistir montaje	Proporcionar soporte	Proporcionar intercambabilidad	Sin función	Costo total	%
Cubierta y conexión	0.15	0.25	0.50	0.10	0.25	0.30	0.15	0.06	1.76	25.5		
Ensamble de la carcasa	0.15	0.20	0.25	0.45	0.45	0.40	0.25	0.03	2.18	31.5		
Ensamble del diafragma	0.15	0.10	0.25	0.20	0.25	0.10	0.20	0.03	1.28	18.5		
Ensamble de la válvula	0.05	0.05	0.05	0.05	0.15		0.31	0.05	0.66	9.5		
Sujetadores, tuercas, pernos, etc.				1.04					1.04	15.0		
Total	0.50	0.55	1.05	0.80	2.14	0.80	0.91	0.17	6.92	100.0		
% total	7.2	7.9	15.1	11.6	30.9	11.6	13.2	2.5				
Alto o bajo				A								

Figura 71 (a) Matriz de análisis de funciones y costos de la válvula de aire, (b) Matriz de análisis de funciones y costos de la válvula de aire rediseñada

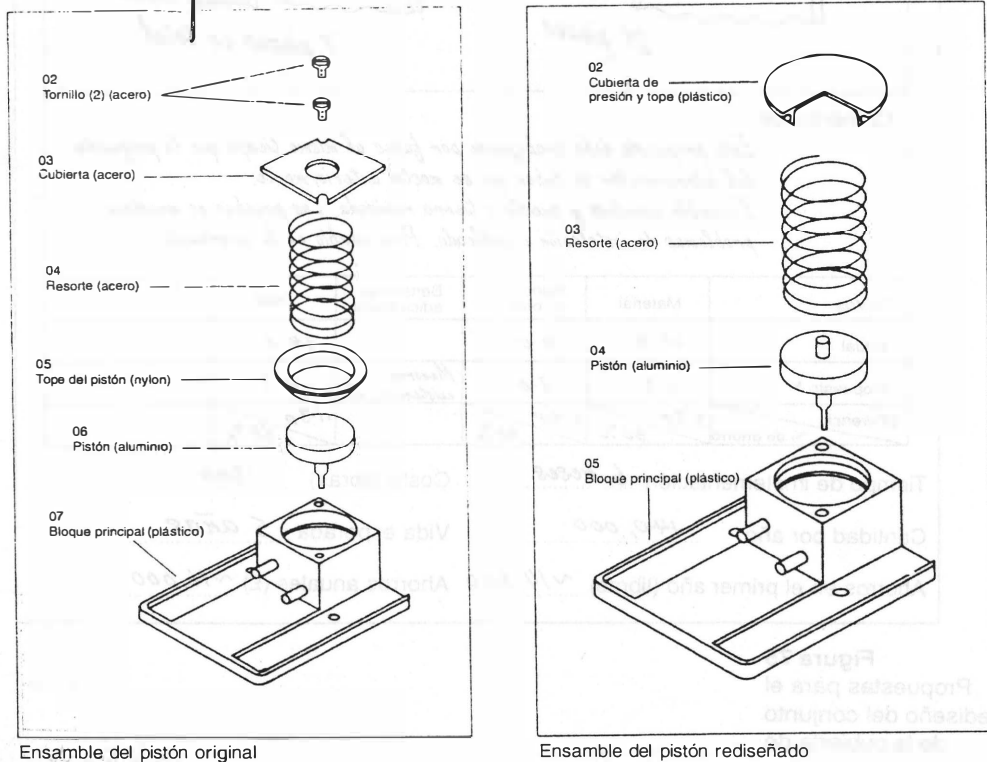
en costos precisos parciales por función. En tales casos, deben hacerse estimaciones aproximadas, pero bien informadas.

El análisis de este ejemplo reveló el costo relativamente elevado de la función "conectar partes", así como la redundancia de algunos elementos. Un rediseño permitió alcanzar algunas reducciones sustanciales, con un ahorro total en costos de más del 60%. (Fuente: EITB).

Ejemplo 4: Pistón

La eliminación de partes innecesarias puede ser un factor significativo en la reducción del costo global de un ensamble, y es uno de los enfoques principales del análisis del valor. La figura 72 muestra el rediseño de un pequeño ensamble para pistón, en el que se eliminan o combinan varias partes que estaban en el original. En donde sea posible debe eliminarse la tornillería, y en este ejemplo se descubrió que los dos tornillos podrían eliminarse si se cambiaba el material de la cubierta de acero a plástico, para tener un ajuste a presión en el bloque principal. La cubierta también se rediseñó para incorporar el tope del pistón y que quedara de una pieza. De esta forma, el número de partes casi cambió a la mitad en el rediseño, con la consecuente reducción de costos en material y ensamble sin

Figura 72
Rediseño de un ensamble de pistón para reducir el número de componentes



pérdida de rendimiento y obteniendo un producto estéticamente mejorado. (Fuente: Redford).

Ejemplo 5:
Calentador tubular

En una compañía que fabrica varias clases de aparatos eléctricos, se seleccionó su gama de calentadores tubulares para un ejercicio de ingeniería del valor. Estos calentadores son sencillos y robustos y se utilizan principalmente en instalaciones industriales y de oficina para proporcionar un calor de fondo. La gama de productos está compuesta de tubos similares de varias longitudes, con diversas capacidades de calor a una potencia estándar en vatios por unidad de longitud.

El análisis de componentes, funciones y costos, que se muestra en la figura 73, reveló que los mayores costos de partes y mano de obra estaban en la que se consideraba la tercera función más importante —la conexión de energía. Un examen más detallado de esta función reveló dos funciones secundarias bien delimitadas: en primer lugar, proporcionar un interconector para agrupar los tubos en la conexión a la línea principal y, en segundo lugar, proporcionar una conexión compleja de las terminales.

Una sesión de generación de ideas produjo las sugerencias para el rediseño que se muestran en las figuras 74 y 75. El interconector moldeado fue reemplazado con tres cables separados y una cubierta (figura 74), lo cual también permitió simplificar considerablemente la misma terminal (figura 75). En conjunto, las modificaciones dieron por resultado una reducción del 21% en los costos.

Figura 73
Análisis de funciones y costos del calentador tubular

FORMA DE ANALISIS DE FUNCIONES Y COSTOS	Fecha:	Funciones de apoyo					Costo del artículo
		INGENIERIA ELEMENTAL	GENERAR CALOR	CONECTAR ENERGIA	PROPORCIONAR SEGURIDAD CONTRA DAÑOS		
		1	2	3	5		
Función básica							
DISIPAR CALOR							
Artículo						P	%
Ensam. tubular		24.1					24.1
Ensam. elementos		6.8	24.8	0.6			32.2
Ensam. cablear terminal				14.9			14.9
Ensam. cubierta				4.1			4.1
Ensam. final		0.5	0.5				1.0
Empaque						5.4	5.4
Pintura					4.0		4.0
Interconector				13.8			13.8
Costo de la función		31.4	25.3	22.4	4.0	5.4	99.5
% del costo total		31	25	34	4	5	≈100%
Secuencia de costos		(2)	(3)	(1)	(5)	(4)	

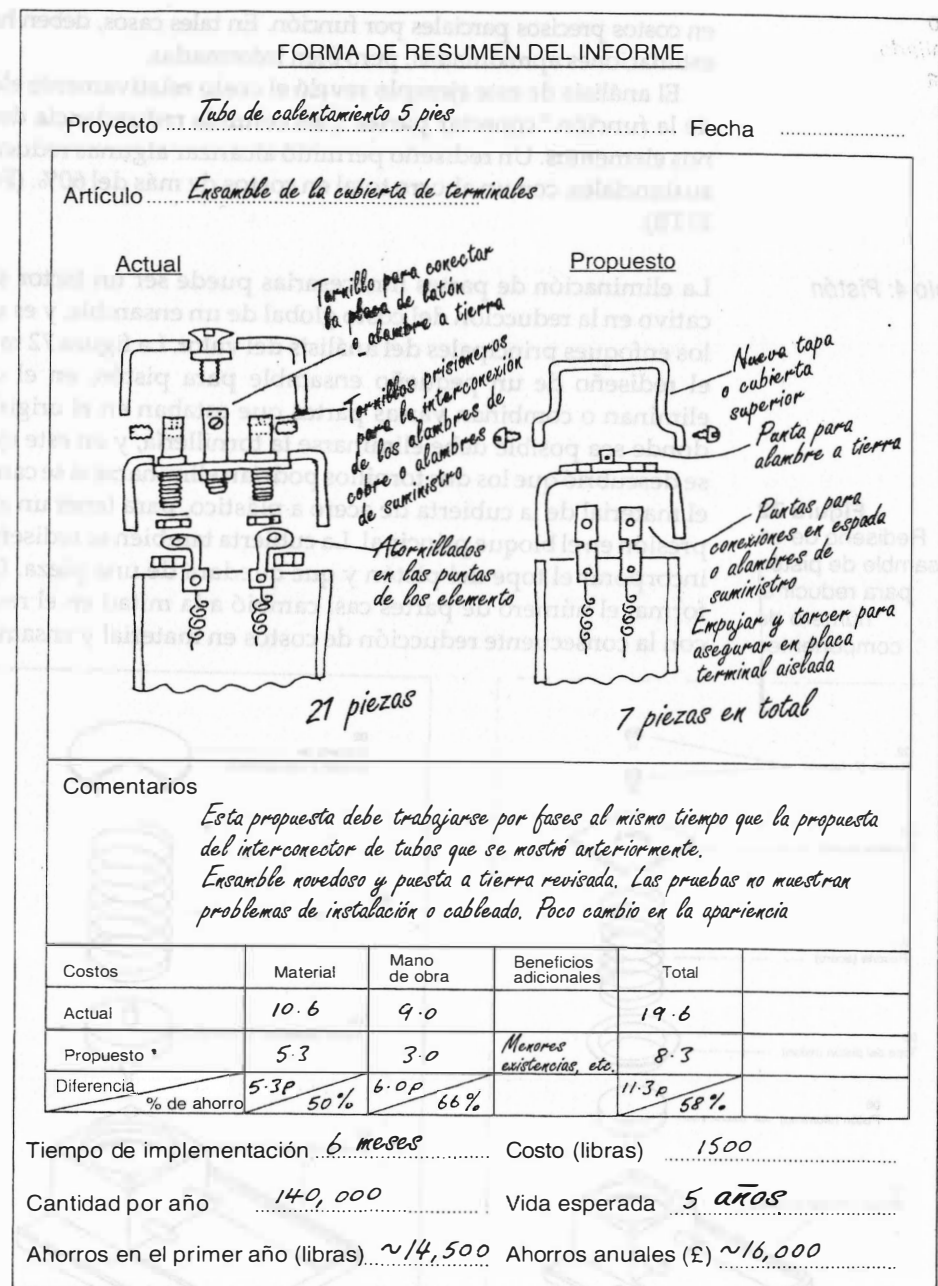
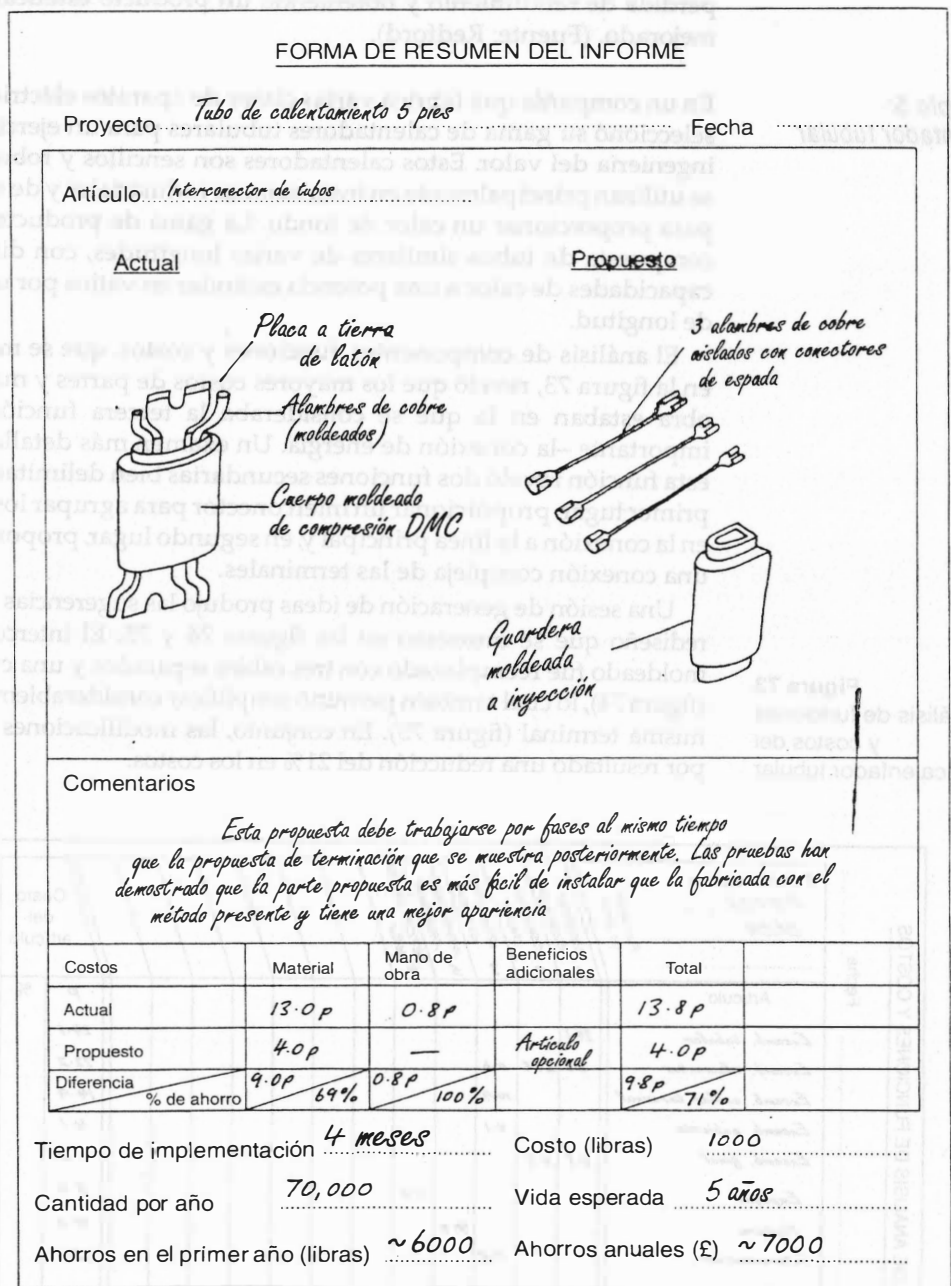


Figura 74 Propuestas para el rediseño del interconector de tubos

Figura 75 Propuestas para el rediseño del conjunto de la cubierta de terminales

*Ejemplo desarrollado:
Linterna*

Este ejemplo relativamente sencillo demuestra los principios tanto de la aplicación del análisis del valor con el objetivo de reducir el costo de un producto, como la aplicación de la ingeniería del valor con el objetivo de generar un producto innovador y con mayor valor.

La figura 76 muestra cómo deberían comenzar los proyectos de análisis del valor y de ingeniería del valor, con un diagrama en explosión del producto, que en este caso es una linterna convencional. El diagrama muestra los distintos componentes e indica cómo se ensamblan para obtener el producto completo.

La investigación de mercados demostró que dos aspectos principales de la linterna son altamente valorados por los usuarios: En primer lugar, la calidad de la luz emitida, que los usuarios consideran que está influida (además del poder de la batería) por el foco y el reflector; y en segundo lugar, la facilidad de uso de la linterna, determinada por el cuerpo y el interruptor de la lámpara. Una característica con un valor inferior en este diseño particular de linterna era el ganchito colgante en la base de la lámpara, que difícilmente se llegaba a utilizar y que, por lo tanto, era considerado redundante por la mayoría de los usuarios.

Los componentes, las funciones y los valores percibidos aparecen en la tabla 6, en donde los valores se categorizan simplemente como alto, mediano o bajo. Es útil observar que algunos componentes que son importantes para el rendimiento técnico del producto, no son necesariamente percibidos por los usuarios como de alto valor —entre los ejemplos que se incluyen aquí están el soporte del foco y el resorte de presión en la base—.

Un ejercicio de análisis del valor condujo con bastante rapidez a la sugerencia de algunas modificaciones que abatirían el costo del producto sin reducir su valor. La cubierta del reflector parecía ser demasiado complicada, con sus tres distintos componentes: vidrio, arandela y retén atornillado. Se sugirió como alternativa una tapa transparente de plástico de una sola pieza. La base de la lámpara también parecía ser un conjunto más bien complicado, y también se sugirió una tapa de plástico de una sola pieza que estuviera atornillada, con un resorte integral de lengüeta plástica para proporcionar la presión a las baterías, y se eliminó el ganchito.

También se propuso eliminar el interruptor, proporcionando en su lugar la interrupción eléctrica mediante el giro de la cabeza de la lámpara. Sin embargo, con base en una evaluación se decidió que esto no era muy conveniente para el usuario y se corría el riesgo de perder la facilidad de uso del interruptor accionado por el pulgar, la cual tenía un alto valor.

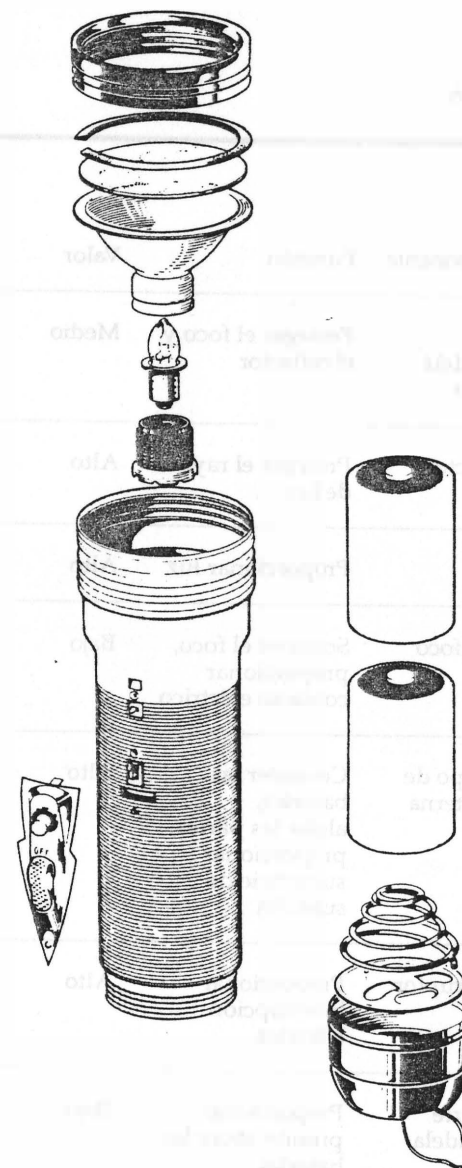


Figura 76
Diagrama en explosión de una linterna

La tabla 6 muestra que los costos del rediseño indicaban un ahorro potencial en costos de fabricación de aproximadamente 20%.

Un ejercicio más completo de ingeniería del valor se hubiera concentrado en los aspectos de alto valor en la lámpara tal como lo percibían los usuarios y buscaría modificar estas características,

Tabla 6

Componente	Función	Valor	Costo (libras)	
			Original	Rediseñado
Tapa Arandela Vidrio	Proteger el foco y el reflector	Medio	0.16	0.08
Reflector	Proteger el rayo de luz	Alto	0.12	0.12
Foco	Proporcionar luz	Alto	0.10	0.10
Portafoco	Sostener el foco, proporcionar contacto eléctrico	Bajo	0.05	0.05
Cuerpo de la linterna	Contener las baterías, alojar las partes, proporcionar superficie de sujeción	Alto	0.26	0.26
Interruptor	Proporcionar interrupción eléctrica	Alto	0.08	0.08
Resorte Arandela	Proporcionar presión sobre las baterías	Bajo	0.10	0.10
Tapa	Proteger las baterías	Medio	0.10	0.10
Ganchito	Proporcionar un medio para colgar	Bajo	0,03	—
Total			£1.00	£0.79

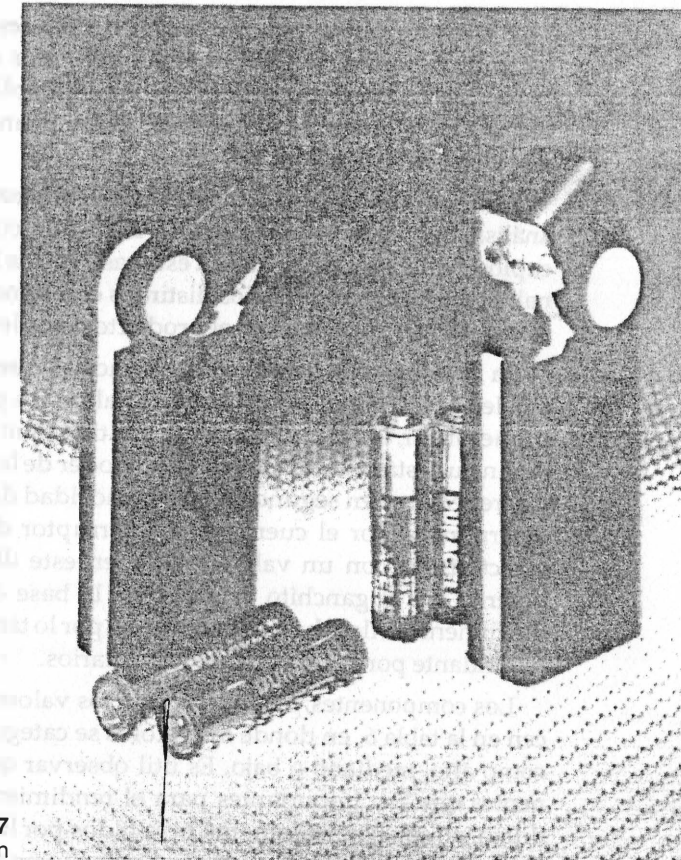


Figura 77
La linterna Durabeam

para hacerlas aún mejores o para generar innovaciones relacionadas con ellas. Las características de alto valor de la lámpara tienen que ver con su haz de luz y su manejo.

Un poco de investigación con los usuarios podría muy bien haber descubierto que la lámpara convencional tiene algunas deficiencias en estas áreas. Por ejemplo, parece estar diseñada básicamente para lanzar un rayo de luz moderadamente amplio a una distancia razonable, como para iluminar un sendero. Sin embargo, en la actualidad el mayor uso que se da a una lámpara es para una iluminación más cercana, como cuando se desea encontrar la entrada de una llave en una cerradura o para efectuar reparaciones de emergencia en el motor de un vehículo. En el último caso, es importante poder colocar la lámpara hacia abajo, dejando libres las manos de la persona, y dirigir el rayo de luz hacia el punto apropiado. La lámpara cilíndrica convencional está pobremente diseñada

para esto; además, su forma no es conveniente para llevarse en el bolsillo o en una bolsa de mano.

La novedosa lámpara "Durabeam" (figura 77) ilustra cómo podrían haberse aplicado estos principios en el diseño de un nuevo producto. Las baterías se colocan lado a lado, en lugar de colocarse de punta a punta, creando de esta forma un cuerpo plano, rectangular y compacto para la carcasa. El interruptor accionado con el pulgar se eliminó con un mecanismo basculante que actúa como interruptor y que también permite ajustar el ángulo de dirección del haz de luz.

11 Estrategias de diseño

¿Qué es una estrategia de diseño?

El empleo de cualquier método particular durante el proceso de diseño da la apariencia de desviar esfuerzos de la tarea central. Sin embargo, ésta es precisamente la importancia de utilizar un método —implica reflexionar un poco sobre la *forma* en que se está abordando el problema—. Requiere cierto pensamiento estratégico acerca del proceso de diseño.

Una estrategia de diseño describe el plan general de acción para un proyecto de diseño y la secuencia de las actividades particulares (es decir, las tácticas o métodos de diseño) que el diseñador o el equipo de diseño esperan seguir para llevar a cabo el plan. Tener una estrategia consiste en estar consciente del lugar al que uno va y cómo pretende uno llegar ahí. El propósito de tener una estrategia es asegurar que las actividades permanezcan apegadas a la realidad con respecto a las restricciones de tiempo, recursos, etc., dentro de las cuales tiene que trabajar el equipo de diseño.

Muchos diseñadores parecen operar sin ninguna estrategia de diseño explícita. Sin embargo, el no tener un plan aparente de acción puede ser también una estrategia. Podría denominarse una estrategia de búsqueda al azar y ser apropiada en situaciones de diseños novedosos de gran incertidumbre, en donde se esté haciendo la búsqueda más amplia posible de soluciones. Como ejemplos de tales situaciones se pueden mencionar la búsqueda de aplicaciones para un nuevo material o diseñar una máquina nueva, como un robot para el hogar.

Para estas clases de situaciones, una estrategia apropiada sería hacer una búsqueda (al menos para comenzar) tan amplia como sea posible, esperando encontrar o generar algunas ideas realmente novedosas y buenas. La táctica apropiada se tomaría principalmente de los métodos creativos.

En el extremo opuesto de la búsqueda al azar estaría una secuencia completamente predecible o prefabricada de acciones intentadas y probadas. Dicha estrategia sería apropiada en situaciones

familiares y bien conocidas. Como ya se mencionó, podría no parecer una estrategia explícita, simplemente porque implica seguir una ruta bien trazada de actividades convencionales. Ejemplos de situaciones apropiadas para tal estrategia podrían incluir el diseño de otra variante de la máquina que siempre se fabrica, o diseñar un tipo específico y convencional de producto para un sector identificado del mercado.

En tales situaciones, la estrategia de diseño estaría encaminada a reducir la búsqueda de soluciones y dirigirse rápidamente a un diseño satisfactorio. Las tácticas apropiadas se tomarían de técnicas convencionales y métodos con un marco de referencia lógico.

Las estrategias de búsqueda al azar y prefabricada representan dos formas extremas. En la práctica, la mayoría de los proyectos de diseño requieren una estrategia que se encuentre en algún punto intermedio entre los dos extremos, y contenga elementos de ambas.

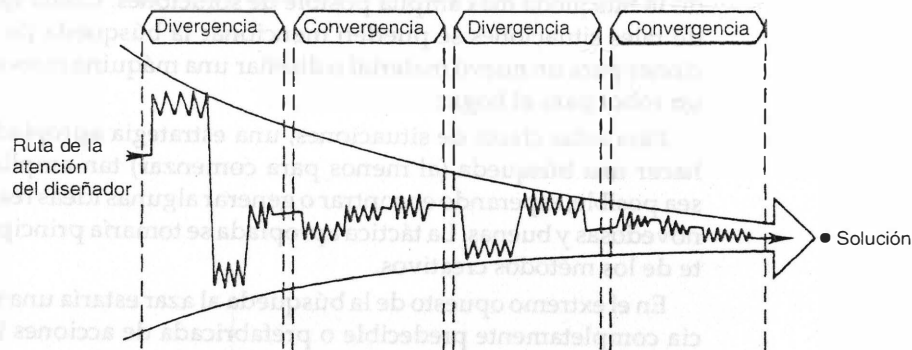
La estrategia de búsqueda al azar representa un enfoque de diseño predominantemente *divergente*; la estrategia prefabricada representa un enfoque predominantemente *convergente*. Por lo regular, la finalidad global de una estrategia de diseño será la de converger en una propuesta final de diseño, evaluada y detallada. Sin embargo, dentro del proceso para llegar a dicho diseño final habrá ocasiones en donde será apropiado y necesario divergir—ampliar la búsqueda o buscar nuevas ideas y puntos de partida—.

El proceso global de diseño es, por lo tanto, convergente, pero contendrá períodos de divergencia deliberada (figura 78).

Los psicólogos han sugerido que algunas personas por naturaleza son pensadores convergentes, mientras que otros son pensadores divergentes. Estos estilos de pensamiento preferido significan que algunos diseñadores se sienten más a gusto con una clase de estilo de estrategia que con otra; una persona puede

Estilos de estrategias

Figura 78
El proceso de diseño general es convergente, pero incluye períodos tanto de convergencia como de divergencia



preferir un estilo convergente, en tanto que otra prefiere un estilo divergente. Por otro lado, en un contexto de equipo de diseño, los diseñadores con un estilo preferido sobresalen en ciertas etapas del proceso de diseño, mientras que algunos lo hacen en otras.

Los pensadores convergentes generalmente son buenos en el diseño de detalles, en la evaluación y en la selección de la propuesta más apropiada o factible de un rango de opciones. Los pensadores divergentes generalmente son buenos en el diseño de conceptos y en la generación de una amplia gama de alternativas. Obviamente, ambas clases de pensamiento son necesarias para que un diseño tenga éxito. Desafortunadamente, gran parte de la educación en ingeniería (y en otras áreas) tiende a promover y desarrollar sólo el pensamiento convergente.

Los psicólogos también han identificado otras clases de estilos de pensamiento, además de los estilos convergente y divergente, que también podrían tener importancia en el diseño y en la estructura de las estrategias de diseño. Una de las dicotomías más importantes en el estilo del pensamiento parece ser la que se da entre el *serialista* y el *holista*. Un pensador serialista prefiere proceder en pasos pequeños y lógicos, trata de aclarar todo punto o decisión a tomar antes de pasar a la siguiente, y persigue una ruta directa a lo largo de la tarea, tratando de evitar cualquier disgresión. Un pensador holístico prefiere proceder en un frente mucho más amplio, recogiendo y utilizando pequeñas partes de información que no necesariamente están conectadas de manera lógica, y haciendo cosas fuera de orden.

Otra distinción que se ha hecho entre los estilos de pensamiento es aquella entre el pensamiento *lineal* y el *lateral*. El pensamiento lineal procede de manera rápida y eficiente hacia una meta percibida, pero el resultado podría ser quedar estancado en una rutina, en tanto que el pensamiento lateral implica una disposición para ver y moverse hacia nuevas direcciones de pensamiento.

Las dicotomías del estilo de pensamiento sugeridas por los psicólogos tienden a caer en dos grupos:

Convergente	Divergente
Serialista	Holista
Lineal	Lateral

Existe incluso cierta evidencia que sugiere que hay una dicotomía fundamental entre los estilos de pensamiento de los dos hemisferios del cerebro. El hemisferio izquierdo predomina en modos de pensamiento lógicos, verbales y analíticos, en tanto que el hemisfe-

rio derecho predomina en modos de pensamiento intuitivos, no verbales y sintéticos.

Las diferencias en los estilos de pensamiento, por lo tanto, parecen ser una característica inherente de los seres humanos. La mayoría de las personas *tienden* hacia una preferencia por un estilo más que por el otro; sin embargo, nadie está *exclusivamente* limitado a sólo un estilo. En particular, en realidad es importante ser capaz de cambiar de un estilo a otro en el curso de un proyecto de diseño.

Sin embargo, muchos modelos del proceso de diseño, como los que se examinaron en el capítulo 2, tienden a presentar el diseño como un proceso lineal y serialista. Esto podría ser desconcertante o desalentador, e incluso contraproducente para aquellos diseñadores cuyo propio estilo de pensamiento preferido tiende más hacia el lateral y holístico. Lo que se necesita es un enfoque estratégico más flexible para el diseño, que identifique y promueva la clase correcta de pensamiento en el momento correcto, y dentro del contexto del proyecto de diseño particular.

Analogías de estrategias

Para llevar las estrategias y tácticas de diseño hacia este enfoque más flexible algunos autores han recurrido al uso de analogías. Jones, por ejemplo, ha sugerido que un diseñador es como un explorador que busca un tesoro enterrado:

Un nuevo problema es como un territorio desconocido, con una extensión desconocida, en donde el explorador efectúa su búsqueda haciendo una red de trayectos. Tiene que inventar esta red, ya sea antes de comenzar o a medida que procede.

Los métodos de diseño son como las herramientas de navegación, utilizadas para trazar el curso de un viaje y mantener el control sobre el lugar que se recorre. El diseño, como la navegación, sería directo si en primer lugar uno no tuviera que depender de información inadecuada. A diferencia del explorador, el panorama del diseñador es inestable e imaginario, cambia su forma de acuerdo con sus propias suposiciones.

El diseñador tiene que buscar tanto sentido como sea posible en cada vista fragmentaria, de tal manera que pueda llegar al tesoro sin pasar toda su vida en la búsqueda. A menos que tenga poca suerte, o no sea muy inteligente, llegará al tesoro mucho antes de que haya tenido que buscar en cada pulgada del terreno.

Koberg y Bagnall han sugerido que el diseñador es como un viajero, y que el proceso de diseño es un viaje de solución de problemas:

Una regla general consiste en encontrar y utilizar los métodos que mejor se adapten al problema, así como las habilidades de quien debe resolver los problemas. Es una tarea similar a la de seleccionar la ruta, los caminos laterales y las paradas durante la noche en un viaje en automóvil. Así como cualquier planificador de viajes competente examinaría en un mapa las rutas alternativas,

y leería varios folletos, libros o artículos antes de elegir una ruta para su viaje, de la misma manera la persona que resuelve problemas deberá revisar los métodos disponibles y no tener miedo de adaptar alguno de ellos a sus necesidades especiales.

Para el autor, en lugar de la exploración o los viajes, es preferible una analogía basada en el fútbol. Un equipo de diseño, como un equipo de fútbol, debe tener una estrategia. La estrategia del equipo de fútbol para derrotar a la oposición consistirá de un plan acordado para emplear una variedad de jugadas o movimientos (es decir, técnicas o métodos), que se aplicarán según lo exija la situación. Durante el juego, la elección de un movimiento y el que éste tenga o no dependerá de las circunstancias específicas, de la habilidad de los jugadores, y de la respuesta de la oposición.

El repertorio de movimientos utilizados en un juego se decide en parte por adelantado, se improvisa en parte en el campo y también se corrige en la revisión que hace el entrenador del equipo en el medio tiempo. El papel del entrenador es importante ya que tiene una visión más amplia del juego que la que pueden tener realmente los jugadores en el campo. En el diseño, al revisar la estrategia y el avance del proyecto, es necesario adoptar de cuando en cuando un papel similar.

El lector, como diseñador individual, o miembro de un equipo de diseño, el abordar su problema y llegar a su meta implicará tanto las habilidades estratégicas del entrenador y las habilidades tácticas del jugador. De la misma manera, al igual que el equipo, tendrá que revisar su estrategia, en el campo y en el medio tiempo, para asegurar que su problema no lo derrote. Una estrategia de diseño, por lo tanto, deberá proveerle dos cosas:

1. Un *marco de trabajo* de acciones dentro de las cuales se propone operar.
2. Una función administrativa de *control* que le permita adaptar sus acciones a medida que aprende más acerca del problema y las respuestas a sus acciones.

Marcos de trabajo para la acción

Ya se ha sugerido un marco de trabajo completo, con métodos apropiados identificados y localizados dentro de él. Este modelo del proceso de diseño con base en procedimientos se describió en el capítulo 3:

	<i>Etapas en el proceso de diseño</i>	<i>Métodos apropiados</i>
1	Clarificación de objetivos	Árbol de objetivos

2	Establecimiento de funciones	Análisis de funciones
3	Fijación de requerimientos	Especificación del rendimiento
4	Determinación de características	Despliegue de la función de calidad
5	Generación de alternativas	Diagrama morfológico
6	Evaluación de alternativas	Objetivos ponderados
7	Mejora de detalles	Ingeniería del valor

Si se considera apropiado para el proyecto específico en cuestión, entonces se adopta el modelo como una estrategia prefabricada completa. Comprende un marco de trabajo de siete etapas que cubre el proceso de diseño desde los objetivos del cliente hasta el diseño de detalles y una táctica apropiada —un método de diseño— para cada etapa. Por supuesto, en cada etapa se puede agregar o reemplazar métodos. Por ejemplo, para generar soluciones alternativas, se utiliza la lluvia de ideas en lugar de un diagrama morfológico; en la etapa del diseño de detalles, podría utilizarse el método convencional de diseñar dibujando en lugar de la ingeniería o el análisis del valor, o ambos.

Sin embargo, este marco de trabajo particular no implica que el proceso de diseño vaya a ser un proceso sencillo, paso a paso. Implica un proceso de diseño lineal. Una estrategia de diseño más adaptada a un enfoque lateral podría ser similar a la siguiente:

<i>Etapas</i>	<i>Métodos a utilizar</i>
1. Exploración divergente del problema	Diagrama morfológico Lluvia de ideas
2. Estructuración del problema	Árbol de objetivos Especificación del rendimiento
3. Convergencia en la solución	Sinéctica

Como se describió en el capítulo 3, se podría adoptar otro marco de trabajo del patrón general del proceso creativo, en cuyo caso se desarrollaría como sigue:

<i>Etapas</i>	<i>Métodos a utilizar</i>
1. Reconocimiento	Lluvia de ideas Escritura de un planteamiento de diseño
2. Preparación	Árbol de objetivos Búsqueda de información Análisis de funciones

3. Incubación	Tomar un día de asueto Comentar el problema con colegas y amigos Abordar otro problema Ampliar el espacio de búsqueda: planeación contraria
4. Iluminación	Diagrama morfológico Lluvia de ideas Ampliar el espacio de búsqueda entrada de información aleatoria
5. Verificación	Especificación del rendimiento Objetivos ponderados

En resumen, se puede ver que hay muchos marcos de trabajo de estrategia diferentes, así como muchas combinaciones tácticas diferentes de métodos y técnicas.

Control de estrategias

El segundo aspecto importante para que una estrategia de diseño tenga éxito es que incluya un fuerte elemento de control administrativo. Si se trabaja solo en el proyecto, entonces es una autoadministración. Si el trabajo se hace como parte de un equipo, entonces el líder del proyecto o todo el equipo, en conjunto, deben revisar periódicamente el avance y corregir la estrategia y las tácticas, en caso de ser necesario.

Sea cual sea el marco de trabajo general que se adopte para el proyecto, es necesario tener control adicional de la estrategia a fin de evitar pérdidas innecesarias de tiempo, avanzar por callejones sin salida y otros errores de este tipo. Algunas reglas sencillas de control de estrategias son:

1. Mantener claros sus objetivos

Durante el diseño es imposible tener un conjunto de objetivos ya definidos, puesto que los fines y los medios están inextricablemente entrelazados en el producto que se está diseñando. Una solución creativa a un problema de diseño implica cambiar algunos de los objetivos originales. Sin embargo, esto no significa que sea imposible tener algunos objetivos claros del todo. Por el contrario, es importante que en todo momento se tengan claros los objetivos (probablemente en la forma de un "árbol de objetivos"), pero que también se reconozca que los mismos pueden cambiar a medida que evoluciona el proyecto.

2. Mantener su estrategia bajo revisión

No se debe perder de vista que la finalidad general es la de resolver el problema de diseño en una forma creativa y apropiada —no consiste en seguir obstinadamente la ruta fijada, que quizás no lleve a ninguna parte—. Una estrategia de diseño necesita ser flexible, adaptable e inteligente; por esta razón, debe revisarse en forma regular. Si las acciones no están siendo muy productivas, o si están estancadas, entonces es necesario hacer una pausa para comprobar si existe alguna mejor forma de proceder. Se debe tener confianza para adaptar las tácticas —los métodos y las técnicas— a la propia forma de trabajar, así como a los fines y el avance del proyecto.

3. Hacer participar a otras personas

Cada persona “ve” un problema en forma diferente, y es cierto que “dos cabezas piensan más que una”. Si el trabajo de diseño está estancado, una de las formas más fáciles de determinar lo que está saliendo mal consiste en comentar el proyecto a un colega o amigo. Otras personas, por supuesto, también son capaces de ofrecer ideas y diferentes puntos de vista sobre el problema, las cuales muy bien podrían sugerir formas para modificar el enfoque.

4. Mantener archivos separados para los distintos aspectos

Casi con toda seguridad habrá ocasiones en que se tendrá que trabajar en paralelo en varios aspectos diferentes de un proyecto. Por tal razón, es conveniente mantener archivos distintos que permitan pasar rápidamente de un aspecto a otro, o trabajar con una nueva información en un área sin distraer el trabajo en la otra. Un archivo muy útil que se debe tener es el de “Ideas para soluciones”. A cada momento, a lo largo del proyecto, es probable que se tope o se le ocurran ideas para solucionar algo, pero se necesitará mantenerlas archivadas hasta que pueda concentrarse toda la atención en los conceptos de solución o detalles.

Ejercicios: Selección de estrategias y tácticas

Estos breves ejercicios pretenden que el lector adquiriera un poco de práctica en el diseño de marcos de trabajo estratégicos y en la selección de técnicas o métodos tácticos apropiados. En cada ejercicio deben emplearse de 5 a 10 minutos únicamente.

Ejercicio 1

Su compañía fabrica puertas industriales de varias clases. Con la creciente disponibilidad de dispositivos electrónicos, controles remotos, etc., la compañía ha decidido producir una nueva gama de

puertas operadas automáticamente. A usted se le ha solicitado que proponga un conjunto de diseños prototipos que establezcan las características básicas de esta nueva gama. Describa su estrategia y sus tácticas de diseño.

Ejercicio 2

Su compañía fabrica maquinaria para empaque. Uno de los clientes más importantes está a punto de cambiar su gama de productos y, en consecuencia, necesitará reemplazar su maquinaria para empaque. Usted será responsable de diseñar esta nueva maquinaria. Describa su estrategia y sus tácticas de diseño.

Ejercicio 3

Usted acaba de ser designado consultor de diseño de una compañía que fabrica equipo de oficina. Las ventas han caído drásticamente debido a que sus diseñadores no se han mantenido al día con las tendencias de los modernos equipos de oficina. Para recuperar su posición, la compañía desea un producto completamente nuevo que esté un paso adelante de todos sus rivales. Usted tiene que sugerir lo que debe ser el nuevo producto y producir en dos semanas algunas propuestas de diseño preliminares para presentarlas en una junta del consejo de administración. Describa su estrategia y sus tácticas de diseño.

Exposición de los ejercicios

1. Puertas industriales

El cambio de puertas manuales a automáticas implica una oportunidad para revisar la amplitud de la gama actual de puertas de la compañía —quizás incluir algunos tipos de puerta que anteriormente no se habían contemplado—. Por lo tanto, en las primeras etapas del proceso de diseño vale la pena hacer algún esfuerzo de búsqueda divergente. También es importante no pasar por alto las características de las puertas existentes que los clientes valoran, de manera que el despliegue de la función de calidad podría utilizarse para identificar las características críticas. La estrategia sugerida sería:

Marco de trabajo	Métodos
1. Exploración del problema	Lluvia de ideas Sinéctica
2. Especificación del problema	Despliegue de la función de calidad

- | | |
|------------------------------|----------------------|
| 3. Soluciones alternativas | Diagrama morfológico |
| 4. Selección de alternativas | Objetivos ponderados |

2. Maquinaria para empaque

Éste parece ser un caso simple de rediseño de un producto ya establecido. No existe una necesidad aparente de conceptos de diseño radicalmente nuevos, de manera que se pueden utilizar métodos bastante convencionales. La estrategia sugerida sería:

- | Marco de trabajo | Métodos |
|--|--------------------------------------|
| 1. Requerimientos del cliente/ especificación del problema | Especificación del rendimiento |
| 2. Soluciones alternativas/ evaluación de alternativas | Ingeniería del valor |
| 3. Diseño de detalles | Diseño convencional mediante dibujos |

3. Equipo de oficina

Éste problema sugiere la necesidad urgente de algún pensamiento radical de diseño. En consecuencia, las técnicas de creatividad serán participantes indispensables en la estrategia. Después de la generación de ideas, podría tratarse de usar una versión modificada, más convergente, del método del árbol de objetivos en una etapa final y trabajar ésta en la presentación al consejo, de tal manera que relacione la elección de alternativas con los objetivos de la compañía. La estrategia sugerida sería:

- | Marco de trabajo | Métodos |
|----------------------------|--|
| 1. Búsqueda divergente | Ampliar el espacio de búsqueda:
Técnica ¿Por qué ...? ¿Por qué ...?
¿Por qué ...?
Análisis de funciones |
| 2. Soluciones alternativas | Lluvia de ideas
Diagrama morfológico |
| 3. Selección convergente | Árbol de objetivos |

Es la intención del autor que estos ejemplos breves ofrezcan una guía sobre la forma de adoptar un enfoque estratégico en el diseño de productos, empleando una variedad de métodos como tácticas de diseño. Los puntos importantes que deben recordarse son: diseñar una estrategia que responda al problema y a la situación particular, mantener flexible la estrategia y revisar periódicamente su eficacia durante el proyecto de diseño.

Lecturas recomendadas y fuentes de consulta

- Archer, L. B. *Systematic Methods for Designers*. En: N. Cross (comp.), *Developments in Design Methodology* Wiley, Chichester.
- Davis, R. Una investigación psicológica sobre el origen e implementación de ideas, *MSc Thesis*, Departamento de Ciencias de la Administración, Universidad de Manchester, Instituto de Ciencia y Tecnología.
- Ehrlenspiel, K. y John T. Inventos por metodología del diseño. Conferencia Internacional de Diseño de Ingeniería, American Society of Mechanical Engineers, Nueva York.
- Engineering Industry Training Board *Value Engineering* E. I. T. B., Londres.
- Fowler, T., C. *Value Analysis in Design* Van Nostrand Reinhold, Nueva York.
- French, M. J. *Conceptual Designs for Engineers* Design Council, Londres.
- Hauser, J. R. y Clausing, D. La casa de la calidad *Harvard Business Review*.
- Hawkes, B. y Abinett, R. *The Engineering Design Process* Pitman, Londres.
- Hubka, V. *Principles of Engineering Design* Butterworth, Londres.
- Hubka, V., Andreasen, M. M. y Eder, W. E. *Practical Studies in Systematic Design* Butterworth, Londres.
- Jones, J. C. *Design Methods* Wiley, Chichester.
- Jones, J. C. *A Method of Systematic Design*. En: N. Cross (comp.), *Developments in Design Methodology* Wiley, Chichester.
- Koberg, D. y Bagnall, J. *The Universal Traveler* Kaufmann, Los Altos, Calif.
- Krick, E. *An Introduction to Engineering* Wiley, Nueva York.
- Lawson, B. R. *Cognitive Strategies in Architectural Design*. En: N. Cross (comp.), *Developments in Design Methodology* Wiley, Chichester.

- Love, S. F. *Planning and Creating Successful Engineering Design* Advanced Professional Development, Los Angeles, Calif.
- Luckman, J. *An Approach to the Management of Design*. En: N. Cross (comp.), *Developments in Design Methodology* Wiley, Chichester.
- March, L. J. *The Logic of Design*. En: N. Cross (comp.), *Developments in Design Methodology* Wiley Chichester.
- Marples, D. *The Decision of Engineering Design* Institute of Engineering Designers, Londres.
- Norris, K. W. *The Morphological Approach to Engineering Design*. En: J. C. Jones y D. Thornley (comps.), *Conference on Design Methods Pergamon*, Oxford.
- Pahl, G. y Beitz, W. *Engineering Design* Design Council, Londres.
- Pighini, U. *et al.* La determinación de las dimensiones óptimas para un automóvil urbano *Design Studies* 4, núm. 4.
- Pugh, S. *Total Design* Addison Wesley, Wokingham.
- Ramaswamy R. y Ulrich, K. *Augmenting the House of Quality with Engineering Models*. En: D. L. Taylor y L. A. Stauffer (comps.), *Design Theory and Methodology* American Society of Mechanical Engineers, Nueva York.
- Redford, A. H. Diseño para ensambles *Design Studies* 4, núm. 3.
- Shahin, M. M. A. Aplicación de una metodología de diseño sistemático *Design Studies* 9, núm. 4.
- Simon, H. A. *The Structure of Ill-Structured Problems*. En: N. Cross (comp.), *Developments in Design Methodology* Wiley, Chichester.
- Tebay, R., Atherton, J. y Wearne, S. H. Decisiones de diseño de ingeniería mecánica *Proc. Inst. Mech. Engrs.* 198B, núm. 6.
- Tjalve, E. *A Short Course in Industrial Design* Newnes-Butterworths, Londres.
- Tovey, M. Estilos de pensamiento y sistemas de modelación *Design Studies* 7, núm. 1.
- Ullman, D. G. *The Mechanical Design Process* McGraw-Hill, Nueva York.

Índice

- | | |
|--|--|
| Acoplamiento de flechas, ejemplo de un, 122-123 | Casa de la calidad, 106, 110, 112, 113 |
| Actividades de diseño, 11-19 | Cepillo de dientes eléctrico, ejemplo de un, 96-97 |
| Algorítmico, procedimiento, 34 | Cierre de contenedores, ejemplo de, 49-50 |
| Análisis, 14, 16, 30, 34, 35 | Computadora portátil, ejemplo de una, 99-100 |
| Análisis de funciones, 55, 76-86, 179, 180, 184 | Computadoras, 42, 118 |
| Análisis del valor, 166, 170 | Comunicación de diseños, 12-14, 29 |
| Analogías, 50-51, <i>vea también</i> Estrategias, analogías de | Configuraciones para un vehículo, ejemplo de, 119 |
| Analogías de estrategias, 178-179 | Convergente, enfoque, 76-177 |
| Árbol de decisiones, 24-26 | Costo-beneficio, análisis de, 158 |
| Árbol de objetivos, 55, 60-73, 112, 179, 180, 181, 184 | Costos, 87, 158-160 |
| Atributos, 89, 101-113, 161 | Creatividad, 26, 47, 115 |
| Automóvil urbano, ejemplo de un, 97-99, 145-147 | Criterios, 15, 16, 20, 22, 31, 131 |
| | Curva de utilidad, 139 |
| Bicicleta, ejemplo de una salpicadera para, 108-110, 147-151 | Definición del problema, 75 |
| Bomba, ejemplo de una, 71-73 | Demandas y deseos, 90, 92 |
| | Despliegue de la función de calidad, 55, 102-114, 179, 183 |
| | Diagrama morfológico, 55, 116-129, 180, 181, 183, 184 |
| Caja negra, modelo de, 76 | Dibujos, 12, 14, 16, 18, 27 |
| Caja transparente, modelo de, 77 | Difusor para cielo raso, ejemplo de un, 162-163 |
| Calentador tubular, ejemplo de un, 167 | Diseño conceptual, 31, 32, 36, 177 |

- Diseño de detalles, 32, 36, 177
 Diseño de la forma, 32, 33, 36
 Dispositivo de prueba, 67, 142-145
 Divergente, enfoque, 176-177
- Enfoque ascendente, 24
 Enfoque descendente, 24
 Entrada al azar o aleatoria, 52, 181
 Escalas de medición, 132, 134-135
 Espacio de búsqueda, 52-53
 Espacio de soluciones, 18
 Especificación, 38, *vea también*
 Especificación del rendimiento
 Especificación del rendimiento, 55, 87-100, 107, 179, 180, 181, 183
 Estilos de estrategias, 176-178
 Estilos de pensamiento, 176-178
 Estrategia de diseño, 175-179
 Estrategias con enfoque en el problema, 27, 39
 Estrategias con enfoque en la solución, 27, 29, 39
 Estrategias para la solución de problemas, 24-26
 Estrategias
 de diseño, 175-184
 con enfoque en el problema, 27, 39
 para la solución de problemas, 24-26
 con enfoque en la solución, 27, 29, 39
 Estructura del problema, 23-24
 Evaluación de diseños, 14-16, 29, 34
 Exploración de diseños, 18-19, 29
 Explosión combinatoria, 116, 117
- Exteriorización, 46, 54
- Formalización, 46-54
- Generación de diseños, 16-18, 29
- Habilidad de diseño, 26-28
- Ingeniería del valor, 56, 155-173, 180, 183
 Intuición, 26, 47
 Investigación de mercados, 104, 112
 Iteración, 16
- Junta giratoria, ejemplo de una, 145
- Límites del sistema, 76, 78, 79
 Linterna, ejemplo de una, 170-173
 Lista de verificación, 54-55
 Llave de agua, ejemplo de una, 92
 Llave mezcladora, ejemplo de una, 92
 Lluvia de ideas, 45, 46, 47-50, 180, 181, 183, 184
- Manufactura, 12, 42, 155, 159
 Máquina cosechadora de papas, ejemplo de una, 119
 Máquina lavadora, ejemplo de una, 85-86
 Máquina para mantenimiento de campos deportivos, ejemplo de una, 126

- Medidor de combustible, ejemplo de un, 85, 92-95
 Metas, 20, 22, 31
 Método ¿Por qué...? ¿Por qué...? ¿Por qué...?, 52, 184
 Metodología de diseño, 34
 Métodos creativos, 47-54
 Métodos racionales, 54-57
 Modelos descriptivos, 29-32
 Modelos prescriptivos, 34-41
 Montacargas, ejemplos de, 51-52, 126-129
- Necesidades del usuario, 60, 96
vea también Requerimientos del cliente
- Objetivos de diseño, 59-64, 89, 181, *vea también* Árbol de objetivos
 Objetivos ponderados, 56, 132-153, 181, 183
- Pensamiento de diseño, 27-28, 176-178
 Pensamiento diseñador, 27
 Pistón, ejemplo de un, 26
 Planeación contraria, 53, 180
 Planteamiento del diseño, 19, 20, 60, 89
 Posicionador para soldadura, ejemplo de un, 119-122
 Problemas bien definidos, 21
 Problemas de diseño, 18, 20-26
 Problemas mal definidos, 21-22, 28, 59
 Procedimiento heurístico, 29
 Procedimiento sistemático, 36, 41-42, 43, 54
 Proceso creativo, 35, 36, 53-54, 180-181
- Proceso de diseño, 11, 29-42, 46, 55, 178, 179, 180
 Puerta de automóvil, ejemplo de una, 70, 112-114
- Razonamiento, 39
 Requerimientos del cliente, 101-112
 Requerimientos del cliente, *vea*
 Objetivos de diseño
 Restricciones, 20, 22, 31
- Sinéctica, 50-52, 180, 183
 Síntesis, 34, 35, 39, 53
 Sistema de empaque de cuadros de alfombra, ejemplo de, 81-82
 Sistema de entrega de alimentos, ejemplo de un, 79-81
 Sistema de ignición, ejemplo de un, 163
 Sistemas de transporte, ejemplos de, 64-67
- Táctica de diseño, 180-181, 182-184
 Taladro inalámbrico, ejemplo de un, 110-111
 Tetera, ejemplo de una, 67-70, 82-83
 Trabajo en equipo, 42, 44, 47, 53, 54, 59, 104, 131, 177, 181
 Transformación, 52
- Unidad de transmisión, ejemplo de una, 151-153
- Valor, valores, 155, 157-158, 160-161
 Valor agregado, 155, 160

Valores de utilidad, 139

Válvula de aire, ejemplo de
una, 163

Vehículo automotor, ejemplo
de un, 140-142

Visualización, 18

Voz del cliente, 101, 102, 108

