

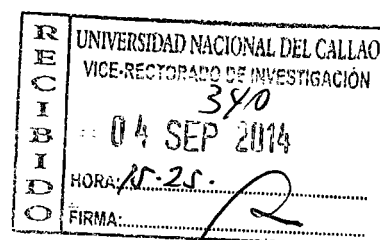
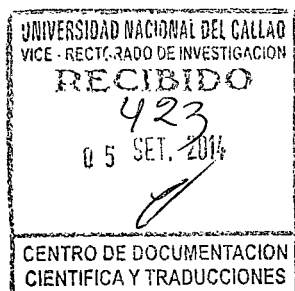
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA –ENERGÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD



SEP 2014



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“ANÁLISIS DE LA TOMA DE DECISIONES EN EL
DISEÑO DE INGENIERÍA”**

AUTOR: Mg. Ing. Rubén Francisco Pérez Bolívar

(Marzo de 1992 – agosto de 1993)

Resolución Rectoral N° 084-1992-R

CALLAO, 2014

ÍNDICE

1. Resumen	3
2. Introducción.....	4
3. Marco Teórico	5
3.1 El Contexto del Diseño en la Ingeniería.....	5
3.2 Distintos Enfoques de la Teoría del Diseño.....	75
3.3 Análisis del Producto vs Decisiones sobre el Diseño.....	138
4. Materiales y Métodos.....	150
5. Resultados.....	150
6. Discusión.....	151
7. Referencia.....	153
8. Apéndice.....	156
8.1 Factores del Entorno del Diseño.....	156
8.2 Diseño para la X-bilidad.....	157
9. Anexos	
9.1 Estrategias de Ecodiseño.....	158
9.2 Evaluación del Impacto de Diferentes Técnica de Ingeniería de Diseño en la Competitividad de Distintos Sectores Industriales.....	159

1. RESUMEN

En este trabajo de investigación se exponen diferentes enfoques sobre el análisis de la toma de decisiones en el Diseño de Ingeniería.

En primer lugar se aborda el aspecto del diseño desde la concepción de su aplicación en el campo de la ingeniería considerando los pasos, la definición del problema, determinación de las especificaciones, estudio de factibilidad, búsqueda de información, desarrollo de conceptos alternativos, selección del diseño más promisorio, modelos matemáticos o físicos, determinación de la relación entre la dimensión y los materiales del producto, optimización del diseño, comunicación de las decisiones de diseño la personal de producción, análisis de falla y retroalimentación del proceso de diseño, la interdisciplinidad, complejidad, ingeniería concurrente.

En segundo lugar se presenta los conceptos de diseño, las metodologías de diseño, los métodos, modelos de diseño, historia de los métodos de diseño, herramientas de diseño, diseño colaborativo, QFD, análisis funcional y del valor, análisis modal de fallos y efectos, AMFE, diseño por factores centros o grupos de investigación, grupos de ingeniería del diseño, equipo generador de ideas y otros.

En tercer lugar se trata sobre el análisis de la toma de decisiones en el diseño de ingeniería.

Finalmente se da los resultados, discusión, referenciales.

2. INTRODUCCIÓN

Un gran número de países han firmado tratado de libre comercio (TLC con el Perú), principalmente para adquirir nuestra materia prima a menor precio del que ya lo compraban sin TLC. Estos países industrializados lo transforman y nos lo devuelven como productos terminados a precios muchos mayores del que pagaron por nuestra materia prima.

Nuestro país tiene que cambiar de actitud y aprender a dar valor agregado a nuestros recursos naturales, con tecnología propia y diseños que den competitividad a nuestros productos. Es por este motivo que en el presente trabajo se aborda los diferentes conceptos relacionados con el diseño a fin de aplicarlos apropiadamente en nuestras industrias y contribuir con el desarrollo nacional.

El compromiso para la transformación de nuestro país principalmente involucra a la nueva generación de ingenieros y es obligación de la Universidad a través de sus docentes señalar el camino a nuestros jóvenes estudiantes para ser un Perú competitivo.

3. MARCO TEORICO

3.1 El Diseño en el Campo de la Ingeniería

3.1.1 El Contexto del Diseño en la Ingeniería

A diferencia del enfoque científico, el ingeniero soluciona problemas para beneficio de la humanidad, actuando bajo determinadas restricciones. Por ejemplo, la eficiencia cuesta dinero; la seguridad aumenta la complejidad; la mejora del rendimiento incrementa el peso. En general la solución ingenieril es una solución óptima, el resultado final, que tiene en cuenta todos los factores es la más deseable. Puede ser la más confiable dentro de un límite de peso permisible, la más simple que satisfaga ciertos requerimientos, o la más eficiente para un costo dado. Además, en muchos problemas de ingeniería el costo social es significativo [1].

Sabemos del avance que significó la incorporación de la ciencia a la ingeniería en el siglo XVIII, lo cual llevó al desarrollo del método ingenieril para resolver los problemas y que, aunque tiene una relación con el método científico, difiere de él. El llamado método científico, en general, parte de la proposición de hipótesis, las cuales se comprueban mediante observación, experimentación y otros procesos, seguida por análisis de resultados y la formulación de teorías o leyes.

Por su lado el método ingenieril se fundamenta en el aprendizaje y el pensamiento creativo y se basa en la detección de necesidades, diseño de productos, implantación del diseño y evaluación de resultados; considerando una definición amplia de los conceptos *diseño* y *producto* que puede incluir.

Este capítulo se centra en la explicación de cómo hace las cosas la ingeniería, es decir en establecer qué es el método ingenieril.

De una manera muy general el método ingenieril es una actividad de toma de decisiones –contra las limitaciones físicas, económicas, sociales y políticas– para desarrollar materiales, productos o procesos que satisfagan una necesidad. Evidentemente el método ingenieril es muy diferente del trabajo científico. La motivación básica tras esta última actividad es la curiosidad intelectual del científico, mientras que el ingeniero trabaja impulsado por la identificación de una necesidad. El científico se desenvuelve en un ambiente en el cual el tiempo y el dinero no son consideraciones primarias, mientras que la actividad del ingeniero está constreñida por muchos factores, incluyendo el tiempo, el dinero y otros recursos.

El científico busca el reconocimiento y validación de sus pares, en tanto que el resultado del método ingenieril está siempre sometido a una aceptación dispersa por una parte relevante de la sociedad.

Hay otras diferencias entre los problemas científicos e ingenieriles, lo más difícil de estos últimos es que son abiertos y mal estructurados. Al contrario de los problemas científicos, hay muchas soluciones posibles, e incluso aceptables, para aquellos.

Aunque ninguna de esas soluciones se puede decir que sea correcta desde el punto de vista científico estricto sólo una de las posibles se constituye en la mejor solución. Más aún, los problemas de ingeniería normalmente no se pueden resolver aplicando rutinariamente las ecuaciones matemáticas de una manera estructurada.

En vez de ello, el método ingenieril es de naturaleza iterativa, o sea que la única manera de lograr un diseño mejorado es mediante la iteración. Este proceso requiere la adquisición de una amplia base de datos, y la solución se construye sobre varias decisiones que deben tomarse en varios niveles (naturaleza acumulativa del diseño) [2].

Más aún, una solución técnica puede que no sea suficiente. Cuestiones como el costo, la seguridad, la estética, las preferencias del mercado, las normas y códigos no pueden ignorarse y pueden llegar a ser factores determinantes. Y, como ya se anotó, las soluciones ingenieriles siempre están sometidas a constricciones físicas, económicas, sociales y políticas.

Desde otro punto de vista, el método ingenieril se define como una estrategia para producir el mejor cambio, con los recursos disponibles, en una situación deficientemente entendida o incierta.

Este enfoque heurístico, propuesto por muchos autores, ha sido ampliamente preconizado por Koen, quien afirma que el método ingenieril consiste en el uso de heurismos para producir el mejor cambio, con los recursos disponibles, en una situación deficientemente entendida.

Es decir, que el método ingenieril es el uso de heurismos de ingeniería [3].

“Un heurismo es cualquier noción que proporcione una ayuda o dirección plausible en la solución del problema, pero que en el análisis final es injustificada, sin posibilidad de justificación, y falible. Es una guía para descubrir y revelar.”

Se indica que no es difícil hallar ejemplos de heurismos, que varían desde la decisión de oído, o a ojo, hasta las nociones más complejas sobre cómo debe resolverse un problema. Koen ha dado varios ejemplos de heurismos ingenieriles que son particularmente relevantes y se pueden usar inclusive para enseñar el método ingenieril:

- Haga pequeños cambios en el estado del arte.
- Fortalezca el eslabón más débil.
- Use la retroalimentación en el diseño.
- Distribuya los recursos mientras el costo de no saber sea mayor que el costo de hallar.

En la definición de Koen, la heurística sugiere cómo debe el ingeniero distribuir los recursos, minimizar los riesgos y diseñar un producto. Más aún, la heurística asume la responsabilidad de que la experiencia ingenieril no se pase por alto cuando se generalizan herramientas para solucionar un problema.

Se dice que la heurística proporciona medios para hacer chequeos cruzados y puede servir para evaluar resultados obtenidos con aproximaciones más complejas, como las que se logran con el uso del computador.

Así pues el método ingenieril pretende construir un modelo con leyes parciales aplicables a la situación específica que se enfrenta.

3.1.2 Los Pasos del Método Ingenieril

Para recordar los pasos del método simplificado de la ingeniería se recomienda tener presentes las siglas DAMES (DAMAS en Inglés) que significan:

D = Definir el problema

A = Analizar

M = Meditar

E = Evaluar alternativas

S = Señalar la solución

Desglosando este método de una manera más amplia, un ingeniero usa el siguiente esquema de trabajo:

- a. Parte de una necesidad e identifica el problema
- b. Determina especificaciones
- c. Hace un estudio de factibilidad
- d. Realiza una búsqueda de información
- e. Desarrolla conceptos alternos de diseño
- f. Selecciona el diseño más promisorio
- g. Implementa un modelo matemático o físico
- h. Determina la relación entre las dimensiones y los materiales del producto
- i. Optimiza el diseño
- j. Evalúa el diseño optimizado, mediante análisis minuciosos del modelo matemático o por ensayo de los modelos físicos

- k. Comunica las decisiones de diseño al personal de producción
- l. Controla la producción
- m. Interviene en las ventas y el servicio
- n. Analiza las fallas y retroalimenta el diseño y la fabricación

Hagamos una breve revisión de lo que cada uno de estos conceptos significan [4].

3.1.3 Partir de una Necesidad. Definir ampliamente el Problema

Esto implica decidir entre múltiples soluciones posibles la que consideramos más apropiada, después de realizar una amplia definición de lo que intentamos solucionar, esto incluye el recabar el mayor número de datos posibles. Es común el error de no poner suficiente atención a la recopilación de datos, lo que lleva a adoptar soluciones incorrectas.

Para apreciar mejor la solución ingenieril hay que entender primero lo que es el problema, pues sin clarificar esta noción es imposible intentar su resolución. De acuerdo con Krick "un problema proviene del deseo de lograr la transformación de un estado de cosas en otro. Tales estados podrían ser dos lugares cuya distancia que los separa habría que recorrer. El problema puede ser el ir de una ribera de un río a la opuesta, de una ciudad a otra, de un planeta a otro.

Otros problemas comprenden la transformación de una forma o condición en otra, por ejemplo, la de un pan común en tostado. En todo problema hay un estado inicial de cosas; llamémoslo «estado A». Asimismo, hay otro estado que quien trata de resolver el problema busca cómo alcanzar; designémoslo «estado B» [5]. Obsérvese que lo anterior ocurre en el caso de problemas personales, de comunicación, de negocios y, de hecho, en todos los problemas. Además, un problema involucra algo más que hallar una solución; requiere una forma preferible de lograr la transformación deseada; por ejemplo, el medio de transporte que sea el mejor con respecto al costo, rapidez, seguridad, comodidad y confiabilidad. Una norma de preferencia para seleccionar de entre varias soluciones se llama criterio.

Un problema es la expresión del deseo de pasar de una situación a otra. La solución es el medio para lograr ese paso.

3.1.4 Determinar las Especificaciones

Esto significa, ampliar más los detalles, o sea, hacer consideraciones como las siguientes:

- ◆ ¿Cuáles son las necesidades de los usuarios?
- ◆ ¿Qué debería ser la solución?

- ◆ ¿Cuáles son los límites del problema (denominados también imposiciones y restricciones)?
- ◆ ¿Cuáles son las características de la población que usará el producto?

Como se ve, una parte importante en la definición del problema es determinar las especificaciones que debe cumplir el producto final, sea este un aparato, una construcción, un proceso o un sistema. Es decir, hay que identificar, hasta donde sea posible, las restricciones. Esto porque es difícil imaginar un problema en que no haya restricciones a las soluciones. Una restricción es una construcción que debe cumplir una solución. Ejemplos: el carro que quiere no puede costar más cierta cantidad; ciertas características de las estructuras de edificios están especificadas por los reglamentos de construcción; luz, agua y nutrientes deben proporcionarse a una semilla para que se transforme en planta.

Así, todo análisis de un problema en ingeniería consiste en poder identificar dos estados A y B y la transformación que lleva del estado A al B.

La solución generalmente es un diseño de esta transformación (T) dados algunos recursos disponibles.

Un problema puede ser cruzar un río, donde el estado A es estar en una orilla y el B es estar en la otra y la Transformación T es el cruzar el río. Actualmente el cruce se hace mediante un vado el cual cambia todos los años y eso produce que muchos vehículos se hundan, se echen a perder, etc.

Entonces la solución al problema es un diseño de esta transformación (el cruce del río) según las características propias que tiene el problema (morfología del río y las orillas, flujo vehicular, recursos y tecnología disponible, ingenio, etc.) y para ello es necesario definir estas características lo más precisamente posible. Además, se debe considerar cuáles de estas características corresponden a los criterios y cuáles a las restricciones, en ese sentido un criterio podría ser el que se privilegiarán las alternativas de solución que tengan el menor valor y una restricción puede ser que se tiene un presupuesto de \$XXX para la solución, por ejemplo.

Una solución es un medio de lograr la transformación deseada. Un problema para el que haya sólo una solución posible es ciertamente raro; en la mayor parte de los problemas hay muchas soluciones posibles, muchas más de las que haya tiempo de investigar. Piénsese en los numerosos modos de viajar y en todas las posibles rutas con las que pueden combinarse para obtener medios alternativos para ir de un punto a otro de la Tierra.

Un tipo especial de restricciones son las especificaciones fijadas por las normas y códigos, por el mercado, por las características de los materiales o por la decisión de los clientes.

3.1.5 Hacer un Estudio de Factibilidad

De acuerdo con la magnitud el problema y las soluciones que el ingeniero esté tratando, puede ser aconsejable hacer un estudio de factibilidad.

Un estudio de factibilidad es el proceso de definir exactamente qué es el proyecto y qué temas estratégicos deben considerarse para determinar su factibilidad, o posibilidad de éxito. Es un análisis preliminar de los requerimientos.

Es la diligencia que todo ingeniero o empresa debe hacer antes de empezar cualquier proyecto, pues el estudio debe ser capaz de indicar si se continúa o no, o se cambian los requerimientos a unos más reales. En cierto sentido un estudio de factibilidad es un corto análisis formal del problema y su objetivo es dar al ingeniero una clara evaluación de las posibilidades técnicas, económicas, sociales y políticas de la solución. Puede incluir estudios de documentos, búsquedas de información y simulaciones.

Inicialmente el estudio debe responder a preguntas como:

- ¿Es factible técnicamente? (funcionará?)
- ¿Cómo funcionará?
- ¿Se podría hacer con los recursos existentes?
- ¿Qué impacto tendrá sobre quien presenta la solución y sobre quien la recibe?
- ¿Cuál será la inversión y qué tan largo se tomará el retorno de la inversión?

Hay varios niveles de estudios de factibilidad, de acuerdo con el alcance y la magnitud del problema, los cuales determinan el tiempo y el dinero invertidos en este paso.

En algunos casos el estudio de factibilidad se convierte en un proyecto en sí, y puede incluir estudios de mercado y de impacto e información más detallada como:

Clarificación del problema

- ✓ ¿Cuál es el paso fundamental que se mejorará?
- ✓ ¿Quiénes serán los usuarios y su papel?
- ✓ ¿Cuáles son los requerimientos más importantes de la solución?
- ✓ ¿Cuáles partes del problema serán las más riesgosas para manejar?
- ✓ ¿Qué modificaciones futuras se pueden esperar racionalmente?
- ✓ ¿Qué soluciones existen en el mercado o quién podría suministrar otras?

En los casos complejos hay personas y organizaciones especializadas en realizar completos estudios de factibilidad que pueden costar muchos millones de pesos [6].

3.1.6 Realizar una Búsqueda de Información

En el estudio de factibilidad se realizan búsquedas de información, de todas maneras aunque no se haga éste, es necesario buscar toda la información posible sobre el problema y sus posibles soluciones.

Ya la definición del problema y la determinación de las especificaciones exigen la búsqueda de información y, a su vez, deben establecer los principales interrogantes.

Estos pueden ser respondidos con los conocimientos y experiencias del mismo ingeniero o de los miembros del equipo, pues muchas veces es posible que se hayan solucionado problemas similares o existan soluciones disponibles en el mercado en condiciones económicas favorables y bastaría con adoptarlas.

En otros casos hay que buscar la información, esto lo puede hacer el ingeniero directamente o acudir a los profesionales de ella. En ambos casos se requiere tener muy bien identificada la necesaria y de acuerdo con ello las posibles fuentes.

Una vez realizada la búsqueda y hallada hay que seleccionar la que realmente sea pertinente al problema entre manos y se debe archivar racionalmente para poderla utilizar en cualquier momento [7, 8].

Las principales fuentes de información son:

- ▶ Los conocedores
- ▶ Diccionarios y enciclopedias
- ▶ Manuales y recetarios
- ▶ Información técnica de los productores (catálogos y manuales)
- ▶ Libros
- ▶ Revistas
- ▶ Tesis de grado
- ▶ Patentes
- ▶ Internet (buscadores, carteleras electrónicas, listas de interés, etc.)
- ▶ Bases de datos especializadas
- ▶ Las memorias y la asistencia a seminarios, congresos, encuentros y foros.

Los conocedores pueden ser los dueños, los operarios y los usuarios, una visita de campo, entrevistas, fotografías, esquemas y descripciones del estado inicial de cosas pueden dar la información suficiente para definir el problema exactamente.

Otras veces los conocedores son los especialistas en la materia y, si están accesibles, una o varias entrevistas, con cuestionarios atinados, puede ser suficiente. Los diccionarios y enciclopedias proporcionan información confiable pero limitada.

Las tres limitaciones principales son: por lo común es muy resumida, es muy general –a menos que sean enciclopedias especializadas– y no está actualizada. Esto debe tenerse en cuenta y saber que estas fuentes sólo sirven como introducción para lograr una idea muy general del asunto.

Los manuales y recetarios cumplen las mismas funciones que los anteriores y tienen las mismas limitaciones, aunque por su naturaleza pueden suministrar una información más específica que permite enrutar mejor la búsqueda.

No debe menospreciarse la información técnica que proporcionan los productores de bienes y servicios, si se examina con cuidado es posible encontrar en ella buenos datos.

La información que proporcionan los libros es mucho más amplia y detallada, por ello han sido la fuente tradicional, sin embargo no es actualizada porque el proceso de escritura y traducción de un libro se toma varios años, lapso que puede ser significativo dada la velocidad con que cambia la tecnología.

Las revistas y demás publicaciones periódicas son fundamentales, el conocimiento está bastante actualizado, son muy específicas y el artículo mismo, las referencias y direcciones de investigadores son fuentes valiosísimas para adquirir información.

Muchas revistas están en línea o son electrónicas y se pueden consultar con mayor facilidad. Las tesis de grado doctorales, y en menor grado las de maestría, son medios para conseguir información. Hay entidades dedicadas a ubicar estos trabajos y no deben pasarse por alto cuando se hace una búsqueda en profundidad.

La información que proporcionan las patentes es de alto valor, es posible que toda ella no pueda utilizarse por cuestiones de derechos, pero en ellas se encuentran indicaciones y datos que facilitan la definición de los problemas y sus soluciones. Actualmente la primera fuente de información es la World Wide Web, *WWW*. En ella se puede buscar si se conoce la dirección electrónica o mediante los motores de búsqueda (Alltheweb, Google, Excite, Yahoo, Altavista, Lycos, Savvysearch, Infoseek, Hotbot, etc.) .

En los cuales con una palabra o una frase se accede a miles de páginas relacionadas con el tema. Acá la cuestión es seleccionar la información pertinente entre la avalancha de datos que se obtienen, eso requiere entrenamiento y criterio.

Las bases de datos especializados, sea en CD o en línea, son una fuente altamente eficaz para lograr información de excelente calidad las buenas bibliotecas las poseen y deben ser consultadas, pues son actualizadas y específicas.

Por último, la asistencia a eventos donde se trate el tema en cuestión es valiosa porque no solamente se tiene acceso a trabajos actualizados sino que se conoce a especialistas y organizaciones relacionadas con el campo de trabajo.

Además del tipo de búsquedas que hemos mencionado a veces será necesario hacer ensayos y simulaciones para obtener información de primera mano. Estos son ya trabajos ingenieriles que deben estructurarse como tales [9].

3.1.7 Desarrollar Conceptos Alternativos de Diseño

Es difícil encontrar una definición que cubra todas las características de lo que es el diseño, en sentido amplio, y que sea adecuada para todas las profesiones.

Un ingeniero químico, un ingeniero mecánico, un ingeniero electrónico, un arquitecto o un diseñador gráfico tienen diferentes conceptos del diseño en su propio campo de interés.

Aunque las definiciones verbales son diferentes, es posible encontrar conceptos y propiedades comunes en ellas, a continuación se dan algunas definiciones interesantes con sus palabras clave entre paréntesis.

Hallar las componentes físicas correctas de una estructura física (hallar, física).

- Una actividad cuyo objetivo es solucionar un problema (objetivo, actividad de solución).
- Toma de decisiones frente a la incertidumbre con grandes penas para el error (decisiones, incertidumbre, penas).
- Simular lo que queremos hacer antes de hacerlo, tantas veces como sea necesario para tener confianza en el resultado final (simular, confianza).
- El factor condicionante para aquellas partes del producto que estarán en contacto con la gente (contacto con la gente).
- Relacionar el producto con la situación para dar una satisfacción (producto, satisfacción).

- Llevar a cabo un acto de fe muy complicado (acto de fe).
- La solución óptima a la suma de necesidades verdaderas de un particular conjunto de circunstancias (necesidades verdaderas).
- El salto imaginativo de los hechos presentes a las posibilidades futuras (salto imaginativo, hechos presentes, posibilidad futura).
- Un actividad creativa que trae a la existencia algo nuevo y útil que no existía previamente (actividad creativa, útil que no existía).
- La creación de un resultado final que satisface una necesidad humana mediante una acción definida (creación, resultado que satisface necesidad humana, acción) [10, 11, 12, 13].

Cada una de esas definiciones es literalmente cierta, y se puede aplicar a algún caso de diseño, pero éste se entendería mejor si se consideran todas en un caso particular.

Entre las muchas características del diseño, *la satisfacción de una necesidad* es el primer ítem que debe considerarse en una definición conceptual.

La *necesidad* es normalmente una expectativa humana, sin embargo la naturaleza y la sociedad son diferentes después de que se completa el diseño. Se mantiene un balance crítico entre la naturaleza, la sociedad y la tecnología, pero en general gana la tecnología.

La figura 3.1 ilustra el proceso de diseño y el papel de la sociedad y la naturaleza.

Un diseño no es exitoso o completo si no satisface una necesidad. En realidad un diseño perfecto nunca se logra dentro de los límites prácticos de tiempo. El diseñador debe encontrar una manera de satisfacer la necesidad usando la información disponible, dentro del tiempo permitido.

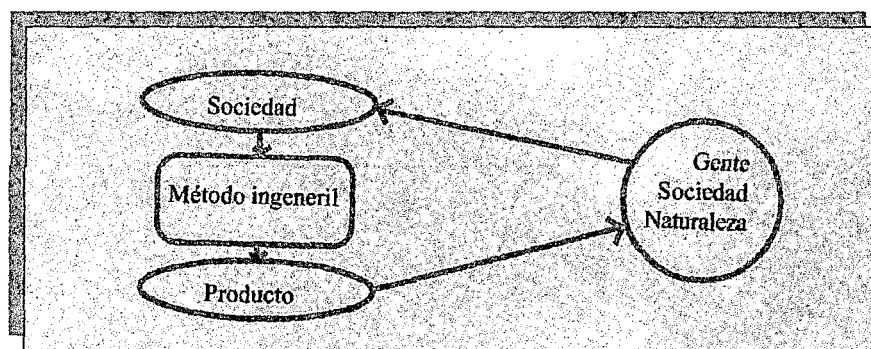


Figura 3.1 EL PROCESO DE DISEÑO

Fuente: (Erden Abdulkadir, Engineering Design, Lecture Notes, METU Publications, Ankara, 1998) p. 107

La actividad del diseño es planear y realizar una estrategia creativa para llevar a cabo una tarea física, mental, moral o artística o satisfacer una necesidad. El propósito del diseño es:

- ❖ Satisfacer una especificación funcional dada.
- ❖ Conformarse a las limitaciones del objetivo.
- ❖ Responder a los requerimientos implícitos o explícitos en la realización (tiempo, espacio, energía, costo, etc.) y estructura (estilo, simplicidad, etc.).
- ❖ Satisfacer las restricciones del proceso mismo de diseño.

Las actividades de diseño incluyen la creatividad, la toma de decisiones y el

1. **Diseño original**, que comprende la elaboración de un principio original de solución para un sistema con una tarea igual, similar o nueva.
2. **Diseño adaptativo**, que adapta un principio de solución conocido a una tarea cambiante.
3. **Diseño variante**, que varía el tamaño y la organización de ciertos aspectos del sistema escogido, mientras que la función y la solución del sistema permanecen sin cambiar.

En particular el diseño en ingeniería es la sinergia de las actividades de la ingeniería y del diseño enfocadas en un producto particular. Es interesante comparar las características contradictorias entre las actividades de la ingeniería y las actividades del diseño, como se ve en la tabla 3.1, estas se mezclan de tal modo en el concepto de diseño ingenieril que éste solo es el motor de la profesión.

Tabla 3-1 Las Actividades de la Ingeniería y del Diseño se mezclan perfectamente en el Diseño Ingenieril

Fuente: (Autor desconocido)

<i>Diseño</i>	<i>Ingeniería</i>	<i>Diseño ingenieril</i>
Actividad mental	Actividad que demanda tiempo	Actividad iniciada mentalmente que consume tiempo
Conceptual	Físico	Productos físicos desarrollados conceptualmente
Cercano al arte	Cercano a la ciencia	Trabajo creativo basado en principios científicos
Intuitivo	Metodológico	Metodología empezada intuitivamente
Crece problemas	Resuelve problemas	Las cadenas Solución –problema y Problema –solución son irrompibles

A continuación se presentan algunas definiciones de diseño ingenieril.

- Una actividad iterativa de toma de decisiones para producir planes por medio de los cuales se convierten las fuentes, ojalá óptimamente, en sistemas o aparatos para responder a las necesidades humanas.

- El proceso que usa las herramientas de la ingeniería –matemática, gráficos, lenguaje– y principios científicos para desarrollar un plan, que realizado plenamente satisfará una necesidad humana.

- El uso de principios científicos, información técnica e imaginación en la definición de una estructura mecánica, máquina o sistema para llevar a cabo funciones pre-especificadas, con la máxima economía y eficiencia.

- Una actividad con propósito dirigida al objetivo de suplir las necesidades humanas, particularmente aquellas que pueden responderse con los factores tecnológicos de nuestra cultura.
 - El completo proceso intelectual desde la concepción de la idea basada en la inspiración, el conocimiento y la experiencia hasta su final realización técnica y comercial.
 - La solución de problemas basada en la ciencia con sensibilidad social... una actividad de alto nivel intelectual.
 - La parte creativa de la ingeniería.
 - La actividad donde varios principios técnicos y científicos se emplean para tomar decisiones respecto a la selección de materiales y su ubicación para formar un sistema o aparato, que satisfaga un conjunto de requerimientos especificados o implícitos.
- 30
- El propósito esencial de la ingeniería.

- Un proceso iterativo de toma de decisiones para desarrollar sistemas o aparatos ingenieriles mediante el cual los recursos se convierten óptimamente en los fines deseados.

En resumen, el diseño ingenieril es la actividad de diseño bajo las constricciones de la ingeniería. Dentro del método ingenieril el proceso de diseño abarca las actividades y eventos que transcurren entre el reconocimiento de un problema y la especificación de una solución del mismo que sea funcional, económica y satisfactoria de algún modo. El diseño es el proceso general mediante el cual el ingeniero aplica sus conocimientos, aptitudes y puntos de vista a la creación de dispositivos, estructuras y procesos. Por tanto, es la actividad primordial de la práctica de la ingeniería.

Cualquier cosa que sea lo que diseñe un ingeniero lo realizará mediante el mismo proceso básico del diseño ingenieril cuyo foco central es el diseño, un arte que requiere del ejercicio del ingenio, la imaginación, el conocimiento, habilidades particulares, disciplina y criterio basado en la experiencia [15].

Seguidamente señalaremos algunas metodologías para obtener alternativas de diseño. *Distribución de Pareto*, el tiempo en ingeniería es un recurso valioso; no hay que desperdiciarlo en problemas carentes de importancia. El empleo de la distribución de Pareto nos puede resultar muy útil en la detección de problemas que realmente valen la pena ponerles atención.

El trabajar en varios diseños en paralelo en lugar de uno a la vez, nos permite un mejor aprovechamiento del tiempo y quizás una mejoría importante en la calidad de la idea.

La inspiración, o investigación no estructurada es ciertamente una manera de plantear alternativas de diseño. Cuando se trata de resolver un problema, la mayoría de las veces nuestro panorama es estrecho.

Es decir, frecuentemente rechazamos posibles soluciones por sólo suposiciones, que de considerarlas cuidadosamente resultan fácilmente solucionables.

Lo que se considera conveniente es proponer muchas soluciones posibles. Posteriormente se realizará un proceso de reducción para determinar las más viables. La inspiración está directamente relacionada con la creatividad. Aunque ésta no es única de la especie humana, es en nosotros donde se manifiesta con mayor fuerza.

Los seres humanos usamos la creatividad cada vez que requerimos resolver un problema o enfrentarnos a situaciones nuevas. La creatividad está ligada al ingeniero aunque en muchas ocasiones el término creatividad se asocia a los términos patente o invención. En realidad, muy pocos son los casos en los que se espera que el ingeniero aporte regularmente nuevas ideas, algunas de ellas incluso patentables. Sin embargo, para la mayor parte de los ingenieros el trabajo no es necesariamente éste, sino el resolver problemas concretos que aparecen en distintas situaciones.

Pero, incluso en estos casos, todo problema requiere que alguien con una idea aporte una solución, por lo que el proceso de generar la idea también es creativo. Toda persona es creativa en cierto grado.

Normalmente la creatividad se asocia a la inteligencia, aunque se asocia también a otro término algo difuso como es la inspiración.

Sin embargo, se suele decir que la inspiración les llega a aquellos que trabajan duro y que están bien preparados. Ya lo dijo Edison: «El genio se compone de 1% de inspiración y 99% de transpiración». Además de enfatizar la importancia de la constancia en el trabajo, se pueden distinguir una serie de pasos en el proceso creativo:

- ▶ Preparación y adquisición de conocimiento previo.
- ▶ Concentración.
- ▶ Incubación de la idea.
- ▶ Generación de la idea (inspiración).
- ▶ Verificación de su validez.

De manera ilustrativa diremos que «La creatividad es como una orquídea que será marchitada por la crítica», esto para resaltar la necesidad de evitar la crítica destructiva que es distinta a la evaluación [16].

Algunos sostienen que la participación inhibe el pensamiento creador. Es recomendable reunir los esfuerzos individuales de las personas manteniéndolas físicamente separadas, en vez de congregadas. Otros recomiendan las lluvias de ideas. En la lluvia de ideas, la regla de oro es no descartar ni evaluar ninguna de las opciones.

Todas las opciones deben ser consideradas siempre y cuando sean remotamente posibles. Una vez determinadas todas las opciones, la evaluación se basa en las metas, en las restricciones y en el criterio de evaluación escogido (tiempo de implantación, costo, etc.).

En resumen, en la ingeniería hay una enorme necesidad de pensadores más originales (y en todos los campos también). *Listas de verificación*, son una forma de investigación estructurada, pues muchos ingenieros piensan que tener un enfoque sistemático y no esperar que llegue la inspiración, es una mejor técnica de investigación.

Esta metodología de trabajo consiste en acudir a la experiencia, el conocimiento y la información, pues como lo dijo Kipling: "Cuento con seis servidores honestos que me enseñan todo lo que sé sus nombres son quién, qué, cuándo, por qué, dónde y cómo.» La lista de verificación permite examinar varias áreas o puntos y concebir posibilidades, por ejemplo, para mejorar un mecanismo, se puede hacer la siguiente lista:

- Cómo puede usarse para otros fines.
- Cómo puede modificarse.
- Cómo puede reordenarse.
- Cómo cambiarse de tamaño.
- Cómo puede cambiarse de forma.
- Cómo puede hacerse más rápido.

□ Cómo puede hacerse más liviano.

Y así sucesivamente. Dentro de esta modalidad tenemos la llamada lista de verificación SEARCH, cuyo significado es:

S = Simplificar las operaciones individuales

E = Eliminar el trabajo y los materiales innecesarios

A = Alterar la secuencia

R = Requerimientos

C = Combinar las operaciones, los elementos y el equipo

H = Hallar la frecuencia

Nada hay contra esta metodología, pero existe el peligro de que las soluciones tiendan a ser poco imaginativas si se confía demasiado en el conjunto de soluciones «en existencia» o rutinarias que se han acumulado en el curso de los años. El recurrir a esta fuente es tentador, pues es un camino de mínima resistencia y proporciona soluciones en las que puede tenerse una confianza razonable.

En general, cuanto más se sepa acerca de una rama especializada del conocimiento, será mayor el número de soluciones rutinarias con que se estará familiarizado y tanto más fácil será confiar excesivamente en la fuente de soluciones de rutina. Hay demasiadas soluciones que son el producto de manuales o de prácticas tradicionales que no tienen más virtud que su longevidad. Muy pocas soluciones provienen de un pensamiento verdaderamente original. La inercia hace que se perpetúe una multitud de soluciones deficientes en el mundo que nos rodea, dejando grandes oportunidades para el solucionador de problemas que confía intensamente en su propia inventiva [17].

3.1.8 Seleccionar el diseño más promisorio

Así pues, se diseñan diversas alternativas, pues como se ha insistido, una de las distinciones principales entre ciencia e ingeniería es que en la primera sólo existe una solución, mientras que en la ingeniería hay varias soluciones posibles.

En la fase de selección del diseño más promisorio ya se han ampliado el número y la variedad de las soluciones posibles, es decir, de los diseños alternativos.

Lo que se necesita ahora es un procedimiento de eliminación que reduzca estas alternativas a la solución preferible. Mientras que el científico tiende a buscar la fórmula única que describa un criterio único de una situación; el ingeniero debe acomodar criterios múltiples, por lo general sin valores de intercambio satisfactorios.

Inicialmente, las soluciones elegibles se expresan sólo en términos generales, quizá con palabras o croquis. Después que hayan sido eliminadas las alternativas obviamente deficientes o de inferior calidad, con frecuencia por procedimientos de evaluación relativamente rápidos y burdos, se añaden más detalles a las posibilidades restantes, las que se evaluarán mediante métodos más refinados. Este proceso de depuración en varias etapas continuará hasta que surja la solución preferible. A medida que se avanza se evalúan diferentes combinaciones de soluciones parciales para determinar la óptima.

Es evidente que se requiere aplicar criterios claros, de ser posibles cuantitativos, para evaluar las diversas propuestas de solución.

Los criterios que se utilizan para seleccionar el mejor diseño deben identificarse durante el análisis del problema. Realmente, los criterios cambian muy poco de problema a problema; el costo de construcción o fabricación, la seguridad personal, la confiabilidad, la facilidad de mantenimiento o conservación y otros semejantes se aplican casi en todos los casos. Pero lo que sí cambia significativamente es la importancia relativa de cada uno de estos criterios. De ahí que en la mayor parte de los problemas la tarea primordial del ingeniero con respecto a los criterios es conocer la importancia relativa asignada a varios de ellos por los funcionarios, clientes, ciudadanos y otras personas interesadas. Esta información es importante; el siguiente ejemplo ilustrará por qué.

Supóngase que la seguridad personal ha de ser un criterio de gran peso en el diseño de un nuevo modelo de cortadora de césped rotatoria.

Sabiendo esto, el proyectista o diseñador considerará un número mayor de diferentes materiales, mecanismos, tipos de cortadores, métodos de descarga, etc., que los que consideraría de ordinario en su investigación. Un criterio especialmente importante afectará a los tipos de soluciones que se destacan en la búsqueda de alternativas, y este hecho debe ser conocido antes que comience tal búsqueda.

3.1.9 Implementar un Modelo Matemático o Físico

Una vez que se ha seleccionado el diseño más promisorio y de acuerdo con la magnitud del problema, se debe establecer un modelo matemático, virtual o físico que permita evaluar la solución antes de entrar a fabricarla. La modelación matemática es un método para entender sistemas y procesos, para ello, conocidas las características de la solución promisorio, se crea un modelo matemático, es decir, un conjunto de ecuaciones que describe las características más importantes. En la actualidad estos algoritmos se manipulan, obviamente, en los computadores.

Sin embargo, lo anterior no debe confundirse con otros métodos como el "diseño asistido por computador" (Computer Aided Design, CAD) el cual podría definirse como un método de modelamiento de sistemas físicos en los computadores, que permite un análisis tanto iterativo como automático de las variantes del diseño, y la expresión de éste en una forma adecuada para su implementación real [18].

Esta definición incluye todos los tipos de trabajo que actualmente se conocen como CAD, en todas las varias áreas de aplicación; también implica que la simulación es una parte del CAD mucho más importante que la descripción del diseño. Esto es verdadero y la parte gráfica que proporcionan los computadores nada tiene que ver con el CAD, excepto como auxiliar del diseño, la simulación o la presentación. Los computadores son cada vez más importantes en la ingeniería a medida que pasamos del CAD bidimensional al CAD tridimensional y finalmente a la Realidad Virtual (RV), la cual se usa en los PCs, en las estaciones de trabajo, en las "paredes de trabajo" y CAVEs (Computer Automatic Virtual Environments).

Por ejemplo, la General Motors usa demostraciones completas en un CAVE, donde los ingenieros descubren problemas potenciales antes de tener prototipos físicos. Los diseños propuestos los podremos enviar a todo el mundo para revisión y modificación en diferentes sitios antes de que empiece la producción.

La RV es una vivencia tridimensional generada por el computador en la cual el usuario puede navegar, con la cual puede interactuar y sumergirse en otro ambiente en tiempo real. La RV existe paralela a lo cotidiano y exhibe las siguientes características: es generada por los computadores y los sistemas informáticos; implica la creación de un mundo artificial; los usuarios tienen la impresión de estar en ese mundo artificial; además, es posible moverse y actuar en esos mundos virtuales, ya científico, útil para observar, probar, experimentar y enseñar [19, 20]. En el caso de la ingeniería el proceso creativo depende de imágenes mentales, con la RV éstas pueden compartirse, lo que permite a los ingenieros elevar sus capacidades creativas, posibilitando llevar hasta límites no imaginados la simulación, clave de diseño en ingeniería; sin ella no hubiera sido posible el viaje a la luna,

los transbordadores espaciales o el aeropuerto de Hong Kong. La NASA tiene un túnel de viento virtual que permite flujos de campo irregulares, generados numéricamente, que ha probado ser más versátil que un túnel con modelos físicos.

En ingeniería la RV es una forma de enseñar y aprender para las mentalidades del siglo XXI, se pueden simular todo tipo de situaciones, desde la estructura de un material, el comportamiento mecánico de un elemento, la cinética de un reactor, la respuesta de un circuito, hasta sistemas complejas donde se manejan materiales y energías. A pesar de los costos iniciales, los laboratorios virtuales son más versátiles y económicos a largo plazo, por ello el papel de la RV será cada vez mayor, con la posibilidad de compartir experiencias a distancia [21].

Sin embargo, como afirman muchos viejos ingenieros, la simulación no es suficiente pues la realidad es dura, por eso en el trabajo de ingeniería muchas veces hay necesidad de hacer modelos físicos o prototipos que permitan probar las bondades y detectar los errores del diseño. Los ensayos pueden ser en el laboratorio o en el campo, de acuerdo con la complejidad del modelo.

3.1.10 Determinar la Relación entre las Dimensiones y los Materiales del Producto

Esto significa comprobar que los "materiales", entendidos en sentido amplio como insumos, en sus características y posibilidades sí responderán plenamente a la magnitud del diseño. Esto es muy importante en nuestros países, donde la disponibilidad de medios y materiales es tan restringida. Muchas veces no basta con saber qué materiales, componentes o sistemas son los adecuados de acuerdo con un buen diseño, hay que comprobar que sí estén disponibles en las cantidades, formas, dimensiones y acabados que se requieren. Muy frecuentemente se confía en que, en el mercado globalizado, se puede conseguir todo, pero no es así, las cantidades que despachan a veces son una limitante. También lo es la fabricabilidad en el caso de materiales específicos, es posible que estos puedan obtenerse, pero en el medio no existen los equipos o experticia para adecuarlos al diseño especificado.

Entran en estas consideraciones temas como la tecnología apropiada, la recursividad del ingeniero y su capacidad para plantear soluciones autóctonas.

Esto no solamente en los aspectos meramente físicos, lo mismo puede decirse de la legislación, de las organizaciones y en fin de la idiosincrasia que nos es propia y que en ningún momento puede perderse de vista cuando se quiere instaurar una solución realmente efectiva y acorde con el espacio y el tiempo en que se desempeñará [22].

Así pues la concordancia entre las dimensiones y los materiales no es simplemente un asunto de metrología en la obtención de un producto específico.

3.1.11 Optimizar el Diseño

Las simulaciones con el modelo del diseño más promisorio y las comprobaciones de la concordancia entre las dimensiones y los materiales permiten optimizar el diseño seleccionado. Lo anterior se debe a que tales actividades permiten detectar cuándo se producen equivocaciones, fallas, accidentes, reparaciones y cambios si las decisiones se han basado en predicciones que no son precisas o son erróneas, o a que se necesitan altos factores de seguridad para prevenir tales condiciones adversas.

Siempre hay un grado óptimo para el refinamiento de un modelo. A largo plazo los errores originados por las predicciones hechas con el modelo tendrán un costo apreciable.

Es usual aplicar el concepto de optimización a las soluciones de problemas de ingeniería. El concepto también es aplicable a los métodos que emplea el ingeniero para alcanzar tales soluciones, por ejemplo, los sistemas de medición, los métodos de cálculo, los modelos, y el número y clases de técnicos que utiliza.

Lo anterior puede hacerse con herramientas matemáticas como las desarrolladas en la ingeniería de la optimización, que consiste en la maximización o minimización de funciones de variables reales con o sin constricciones. Para lograr estos se utilizan herramientas tradicionales como los métodos gráficos, programación lineal, programación integral, programación dinámica, métodos de búsqueda y construcción de modelos.

Actualmente se usan métodos más complejos como los algoritmos genéticos o la inteligencia artificial, pues la ingeniería de la optimización se ha convertido en un fértil campo de trabajo e investigación [23, 24, 25, 26].

Aun sin recurrir a herramientas tan sofisticadas como las señaladas, los diseños se pueden optimizar teniendo presente que éstos deben ser tan simples como se pueda.

A menudo una solución de ingeniería, que es especialmente simple en comparación con lo que realiza, se describe como elegante. Puesto que la complejidad es lo contrario de la sencillez, la elegancia es una regla de oro en el método ingenieril. Muchas veces la complejidad de una solución puede estimarse satisfactoriamente contando sus piezas o elementos (resistores, transistores, engranes, levas, etc.), pero la razón anterior que expresa la elegancia es difícil de cuantificar.

Otra actividad que se realiza en este contexto es el análisis de valor, que se aplica a los procedimientos lo mismo que a los productos, y su meta es reducir el costo excesivo en el diseño. El concepto básico es que muchos de los diseños propuestos se pueden mejorar notablemente, ya que el diseño original puede presentar costos excesivo, aunque no existe ninguna limitante para aplicar la técnica de análisis de valor desde la primera vez. Una manera de hacer este análisis es definir y evaluar la función. Hay que hacer una distinción entre valor y función, por ejemplo: dos clips uno para papel y el otro para corbata; los valores son muy diferentes aunque la función es la misma. El valor funcional es el mismo, pero el valor personal (prestigio, estimación) es diferente. Al definir las funciones se deben expresar con un nombre y un verbo y dividir las de cada componente en primarias y secundarias. Esta cuidadosa definición de las funciones permitirá tener en cuenta las consideraciones ergonómicas y ambientales necesarias. Así con todas estas metodologías se puede optimizar el diseño en todos los sentidos y se estará en condiciones de avanzar al siguiente paso del método ingenieril.

3.1.12 Evaluar el Diseño Optimizado

Establecido el diseño (o solución) y sus posibilidades y realizada su optimización, es necesario evaluarlo de nuevo mediante análisis minuciosos del modelo matemático o por ensayo de los modelos físicos.

Para llevar a cabo esto se pueden utilizar las técnicas indicadas en la sección 4.10 o llevar a cabo ensayos. En el primer caso debe resolverse el modelo para las condiciones optimizadas y comparar estos resultados con los deseados. Los ensayos deben llevarse de acuerdo con las normas que regulan el material, el aparato, el procedimiento o el sistema de que se trate. Este es el momento de conocer todas las regulaciones que gobiernan no solamente los ensayos sino también el futuro desempeño de la solución en cuestión. Aunque en el país existen las normas ICONTEC y hay poderosas organizaciones de normas como las ASTM o las DIN, lo normal será buscar conformidad con las normas internacionales ISO [27]. Además de los aspectos puramente técnicos o ambientales que codifican las normas, la evaluación detallada del diseño optimizado incluirá también los de rendimiento, eficiencia, eficacia, relación costo / beneficio y tasa de retorno.

Si en este momento es necesario cambiar el modelo entonces se evalúa de nuevo y se investiga qué pasa si se hace el cambio correspondiente. Si es del caso se seleccionará otro diseño y se repetirán los pasos señalados desde la sección 4.9.

3.1.13 Comunicar las Decisiones de Diseño al Personal de Producción

Esta actividad, que se refiere al desarrollo y producción de elementos físicos o no, debe entenderse en sentido lato de que la solución adoptada debe comunicarse claramente a quienes deben adoptarla, sea el personal de producción o cualquier tipo de usuario.

Debemos ser cuidadosos de expresar nuestras conclusiones de manera que puedan ser comprendidas por la persona común. La mejora que la solución logre estará relacionada con la calidad del diseño multiplicada por la aceptación. Si «ellos» no lo «aceptan», nada sucede. Por la misma razón es importante que seamos capaces de aceptar modificaciones a nuestros diseños en aras de lograr la aceptación. Luchar por «todo o nada», normalmente termina en «nada».

La comunicación sobre la solución usualmente requerirá la preparación de informes, planos, manuales y demás especificaciones. A veces se incluyen además prototipos u otra clase de modelos físicos.

Hay que describir con los detalles suficientes los atributos físicos y las características de funcionamiento de la solución propuesta, de manera que las personas que deben aprobarla, los encargados de su construcción y quienes la manejarán y conservarán, puedan desempeñar satisfactoriamente sus funciones. El hecho de que alguien distinto de nosotros por lo general construya, opere y cuide nuestras obras, hace que adquiera especial importancia la presentación cuidadosa por escrito y la comunicación exacta de ellas [28, 29].

3.1.14 Controlar la Producción

Como se indicó en el párrafo anterior, por lo general es alguien distinto a nosotros quien construya, opere y mantenga nuestros diseños. Por ello el control de la producción es un ideal para un ingeniero solo, a menos que se trate de una pequeña empresa, pero es una posibilidad real para una organización grande y es el meollo de la filosofía de la llamada calidad total [30].

Esto es fundamental porque entre los diseños y prototipos y los productos reales puede haber grandes diferencias, bien porque no se siguen estrictamente las especificaciones de diseño, bien porque no se cuenta con los equipos adecuados para efectuar los procesos de fabricación y montaje, porque la habilidad y experiencia del personal encargado de esta fase no son suficientes, porque las condiciones reales de trabajo varían y, en casos extremos, por la combinación de varios de los anteriores factores.

3.1.15 Intervenir en las Ventas y el Servicio

Como en el caso anterior, a menos que se trate de una empresa pequeña o unipersonal es difícil que quienes diseñan participen en las ventas. Pero en las grandes organizaciones la función de los ingenieros que realizan las ventas y los servicios deben estar completamente coordinadas con las otras funciones.

Muchas excelentes soluciones de ingeniería fallan porque no se operan adecuadamente ya que quienes las entregan a los usuarios no los instruyen adecuadamente en su manejo y mantenimiento. Cuidado en la venta y la atención postventa son parte esencial del trabajo ingenieril bien hecho y así

lo atestigua el éxito de las empresas que lo realizan a cabalidad y el fracaso de quienes descuidan esta parte final del proceso.

3.1.16 Analizar las Fallas y Retroalimentar el Proceso de Diseño

El análisis de fallas es una disciplina especializada para la que no todos los ingenieros están capacitados. Sin embargo los diseñadores, en general, deben estar en capacidad de apreciar las causas por las que su diseño falló. Si el ingeniero o grupo de trabajo puede realizar este análisis sería magnífico, en caso contrario habrá que asesorarse de los especialistas. En cualquier evento la determinación del porqué de una falla es fundamental para hacer las correcciones necesarias sea en el diseño, en el material utilizado, en el proceso de fabricación y montaje, en la operación o en el mantenimiento [31].

Como se ve, todas las causas de falla no son, de ninguna manera imputables al diseño. En el caso de los elementos y sistemas materiales, además de las causas señaladas el ambiente es fundamental y procesos como la oxidación, la corrosión, la degradación térmica el desgaste y otras causas, que a veces son del todo previsibles en el diseño, pueden ocasionar la falla.

En el caso de sistemas no materiales además de problemas de lenguaje y comprensión la naturaleza de las organizaciones sociales y su comportamiento lleva a veces a variaciones y situaciones nuevas que cambian por completo el entorno para el que se propuso una solución. Obviamente que, de todas maneras, el estudio de estas fallas llevará al mejoramiento del diseño en todos los sentidos.

3.1.17 El Equipo Tecnológico: El Ingeniero, El Científico y El Técnico

Como se comprende de lo que implica el método ingenieril, este gran trabajo debe ser realizado por un equipo que normalmente incluye científicos, ingenieros y técnicos.

Es evidente que ciertos miembros del equipo tecnológico deben ser capaces de unificar los esfuerzos de los otros miembros en un enfrentamiento coordinado del problema y tomar decisiones en relación con las mejores soluciones. El más indicado para esta responsabilidad, obviamente, es el ingeniero, quien debe tener la comprensión del conocimiento del científico y de las habilidades del técnico. A él se le da la oportunidad de ejercer su interés y motivación para producir algo útil para el hombre, algo que satisfaga una necesidad de la humanidad [32].

El ingeniero debe comprender los intereses del científico, una persona que es feliz haciendo nuevos descubrimientos en cuya persecución está dispuesta a ser paciente, estudiar largas horas sobre el tema de su interés, comprobar sus ideas con experimentos y enfrentar los resultados descorazonadores. El científico debe ser académico, porque solamente con el estudio de los descubrimientos pasados y las investigaciones actuales puede esperar el éxito.

El ingeniero debe estar atento a los resultados del trabajo de la ciencia, puesto que es él quien debe buscar su aplicación ya que el científico no tiene esta actividad como objeto. Por ejemplo, Carothers descubrió el nylon en 1937, sin embargo, después de ello continuó estudiando los secretos de la materia. Más allá de las aplicaciones de esta fibra estaba su determinación de develar nuevo conocimiento sobre cómo estaban hechas las cosas naturales. Fueron los ingenieros de la Du Pont los que encontraron los múltiples usos que el nylon llegó a tener.

De otro lado, el técnico tiene, hasta cierto punto, tanto la habilidad y destreza del artesano como el conocimiento fundamental del ingeniero y el científico.

Le gusta estar cerca del trabajo, y es capaz de cierta cantidad de diseño original, estimación de costos, dibujo, ensayo, y otros trabajos de oficina y laboratorio. Generalmente traduce el lenguaje del ingeniero a un lenguaje que pueda ser entendido por artesanos y obreros. También traslada las ideas de éstos a aquel y él mismo da consejos y sugerencias. Se reúne con ingenieros y científicos para ayudar al equipo en la solución de problemas técnicos.

Dado que la ingeniería tiene una gran componente empírica, es fundamental que el ingeniero aprecie las contribuciones de los técnicos y aproveche su experiencia y la de los artesanos y obreros. Un gran respeto –aunque no ciego– por el conocimiento empírico es indispensable para el ingeniero que quiera llegar a detentar con merecimientos tan honroso título.

3.1.18 La Interdisciplinariedad

El ingeniero no solamente tiene obligaciones con su equipo, con sus colegas, sus clientes o su empleador, sino con la sociedad en relación con su progreso técnico. En el siglo XXI habrá necesidad conocimientos tecnológicos relevantes; los ingenieros deberán plantearse muchos interrogantes.

¿Puede la tecnología ser controlada y puesta al servicio de las necesidades y objetivos de la humanidad, en vez de convertirse en un fin en sí misma y de crear sus propias necesidades y exigencias? ¿Existe una manera de satisfacer las necesidades de la privacidad y espacio personal de la gente, pese a los altos niveles de comunicación y al gran número de personas que comparten el mismo planeta, físicamente limitado? ¿Puede este planeta soportar 8 millardos de personas o más, sin que su ecología se vea irreversiblemente dañada?.

Y, lo que es más crucial aún, ¿puede la gente compartir el planeta con tolerancia y respeto mutuo? La sociedad del futuro está destinada a ser diversa y pluralista.

Podría también ser descentralizada y democrática. Esto significa un sistema con autonomía local y, al mismo tiempo, coordinación global, es decir, no basados en la cultura y racionalidad occidental. Implican a las ciencias naturales y a las sociales. Sociólogos, políticos, ecólogos, urbanistas, sicólogos, demógrafos, economistas, químicos, médicos, ingenieros. Ningún grupo actual puede encarar ese reto.

Todo esto hace evidente que el ingeniero está obligado consigo mismo y con la sociedad a progresar continuamente como hombre y como ingeniero y que las bases de esa actitud se pueden y deben inculcar en la universidad. A primera vista, aquel piensa que la revolución científica y tecnológica es un fenómeno puramente técnico y que surge únicamente a partir de descubrimientos de las ciencias naturales, técnicas y matemáticas. Por el contrario, es un proceso universal en su forma y en su contenido, muy grande en cualquier momento dado, pero perceptible de una forma cada vez creciente desde el punto de vista cognoscitivo. No solamente está relacionado con la producción material sino que además se manifiesta en todos los demás sectores sociales: no es simplemente una cuestión de ciencia y tecnología sino al mismo tiempo una lucha, una política y una diplomacia, y tiene otros aspectos ideológicos, morales, pedagógicos, psicológicos, biológicos y de otra índole. Este conjunto abarca también el problema de las relaciones entre la revolución científica y tecnológica y las ciencias sociales, y la correlación entre ellas.

La interdisciplinariedad es fundamental en el quehacer del ingeniero y se entiende que las teorías integrales de la naturaleza y la sociedad construyen un conocimiento socialmente útil, al mismo que construyen buena ciencia. Un enfoque para llevar la interdisciplinariedad mucho más allá es la complejidad.

3.1.19 La Complejidad

La complejidad es un nuevo enfoque para tratar los problemas que el ingeniero debe solucionar, antes de entrar a resumirlo es necesario hacer una introducción a lo que es la teoría del caos. La teoría del caos se encuentra entre las ciencias más jóvenes y se supone que su área de estudio es el desorden, aunque en realidad el caos es la esencia misma del orden [33]. Hay dos enfoques para esto. En el primero se considera el caos como precursor y socio del orden y no como su opuesto. Aquí se concentra la atención en el surgimiento de espontáneo de autoorganizaciones que emergen del caos, o, en términos físicos, en estructuras disipativas que surgen en sistemas fuera de equilibrio, cuando la producción de entropía es alta.

La comprensión de que los sistemas ricos en entropía facilitan en vez de impedir la autoorganización fue coyuntura decisiva para la revaluación contemporánea del caos. Figura central de esto es Prigogine [34, 35].

El segundo enfoque destaca el orden oculto que existe dentro de los sistemas caóticos. En este sentido el caos difiere de aleatoriedad, porque se puede demostrar que contiene estructuras profundamente codificadas, llamadas "atractores extraños". El descubrimiento de que el caos posee dentro de sí profundas estructuras de orden es tanto más notable debido a la amplia gama de sistemas que demuestran este comportamiento. Los dos anteriores enfoques difieren en que el orden a partir del caos tiene más filosofía que resultados, mientras que el de los atractores extraños tiene más resultados que filosofía. Pero en este último se destaca la capacidad de los sistemas caóticos para generar nueva información. Sí bien, en general, la teoría del caos establece que cambios diminutos pueden causar fluctuaciones gigantescas, uno de los conceptos más importantes de esta teoría es que aunque resulte imposible predecir el estado futuro de un sistema, es casi trivial modelar su conducta global.

Mediante la iteración y la recursión se toma el resultado de una ecuación y se retroalimenta una y otra vez mientras se observa su desarrollo, esto permite descubrir conductas fascinantes. Al unirse los matemáticos con estos investigadores, contando con computadores poderosos, dieron origen a una nueva ciencia, la que a su vez cambió la manera en que ésta se hace. Se entiende que apenas ahora se pueda explorar el caos: sin computador, de hecho, no existiría manera de explorar el caos.

En las ecuaciones más deterministas (ecuaciones diferenciales lineales) había lugar para que existieran fenómenos tales como la turbulencia, la irregularidad y la imprevisibilidad, pero se suponía que esto no era más que un ruido que se producía como un efecto secundario a la manera como el mundo está estructurado. Se pensaba que este caos era el resultado de una complejidad que, al menos en teoría, se podía simplificar hasta llegar a descubrir un orden subyacente.

Hoy se reconoce que ese supuesto es erróneo: el avance científico y tecnológico de los últimos años ha permitido observar que la mayoría de los sistemas biológicos y gran parte de los sistemas físicos son evidentemente discontinuos, no homogéneos e irregulares [36]. Lo más curioso de estos sistemas es que parecen encontrarse justo en medio del caos y el orden por lo que, tanto su estructura como su conducta, resultan ser tan complicadas y variables que se cruzan de una a otra frontera imprevisiblemente.

La perspectiva más ampliamente aceptada en la actualidad es que el caos y el orden no son más que diferentes facetas de una misma realidad, pero lo que ya no resulta tan intuitivo es que el mismo universo no sea un ámbito de orden en donde el caos se encuentre oculto sino todo lo contrario: un sitio caótico donde hay contadas zonas aisladas de orden que son extremadamente pequeñas y raras.

Esta perspectiva ha permitido demostrar que las leyes del caos pueden explicar muchos, si no es todos, de los fenómenos que llaman la atención tanto por su regularidad como por su irregularidad, mejor que las leyes del orden. Ello ha obligado a que los especialistas en muchas áreas deban adoptar un visión holística o globalizadora de lo que es la ciencia y así, por ejemplo, los matemáticos estudian biología para desarrollar modelos de vida, los físicos estudian neurofisiología para descubrir los mecanismos de la memoria y los neurofisiólogos estudian matemáticas para crear una teoría que explique la cognición. Formalmente la teoría del caos se define como el estudio de los sistemas dinámicos no lineales y complejos. Un sistema complejo es el que está compuesto por muchas partes y, de hecho, el campo de las matemáticas que se conoce como teoría de la complejidad, está integrado por una gran cantidad de temas complementarios que se traslapan entre sí; se podría decir que es un sistema con muchos grados de libertad no equivalentes entre sí y, a diferencia del caos que es el estudio de cómo los sistemas simples pueden generar conductas complicadas, la complejidad es el estudio de cómo los sistemas complejos pueden generar conductas sencillas, lo

que quedaría ejemplificado por la sincronización de los sistemas biológicos desde las luciérnagas hasta las neuronas [37].

Se hace breve introducción a la teoría del caos por la irrupción de una serie de resultados, teorías y planteamientos que abren nuevas posibilidades y maneras de entender la realidad –la inorgánica al igual que la orgánica–, y que afectarán sin duda a la ingeniería del futuro. Ha comenzado una revolución paradigmática. Una revolución orientada, evidentemente, hacia la complejidad. Se puede plantear el problema en tres planos: ciencias físicas, ciencias del hombre (o del conocimiento del hombre) y el de la política. Tal parece que la ingeniería del siglo XXI será la de los sistemas complejos pues la emergencia es la característica de la complejidad. De acuerdo con muchos analistas estamos a punto de salir de un universo de determinismos simples, mecanicistas, para entrar en un mundo de complejidad en el que la incertidumbre, la estrategia, la innovación y la cultura, aparecen fuertemente vinculadas. Pero su imbricación sigue siendo altamente enigmática [38].

Se han propuesto varias definiciones de complejidad, pero la mayoría de ellas incluye conceptos como entropía, aleatoriedad e información y todas tienen limitaciones. El descubrimiento de que el procesamiento universal de información está en equilibrio entre el orden y el caos en los sistemas dinámicos es importante en sus analogías con las transiciones de fase del mundo físico. Sería muy interesante que los sistemas complejos adaptativos estuvieran inevitablemente situados en el límite del caos.

Se entiende que el caos es un subconjunto de la complejidad. Es un análisis del comportamiento de sistemas dinámicos continuos o discretos que muestran características recurrentes y una alta sensibilidad a las condiciones iniciales, de manera que cambios mínimos en dichas condiciones iniciales pueden hacer que el sistema se comporte de una manera distinta. Un cambio infinitesimal en las condiciones iniciales conduce a diferentes caminos en la evolución del sistema, como es el caso del famoso efecto mariposa. Estos caminos se denominan trayectorias y pueden ser divergentes o convergentes. Hay sistemas complejos que parecen haber evolucionado aprendiendo a equilibrar convergencia y divergencia, de manera que se instalan entre el caos y el orden.

En este punto es adecuado indicar que un sistema conservativo es aquel que puede describirse con una ecuación diferencial lineal y es determinístico y previsible como el péndulo, un oscilador armónico o la propagación de luz en el vacío. De otro lado un sistema disipativo se describe con una ecuación no lineal como es el caso de los sistemas mecánicos donde hay rozamiento. Sin embargo, como se explicará más adelante, el término “disipativo” tiene una connotación especial. Así pues la complejidad se ha relacionado con la capacidad de poder pasar de un comportamiento a otro cuando cambian las condiciones del entorno.

La flexibilidad y adaptabilidad consecuencia de dicha capacidad conducen a su vez al concepto de elección entre diversas posibilidades que se ofrecen.

Esto se lleva a cabo a través de la dinámica de fluctuaciones y exige la participación de sus dos manifestaciones antagónicas: la aleatoriedad de corto alcance, como elemento innovador, para que pueda explorar el espacio de estados; y el orden de gran alcance, para que el sistema pueda mantener un régimen colectivo en áreas macroscópicas del espacio y a lo largo de intervalos temporales macroscópicos.

Suposición necesaria para todos estos fenómenos es una dinámica no lineal que, cuando hay las limitaciones adecuadas, conduce a inestabilidad del movimiento y bifurcaciones, es decir a cambios de comportamiento. Y esto ocurre en varios campos de la ingeniería. Vistas así las ciencias de la complejidad constituyen un terreno de reflexión interdisciplinaria, un esfuerzo por comprender cómo ciertos patrones de comportamiento complejos pueden ser el fruto de los efectos colectivos de las interacciones entre múltiples elementos individualmente simples. De esto se han desarrollado dos consecuencias cruciales.

En primer lugar el reconocimiento de que el enfoque reduccionista tradicional de la ciencia, donde el comportamiento global de un sistema complejo se intenta explicar consecuencia inmediata de la forma como se relaciona con sus componentes, resulta inadecuado para estudiar sistemas complejos.

Esto ocurre debido a que los comportamientos observados aparecen con una riqueza, complejidad y estructura, mucho mayores de lo que las reglas de interacción de los componentes individuales sugieren a una primera mirada.

En segundo lugar, la convicción de que existen muchos sistemas complejos cuyos comportamientos globales comparten características entre sí a pesar de las diferencias que puede haber entre sus componentes individuales, es decir, que tiene sentido hablar de las reglas de la complejidad. La finalidad de estas propuestas teóricas sería intentar dilucidar dichas reglas, con el ánimo de realizar afirmaciones de carácter explicativo y aun predictivo acerca de muchos sistemas complejos encontrados en la naturaleza.

Hay que valorar las contribuciones igualmente fundamentales de aquellos que se atreven a dar lo que se llama "vistazo a la totalidad". Esto porque es común que las personas tengan cierto estilo de pensamiento. Nietzsche introdujo la distinción entre "apolíneos", aquellos que dan preferencia a la lógica, la aproximación analítica y el peso desapasionado de la evidencia, como somos los ingenieros, y "dionisíacos", aquéllos más inclinados a la intuición, la síntesis y la pasión. Estos rasgos se suelen correlacionar de forma burda con el uso preferente de los hemisferios cerebrales izquierdo y derecho, respectivamente.

Los ingenieros actuales deberían pertenecer a otra categoría: los "odiseicos", que combinan las dos predilecciones en su búsqueda de conexiones con ideas. Estos ingenieros ideales estarían especialmente equipados para utilizar las herramientas de la complejidad en su trabajo [39].

3.1.20 La Ingeniería Concurrente

Todas las consideraciones anteriores permiten comprender la importancia de la ingeniería concurrente, que es una metodología integrada en la cual los procesos de diseño, de fabricación y de servicio se mezclan desde el primer momento y se desarrollan en forma paralela durante todo el ciclo de vida del producto [40]. En sentido amplio, bajo la denominación de ingeniería concurrente se comprende el conjunto de herramientas, metodologías y cambios organizacionales necesarios para realizar un desarrollo integrado de productos y servicios. La ingeniería concurrente está constituida por tres elementos clave: la colaboración, la tecnología de la información y el proceso. En este contexto colaboración significa trabajar en equipo. Sin embargo, colaboración y equipos de trabajo son cosas distintas. Los equipos de trabajo industriales pueden operar sin colaboración deliberada entre sus miembros.

Pueden ser simplemente una colección de individuos con una causa común.

Cada persona, con el fin de tener éxito, sigue su propia agenda y sus criterios de medida de acuerdo como los establece su función individual.

Este comportamiento no colaborativo ha llevado a muchas fallas y no es problema trivial en las empresas.

Cuando se usa apropiadamente, la colaboración efectiva ocurre más allá del equipo e incluye todas las funciones u organizaciones dentro de la empresa, así como los proveedores, clientes, consultores, revendedores, distribuidores y, en algunos casos, colaboración con otras compañías para el desarrollo de un producto o una tecnología. Tal es el caso cuando se contrata una firma de diseño industrial, su experticia en entender el atractivo, los factores humanos y la funcionalidad en el ambiente de los usuarios, lleva a que se logren diseños exitosos y al éxito de los productos mejorados en el mercado.

Así pues, al establecer un ambiente de ingeniería concurrente es clave la infraestructura que conduzca el cambio de comportamiento hacia la colaboración.

La infraestructura, como los sistemas de estímulos, establecimiento de metas, reconocimientos, medidas funcionales, etc. son de la mayor importancia en el soporte del ambiente colaborativo. Los individuos y su voluntad para colaborar tanto en la compañía como fuera de ella, son el principal factor que determina el éxito del proceso de la ingeniería concurrente.

La tecnología de la información en el proceso de diseño normalmente se refiere al CAD y la CAE (computer aided engineering), pero en realidad la tecnología de la información incluye las simulaciones, la posibilidad de compartir datos e imágenes, las redes de computadores, las bases de datos, las conexiones a otras entidades, las estaciones de trabajo, etc. Así pues, la tecnología de la información proporciona las bases que posibilitan el proceso de la ingeniería concurrente. El proceso incluye tanto el nivel más amplio del ciclo de desarrollo total, como el nivel detallado de procesos específicos y metodologías específicas de diseño. Además, identifica los pasos detallados detrás de la naturaleza concurrente del desarrollo del producto y el proceso [41].

Para el buen funcionamiento del equipo de trabajo se deben desarrollar valores como la cooperación, la confianza y el compartir e intercambiar conocimientos e información, pues el principio básico de la ingeniería concurrente es el trabajo en equipo multidisciplinario. Este equipo incluye personal de diferentes áreas relacionadas con el desarrollo de productos y servicios: diseño, manufactura, mercadeo, finanzas y otros, en general todas las actividades que integren el proceso de un producto, desde su concepción intelectual hasta su desecho, figura 3.2.

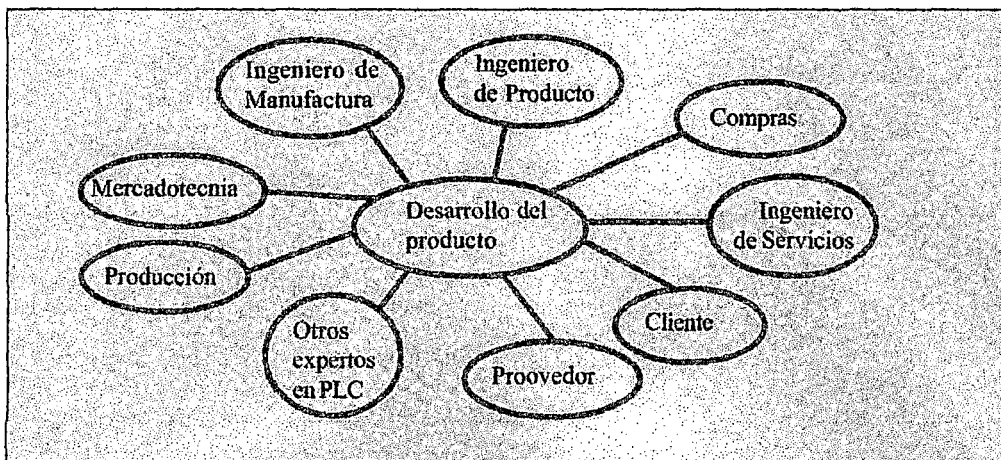


Figura 3.2 El Equipo de Trabajo en la Ingeniería Concurrente
Fuente: (Kalleward, V y A, Al-Saab. Introducción e Implementación de la Ingeniería Concurrente, Scientia et Técnica) p. 103

En la ingeniería convergente se forman grupos de desarrollo que tienen la habilidad de resolver problemas con mucha mayor eficacia que expertos individuales. El trabajo en equipo multidisciplinario (que debería llegar a ser interdisciplinario) permite producir más innovaciones y el logro de nuevas ideas de una manera más fácil y rápida que con otros esquemas de diseño.

En resumen, la ingeniería concurrente es una metodología sistemática para el desarrollo integrado de productos, que hace énfasis en dar respuesta a las expectativas de los usuarios y se fundamenta en los valores de trabajo en equipo de cooperación, confianza mutua y participación, de tal manera que el proceso de toma de decisiones procede con grandes intervalos de trabajo en paralelo por parte de todas las perspectivas consideradas en el ciclo de vida, sincronizado por medio de breves intercambios con el fin de alcanzar el consenso [43].

Lo anterior implica que la implantación de la ingeniería concurrente implica dos elementos básicos: una transformación de la empresa, un cambio de su cultura interior, una disposición de la empresa misma a aceptar los principios y prácticas enmarcados bajo este concepto y el desarrollo de una infraestructura de comunicaciones que pueda servir de soporte a los procesos de colaboración y coordinación.

3.2 Distintos Enfoques desde la Teoría del Diseño

A continuación se analiza los diferentes matices del concepto. El diseño como tarea consiste en pensar (idear) y describir una estructura que aparece como una portadora de características deseadas (particularmente funciones); el diseño como proceso consiste en transformar información de las condiciones, necesidades y requisitos a la descripción de una estructura que las satisfaga. De esta manera, se podría entender al individuo que diseña, como un medio de transformación de información, que proviene inicialmente del cliente, pero que se alimenta también de conocimiento propio del diseñador y conocimiento adquirido durante el proceso, para dar lugar a una estructura imaginada que una vez hecha realidad, confirma las características con las que se pensó.

El hecho de la intervención cognitiva del individuo además de elementos subjetivos que se unen en un sistema a los elementos técnicos, confieren a la ingeniería del diseño una complejidad elevada. Su estudio ha cobrado relevancia en las últimas décadas, generando un movimiento de investigación importante.

Hoy día se habla del diseño como una ciencia (Hubka y Eder, 1992) y se reconoce la interacción de un gran conjunto de características dentro de su definición, como por ejemplo: solución de problemas, toma de decisiones, creatividad, búsqueda heurística, evolución, aprendizaje, negociación, conocimiento, optimización, organización, satisfacción de necesidades, etc.; todos ellos necesarios, pero no suficientes por si solos (aisladamente).

Los estudios sobre el proceso de diseño, entre otras cosas, ha dejado como resultado un sin número de propuestas para representarlo (modelos descriptivos), para realizarlo (modelos prescriptivos), para entenderlo (modelos cognitivos) y para «automatizarlo» (modelos computacionales); además de la gran cantidad de técnicas y herramientas que sirven para asistirlo. Aún así, se puede afirmar que el desarrollo ha sido desequilibrado. El proceso de diseño se suele subdividir en dos clases de acciones mentales: el análisis y la síntesis. Los sistemas de apoyo al diseño se han centrado especialmente en el análisis, incluso se puede decir que los currículos académicos de la ingeniería se sesgan hacia esa misma tendencia, dejando a la síntesis un tanto en el aire, bajo el supuesto de que la experiencia y el conocimiento del ingeniero de diseño son suficientes para desarrollarla con éxito.

Sin embargo, las exigencias del mundo globalizado actual, por productos cada vez más competitivos, más creativos, más innovadores, han desvelado la necesidad de que la etapa de síntesis, aquella en la que la creatividad juega papel fundamental, sea mejor asistida. Este reconocimiento ha dado lugar a nuevas tendencias de las investigaciones en la ingeniería de diseño.

En este capítulo se pretende recoger aquellas tendencias, exponiendo resultados que se han estado proponiendo en los últimos años. Para ello se ha dividido en cuatro partes principales. Se comienza con la definición del concepto de diseño, con el propósito de marcar con claridad el campo en el que se sitúa la presente investigación. En segundo lugar se hace una recopilación de los principales métodos y modelos del diseño que se han propuesto para integrar todas las acciones realizadas durante el proceso de diseño. Allí se muestran las principales propuestas de modelos descriptivos, prescriptivos, cognitivos y computacionales.

En la tercera parte se hace una presentación de técnicas y herramientas modernas de ayuda al proceso de desarrollo de nuevos productos, como por ejemplo la técnica de despliegue de la función calidad, el análisis modal de fallos y efectos, el diseño por factores, etc.

Finalmente, en la cuarta parte se presentan algunos de los grupos de investigación más representativos a nivel mundial, mostrando sus principales líneas de investigación y los proyectos que actualmente adelantan. Allí se habla entonces de los centros de investigación de universidades de gran prestigio internacional como el MIT, Stanford, la de Sydney, la de Delf, etc. señalando sus logros y expectativas en la investigación de la ingeniería del diseño.

3.2.1 El Concepto de «Diseño»

Conviene iniciar este capítulo aclarando la diferencia conceptual del término «diseño» bajo la perspectiva hispanoparlante y la anglosajona. Tal como lo señalan Alcaide, Diego y Artacho (2001a, p.18) diseño en castellano tiene un significado limitado a lo formal o adjetivado, hasta el punto de que se habla de «objetos de diseño», haciendo referencia a las características externas (formas, texturas, colores, etc.) del artefacto, pero no al artefacto en su conjunto. Entre tanto, el término anglosajón «design» hace referencia a toda la actividad de desarrollo de una idea de producto, de tal manera que se acerca más al concepto castellano de «proyecto», entendido como el conjunto de planteamientos y acciones necesarias para llevar a cabo y hacer realidad una idea. [44]

Es importante decir que en esta investigación se asume el concepto de diseño tal como lo entendería un anglosajón, es decir, en el sentido amplio de su significado y no en el sentido limitado de la forma del producto. Esta aclaración es importante porque se quiere establecer un vínculo entre dos disciplinas académicas que siendo naturalmente afines, se han considerado esencialmente diferentes, como son el diseño industrial y la ingeniería, hasta el punto de generar el imaginario equivocado de que el diseño industrial se preocupa únicamente por la forma del producto (y es vista como una disciplina de corte "artístico") y de que el diseño en ingeniería se preocupa únicamente por los cálculos de los elementos que conforman el producto. Las diferentes definiciones de diseño que se encuentran en la literatura evidencian el concepto antes explicado. Por ejemplo, Pugh (1990) lo define bajo el término "diseño total" como la actividad sistemática desarrollada para satisfacer una necesidad y que cubre todas las etapas desde la identificación de la necesidad hasta la venta del producto. Pahl y Beitz (1995) lo definen como una actividad que afecta a casi todas las áreas de la vida humana, utiliza leyes de la ciencia, se basa en una experiencia especial y define los requisitos para la realización física de la solución.

La vinculación del dominio funcional al dominio físico es el objetivo del diseño según Suh (1990), lo cual implica una continua interacción entre lo se quiere conseguir y la forma como se consigue. Mientras que Hubka y Eder, citado por Alcaide (2001a, p.20) define la actividad de diseñar como la reflexión y descripción de una estructura que potencialmente incorpora unas características deseadas

Dym (2002, p.9) después de revisar muchas de las que se han dado a diseño en ingeniería, propone la siguiente: «es la generación y evaluación sistemática e inteligente de especificaciones para artefactos cuya forma y función alcanzan los objetivos establecidos y satisfacen las restricciones especificadas».

El ICSID (2004) define diseño como «una actividad creativa cuyo propósito es establecer las cualidades multifacéticas de objetos, procesos, servicios y sus sistemas, en todo su ciclo de vida. Por lo tanto, es el factor principal de la humanización innovadora de las tecnologías, y el factor crítico del intercambio cultural y económico.

Se podría seguir mencionando muchas otras definiciones de diseño. Sin embargo las expuestas aquí son una muestra representativa del significado moderno del término y recoge los principales elementos inherentes a él.

Así, se puede hablar de que el diseño busca la satisfacción de una necesidad, es decir, aborda la solución a una situación problemática. Un segundo elemento importante es que para lograr obtener tal solución se debe tener en cuenta el entorno en el que se aplicará y las interrelaciones entre sus componentes, es decir, tener un enfoque sistémico, lo cual implica una actuación multidisciplinaria y la consideración de todo el ciclo de vida del producto. La tercera consideración tiene que ver con las limitaciones impuestas por factores externos de orden físico, económico, social y funcional, a lo que comúnmente se le denomina restricciones. Y el cuarto elemento que define al diseño es su identificación como una actividad creativa por excelencia, en la que se tiene la posibilidad de desplegar en toda su magnitud esta característica inherente del ser humano.

En resumen, el diseño se entiende como el desarrollo de una estructura o un sistema que sea portador de características deseadas (particularmente, funciones) y que logra básicamente por la transformación de información sobre condiciones, necesidades, demandas, requisitos y exigencias, en la descripción de una estructura capaz de satisfacer esas demandas, que pueden incluir no solo los deseos del cliente, sino también requisitos de todo el ciclo de vida, esto es, de todos los estados intermedios por los que pasa el producto.

3.2.2 Metodologías de Diseño

Nigel Cross define metodología de diseño como «el estudio de los principios, prácticas y procedimientos de diseño en un sentido amplio. Su objetivo central está relacionado con el cómo diseñar, e incluye el estudio de cómo los diseñadores trabajan y piensan; el establecimiento de estructuras apropiadas para el proceso de diseño; el desarrollo y aplicación de nuevos métodos, técnicas y procedimientos de diseño; y la reflexión sobre la naturaleza y extensión del conocimiento del diseño y su aplicación a problemas de diseño» (Lloyd, 2004).

Conviene en este punto precisar la diferencia entre los términos método, técnica, modelo y metodología, ya que ellos son utilizados de diferentes maneras en la literatura y puede prestarse a confusión. A este respecto Cross (1984, p.vii) transcribe las palabras de Christopher Alexander (1971), que traducidas dicen lo siguiente: «Si usted llamara a eso: ¡una buena idea para aplicarla!, me sentiría feliz. Si lo llamara ¡un método!, igual me gustaría, pero comenzaría a cambiar de opinión. Si lo denomina ¡una metodología!, yo no querría hablar más del tema». Palabras que saliendo de uno de los líderes de las metodologías de diseño, llaman a la precaución sobre el verdadero significado de tales términos y la necesaria distinción de su significado.

De acuerdo con las definiciones formales de estos términos (Salvat, 1997; RAE, 2002), se puede entender que la relación entre ellos se da a diferentes niveles. Así, método hace referencia a la manera cómo una persona (un ingeniero de diseño, en este caso), realiza su tarea (diseñar); las técnicas son las herramientas que utiliza tal persona para aplicar su método; el modelo es la forma de representar el método, con el fin de estudiarlo y comprenderlo; la metodología es el estudio formal del método.

De esta manera, mientras que las técnicas son herramientas para el método, el modelo lo es para la metodología.

Se presenta a continuación una breve recopilación de los modelos, métodos y teorías de diseño más relevantes en la actualidad, para dar un marco teórico a la investigación que aquí se adelanta.

Métodos de diseño

Tal como lo señala Julián (2002) existe una tendencia a aceptar la necesidad de métodos que muestren el camino a recorrer durante el diseño de productos y de modelos que los representen, citando a Doesburg y Gropius, quienes desde principios del siglo XX afirman esta necesidad.

Aunque fue solo a finales de los 50 y principios de los 60 que el tema de los métodos de diseño cobran relevancia como respuesta a la creciente complejidad del proceso de desarrollo de productos.

Jones, en su comunicación "A Method of Systematic Design" en la primera conferencia de métodos de diseño realizada en el año 62 en el Imperial Collage, formaliza el inicio de la época de las "metodologías" de diseño (Jones, 1984).

Cross (1984) hace una recopilación de los diferentes métodos de diseño desarrolladas en los siguientes 20 años (1962-1982), partiendo precisamente de la propuesta de Jones, pasando por Alexander, Archer, Darke y Ritter, para citar solamente las más conocidas.

En su compilación, Cross identifica cuatro periodos, el primero comprendido entre 1962-67, en el que se refleja el intento por aplicar nuevos métodos y técnicas desarrolladas en la segunda guerra mundial, en la estructuración y gestión de todo el proceso de diseño intento que, se pueda afirmar, fracasó. El segundo periodo entre 1966-73, se describe como aquel en el que se intenta entender la complejidad de los problemas de diseño, habida cuenta del fracaso en los intentos previos de estructurar el proceso.

Otro enfoque de la complejidad del tema se aborda tratando de entender la forma cómo los diseñadores abordan el proceso tradicional de diseño, para lo cual se recurre desde entrevistas abiertas hasta laboratorios controlados, enfoque este que tuvo su máximo interés a finales de los 70. Entre 1972-82 se define el cuarto periodo en el que emerge un enfoque más filosófico del diseño, que busca comprender y asimilar las experiencias ganadas en los años anteriores.

La historia de los métodos de diseño se resume hasta la década de los 90's como aparece en la Tabla 2.1.

Modelos de diseño

En general se entiende como modelo de diseño la forma de representación del proceso que desarrolla el diseñador en su labor. Los modelos y métodos de diseño se pueden enmarcar dentro del campo que los expertos califican como «investigación en diseño», cuyo objetivo genérico es establecer nuevas formas o recomendaciones que potencien la eficiencia en el diseño.

Cross (1999) clasifica los modelos de diseño en dos grupos: descriptivos y prescriptivos, mientras que Takeda (1990) citando a Finger y Dixon (1989) adiciona dos más: cognitivos y computacionales.

Los modelos descriptivos muestran la secuencia de actividades que ocurren en diseño, dentro de los cuales se puede mencionar el modelo básico y el modelo de French. Los prescriptivos, como su nombre lo indica, prescriben un patrón de actividades de diseño, como lo intentan Archer, Pahl y Beitz, el modelo alemán VDI 2221, el de March y el de Pugh entre otros.

Mientras que los cognitivos, explican el comportamiento del diseñador y los computacionales, expresan la forma en que un ordenador podría desarrollar la tarea de diseño.

Conviene hacer una breve presentación de estos modelos con el fin de identificar las diferentes etapas y fases que se desarrollan en el proceso de diseño.

Tabla 3.2 Historia de los Métodos de Diseño

Autores Representativos	Descripción
Asimow (1962)	Dos etapas: <ul style="list-style-type: none"> • Planeación y Morfología • Diseño detallado.
Jones (1963)	La intuición y los aspectos no-racionales tienen el mismo rol que los lógicos y los procedimientos sistemáticos.
Archer (1963)	Listas de chequeo (¡más de 229 ítems!), para verificar tres fases: <ul style="list-style-type: none"> • Análisis. • Creatividad • Ejecución.
Alger y Hays (1964)	Enfasis en la valoración de alternativas del proyecto.
Alexander (1964)	Análisis riguroso del problema. Adaptación del programa de diseño al problema específico División del problema complejo en subgrupos de problemas.
Luckman (1967)	Método AIDA, tres fases: <ul style="list-style-type: none"> • Análisis • Síntesis • Evaluación. No son lineales sino interactivas.
Levin (1966)	Caracterización de propiedades de sistemas. Relación causa – efecto (controlables y no controlables)
Gugelot (1963)	Información sobre necesidades del usuario.
Burdell (1976)	Aspectos funcionales Exploración de posibilidades funcionales Decisión Detalle: cálculos, normas, estándares. Prototipo.
Jones (1970)	No es un método, pero expone dos tendencias: Caja negra: la parte más importante del diseño se realiza en el subconsciente del diseñador, no puede ser analizada. Caja de cristal: todo el proceso se hace transparente.
Jones (1971) Alexander Tudela	Contracorriente: Los métodos de diseño destruyen la estructura mental del diseñador. Se produce una abolición de la racionalidad funcional.
Manuñ (1974)	No es correcto proyectar sin método. Indica que primero se hace un estudio sobre materiales y procesos, que alimentan la generación de ideas.
Maldonado (1977) Dorfies (1977)	Deben integrarse al proceso de diseño los factores: funcionales, simbólicos o culturales, de producción.
Bonsiepe (1985)	Dos métodos: Reducción de la complejidad de Alexander. Búsqueda de analogías o Sinéctica de Gordon.
Quarante (1992)	Para cada problema hay un método. No universalidad de métodos.

Fuente adaptada de Julian (2002) y Cross (1984)

a. Modelos descriptivos del diseño

El modelo lineal del proceso de diseño, aunque resulta muy básico, permite identificar las fases del diseño que son comúnmente aceptadas por la mayoría de investigadores. La Figura 3.3. muestra las fases de diseño conceptual, preliminar y detallado. En la primera fase se buscan conceptos o principios de solución al problema, para la cual se analiza el problema identificado, se sintetiza una o varias posibles soluciones y se evalúan con respecto a restricciones (especificaciones) impuestas. Algunos la denominan fase de «síntesis» del diseño. En esta fase se generan principios de solución, pero no se obtienen estructuras de solución lo suficientemente válidas (o acabadas) como para materializar la respuesta al problema. Sin embargo, es la etapa que demanda del diseñador una alta dosis de abstracción y de creatividad, caracterizada por la incertidumbre del éxito y por la dinámica de la evolución hacia estructuras válidas.

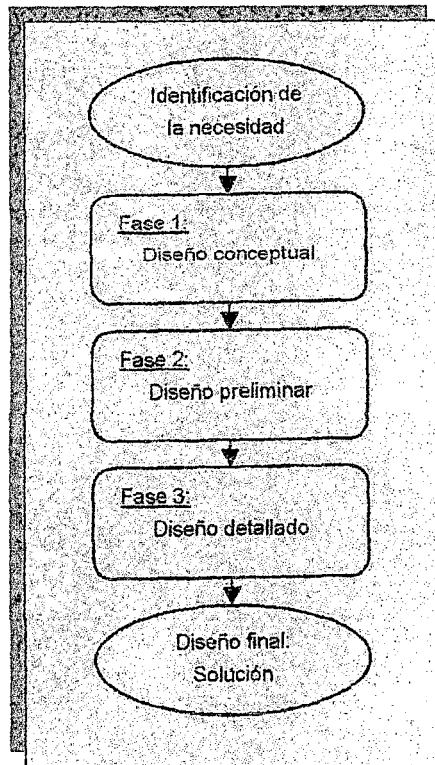


Figura 3.3 Modelo Descriptivo Lineal de Diseño
Fuente: (Dyn and Little. El proceso de Diseño en Ingeniería, México, 2002) p.32

En la fase de diseño preliminar se avanza en la concretización de una solución al problema, determinando componentes e interacciones con el suficiente grado como para poderla evaluar objetivamente. Se obtienen formas específicas, materiales propuestos y planos de conjunto con dimensiones generales, que representan al producto como un conjunto organizado de piezas, componentes, enlaces y acoplamientos.

Se puede decir, que esta fase es más «comprendida» por los ingenieros de diseño que la anterior, dada la formación curricular específica

La fase de diseño de detalle corresponde a la generación de todas las especificaciones necesarias para la producción del producto-solución. La elaboración de planos de detalle, la determinación de etapas de fabricación, la identificación de proveedores, etc., son típicas actuaciones en esta fase, que es la mejor desarrollada a nivel empresarial, dado su interés particular y su organización orientada a la materializar soluciones.

Así, estas fases, además de describir el proceso, evidencian La diferenciación de intereses en la práctica del diseño. La primera, suele ser de interés para los investigadores de diseño que buscan mejores métodos para abordar la tarea. La segunda, interesa especialmente a los académicos que quieren forjar profesionales capaces de concretar soluciones, y la tercera, es de interés de la industria o del nivel empresarial que quiere materializar productos innovadores.

Existen otros modelos descriptivos mucho más elaborados, como el de French (1999), pero en esencia sigue existiendo un acuerdo en la predominancia de aquellas tres fases descritas.

b. Modelos Prescriptivos

Como se mencionó, los modelos prescriptivos además de describir, dan pautas para desarrollar cada una de las fases y etapas del proceso de diseño. En esta categoría existe una gran variedad de propuestas, siendo las más conocidas las de Archer, VDI21, March, Pugh y Pahl y Beitz (Cross, 1999). Se presenta a continuación los dos últimos por ser representativos de las tendencias en la definición de modelos prescriptivos de diseño.

El modelo denominado «Total Design» propuesto por Pugh (1990) está basado en un núcleo descriptivo del proceso, compuesto de actividades genéricas (válidas para cualquier producto que se diseñe) tales como: análisis de mercado, diseño conceptual, diseño de detalle, fabricación y venta. Aparte del núcleo, que se representa en la Figura 3.4, existirán las “especificaciones de diseño” que son aquellas características particulares que rodean al caso concreto que se esté abordando y que delimitan el campo de actuación del núcleo del diseño.

Pero las principales características de este modelo son: la necesaria interacción de tantas disciplinas como sea necesario para resolver el problema, sean estas disciplinas técnicas o no; la definición clara de las especificaciones de diseño, que serán tenidas en cuenta durante todo el proceso y que definen la "frontera del diseño"; y el continuo acercamiento a la solución mediante la retroalimentación que conduce a estadios intercalados de divergencia (generación de conceptos) y convergencia (evaluación sistemática).

Esta aproximación gradual a la solución es denominada por Pugh como «método de convergencia controlada» y utiliza una matriz de valoración que enfrenta a las alternativas de solución contra los criterios previamente establecidos.

El método de Pahl y Beitz utiliza la teoría de sistemas para sustentar la propuesta de trabajo a través de funciones y subfunciones, que combinan los efectos físicos con las características geométricas y los materiales, para que surja el principio de solución (Alcaide, Diego y Artacho, 2001).

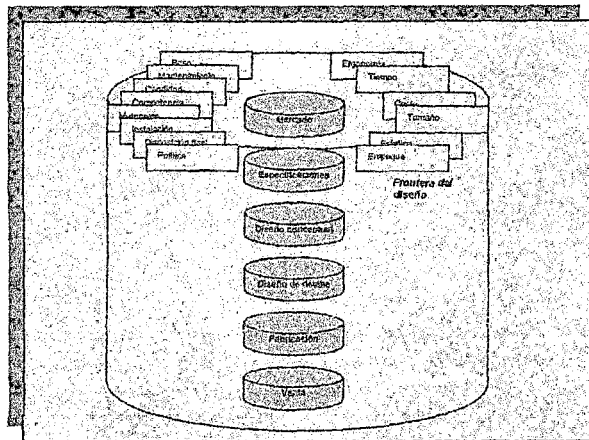


Figura 3.4 Núcleo y Especificaciones del Proceso de Diseño
Fuente: (García Melón – Alcaide Marzal, Fundamentos del Diseño en la Ingeniería, España, 2010) p.75

El método centra su atención en el denominado «embodiement design» (diseño de conjunto), pero para ello, propone un desarrollo de proyecto por módulos funcionales separados, lo cual tiene como ventaja la simplificación del análisis, pero la desventaja de que puede llegarse a una propuesta de conjunto muy compleja (Syed, Agarwal y Malik, 2000). Es uno de los métodos más utilizados en el diseño mecánico y su estructura se muestra en la Figura 3.5. Algunos críticos del tema sugieren que los modelos no son aplicables tal como se presentan en forma teórica. Por ejemplo Rasmussen (1994) indica que en lugar de tales modelos secuenciales, que pretenden mostrar al diseño como un proceso ordenado, se debe percibir el diseño como una compleja interacción entre las diferentes personas y de estas con el ambiente, de manera que se considera al diseño

como un proceso variable y oportunista, que no puede ser predecible y, además, cuyas decisiones se toman bajo la perspectiva particular que el diseñador reconoce dentro de ese contexto.

Al analizar cada uno de los métodos de diseño aquí expuestos se puede concluir que a pesar de las diferencias que pueden existir entre ellos, muestran algunas coincidencias que llevan a afirmar el reconocimiento de etapas comunes, como es el caso concreto de la etapa de generación de conceptos de diseño, esto es, de alternativas de solución al problema que se aborda en un momento determinado y en el cual la creatividad es protagonista principal.

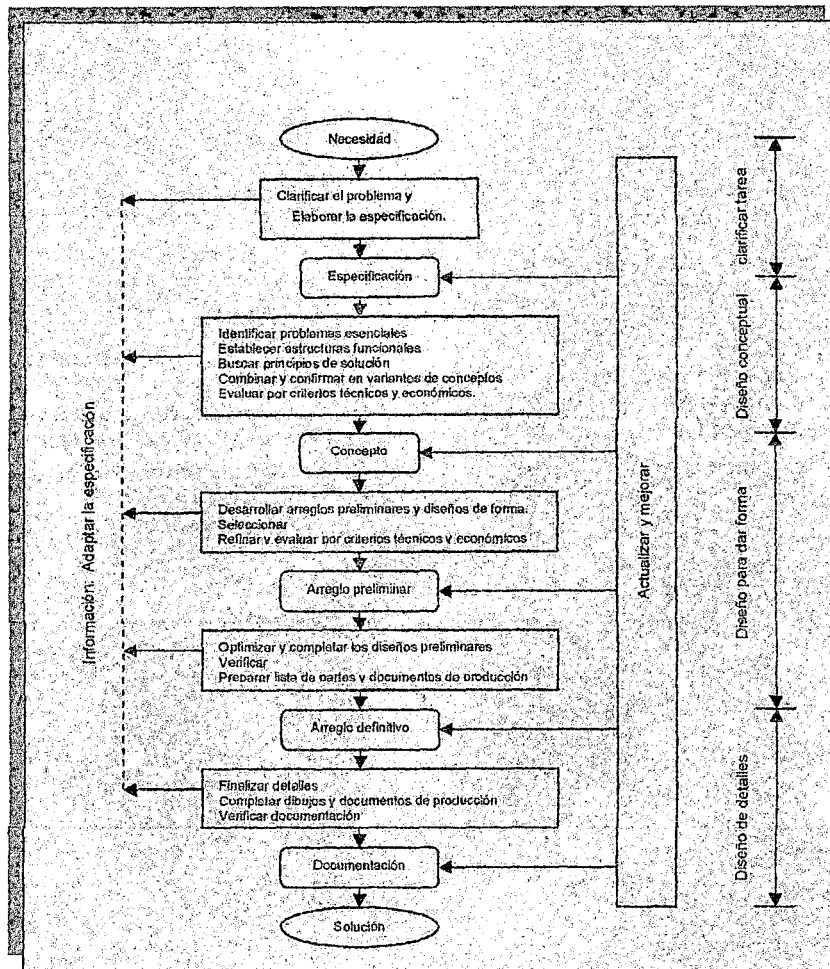


Figura 3.5 Modelo de Pahl y Beitz

Fuente: Adaptado de Cross (1999 p.37)

Por ejemplo, Manuri (Julian, 2002) denomina esta etapa como Creatividad: elaborar una síntesis. French, por su parte la relaciona dentro del Diseño conceptual, apuntando que es la fase que impone mayores demandas al diseñador y donde hay más oportunidades de cambios (Cross, 1999).

Archer (1999) habla de ella explícitamente como Fase Creativa que comprende análisis, síntesis y desarrollo. Pugh (1994) la llama Diseño conceptual e incluye en ella la generación y evaluación de ideas que cumplan con los parámetros de diseño. Palh y Beitz (1995) las sitúa dentro de la fase preliminar de Aclaración de la Tarea, llamándola definición y selección de ideas de producto. Gómez-Senet en su teoría de las dimensiones del proyecto, la propone como una de las Fases: fase creativa (Alcaide, Diego y Artacho, 2001). Tate y Nordlund (1996) en su propuesta, que busca desarrollar el modelo de Suh, la denominan generación y selección de conceptos. Rasmussen también toca el tema de la creatividad indicando que es precisamente la fase no normativa, aquella en la que el diseñador hace una búsqueda de soluciones que pueden ser factibles y que él denomina exploraciones del «mundo del objeto» (Rasmussen, 1994). Esta conclusión es importante para la investigación que aquí se presenta, toda vez que queda claro que la fase de generación de ideas creativas es algo reconocido, pero a la vez, poco tratado en la literatura de ingeniería de diseño.

Como una segunda conclusión importante de esta discusión, se puede afirmar que los modelos de diseño pueden ser útiles en la medida que reúnan dos condiciones básicas:

- Que se tenga claridad total de lo que hay detrás, es decir, una visión de que el modelo no es otra cosa que una herramienta que puede orientar un proceso, pero que no lo debe limitar ni subyugar. El método representado estará sometido al proceso y no al contrario.
- El solo modelo no es suficiente para garantizar un correcto diseño, principalmente debido a la incapacidad de representar el contexto del proyecto como un sistema y un sistema con interacciones complejas.

c. Modelos Cognitivos

Los modelos cognitivos buscan hacer una descripción formal de la forma de actuación del conocimiento del individuo que diseña. Existen algunos trabajos que buscan identificar los procesos cognitivos del proceso de diseño, como el de Akin (1979) y Jeffries (1981), pero el tema sigue siendo de difícil tratamiento. Tal como lo comenta Feijó (1991), la representación del proceso de diseño será siempre incompleta, y estará enmarcada en los dos niveles más simples de modelación, tal como lo muestra en la Figura 3.6.

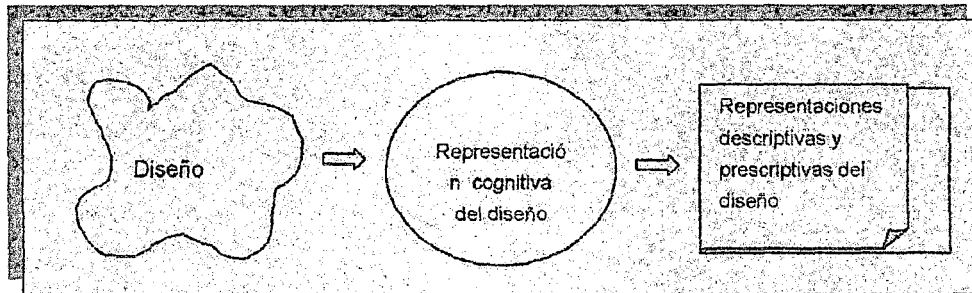


Figura 3.6 Los Tres Niveles de la Modelación del Diseño

Fuente: (Feijó 1991) p. 26

La dificultad de construir modelos que representen la actividad cognitiva del diseñador obedece, entre otras cosas, a que el diseñar es una clase de aprendizaje en la que las habilidades y las capacidades son adquiridas después de aprender técnicas, de asimilar conocimiento específico y general, y de inspeccionar experiencias exitosas del pasado (Suwa et al., 1998); tales habilidades y capacidades suelen ser tácitas y ni aun los diseñadores más experimentados son conscientes de las acciones cognitivas que hay detrás de sus trabajos. Una de las primeras aproximaciones realizadas para clasificar las acciones cognitivas fue la de Suwa y Tversky citada por Suwa et al. (1998). En ella, las actividades se dividen principalmente en información visual y no-visual, las primeras se subdividen en elementos descritos (esquematizados) con sus características percibidas y relaciones espaciales; tal tipo de modelo se basa en la distinción cognitiva del qué y del dónde.

Mientras que la información no-visual se clasifica en «pensamientos funcionales» y en conocimiento. De esta manera, todo el contenido del proceso de diseño puede relacionarse con alguna de estas subdivisiones.

Esta primera aproximación es complementada posteriormente por el mismo autor al dividir las acciones cognitivas de los diseñadores en cuatro categorías: físicas, perceptuales, funcionales y conceptuales. Se sustenta esta división en el hecho de que la información es procesada por el individuo primero sensorialmente, luego perceptualmente y al final, semánticamente; de manera que las acciones físicas corresponden al nivel sensorial, las perceptuales al nivel perceptual, y las funcionales y conceptuales al nivel semántico. Es posible, por lo tanto, identificar y representar el proceso de diseño bajo estas cuatro categorías.

El modelo “reflexivo” presentado por Valkenburg (1998) basado en la teoría de la práctica reflexiva de Schön, muestra una estructura del proceso cognitivo en el diseño, tal como se muestra en la Figura 3.7. Clasifica las actividades de diseño en cuatro categorías: nombramiento, estructuración, movimiento y reflexión.

El diseñador inicia el proceso nombrando (identificando) los aspectos relevantes de la situación, pasando a estructura el problema en cierta manera, haciendo movimientos hacia un solución y reflexionado en esos movimiento y la estructura construida. Tal reflexión es una acción consciente y racional que puede conducir a replantear la estructura del problema, al desarrollo de nuevos movimientos o a fijar la atención en nuevos aspectos del problema.

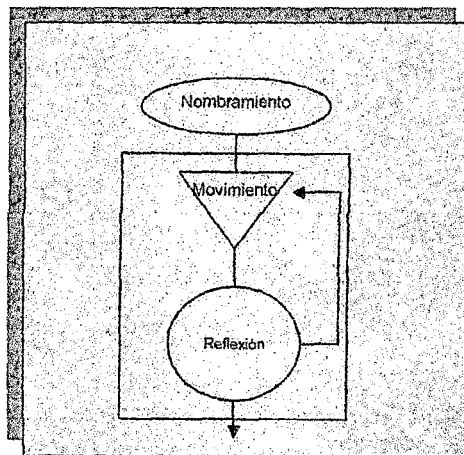


Figura 3.7 Actividades de Diseño en el Modelo de Estructura Cognitiva

Fuente: (Tsumaya et al. 2001) p. 28

Oxman (1997) propone la concepción del diseño como un proceso secuencial de descripción y re-descripción en el que la representación gráfica es el elemento central del diseño. El modelo se muestra en la Figura 3.8. Citando a Schön dice que el diseñador desarrolla una conversación gráfica con el diseño (p.329). Su argumento se sustenta en las modificaciones y re-modificaciones de las representaciones del diseño, señalando que las operaciones cognitivas incluyen relaciones estructurales de las imágenes que representan el objeto diseñado.

Por su parte, Chakrabarti (2001) argumenta que un modelo ideal debe reunir al menos tres requisitos: representar la actividad de diseño en cualquier campo de aplicación, desde diseño rutinario hasta el innovador; en segundo lugar debe asistir la fase de síntesis conceptual; en tercer lugar debe facilitar la evolución de los conceptos por los diferentes estadios de detalle.

Por ese motivo, critica los tres enfoques tradicionales sobre el razonamiento funcional en diseño y propone uno nuevo. El modelo de Freeman y Newell, representa esencialmente un proceso de avance a través de los diferentes niveles de detalle del diseño, pero no da ningún tipo de ayuda para superar la frecuente dificultad de encontrarse en un punto donde ninguna estructura propuesta satisface completamente los requerimientos funcionales.

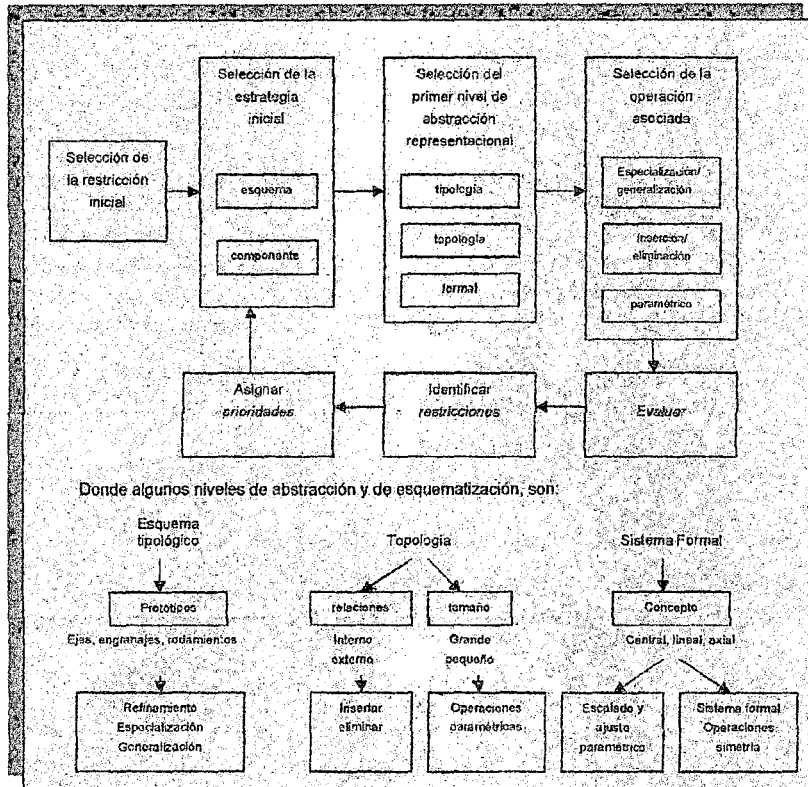


Figura 3.8 Modelo General de Re-representaciones

Fuente: Desconocida.

El segundo, denominado modelo paradigma, representa el proceso de modificación de componentes de la estructura de solución para satisfacer requerimientos funcionales, en una forma cíclica. Para ello se asume que es posible identificar y aislar los componentes equivocados, que se tienen los criterios suficientes para satisfacer una solución y que es posible modificar monotónicamente una solución provisional, es decir, que la satisfacción de un requerimiento implica un avance en la solución.

El tercer modelo criticado por Chakrabarti es el modelo sistemático, el cual no restringe el campo de aplicación, por lo que puede utilizarse para resolver problemas de cualquier naturaleza. No es claro su potencial de apoyo a la elaboración de estructuras a través de los diferentes niveles de detalle. Sin embargo, propone elaborar adecuadamente la estructura funcional global antes de trabajar con las sub-funciones.

El nuevo modelo de Chakrabarti es conceptualmente semejante al modelo co-evolucionario de Maher (2001) que se presenta más adelante, en el sentido que el problema inicial se va modificando en la medida que las soluciones parciales que se van obteniendo incorporan nuevos requerimientos y modifican el problema inicial.

Mientras tanto, Takeda et al. (1990) proponen un modelo cognitivo basado en cinco sub-procesos dentro del ciclo de diseño: apropiación del problema, sugerencias de conceptos clave para la solución, desarrollo de alternativas, evaluación y, finalmente, conclusión.

Estos ciclos se repiten las veces que sea necesario para resolver el problema en forma completa y pueden enlazarse entre sí en cualquiera de los subprocesos (no son consecutivos). La Figura 3.9 ilustra este modelo.

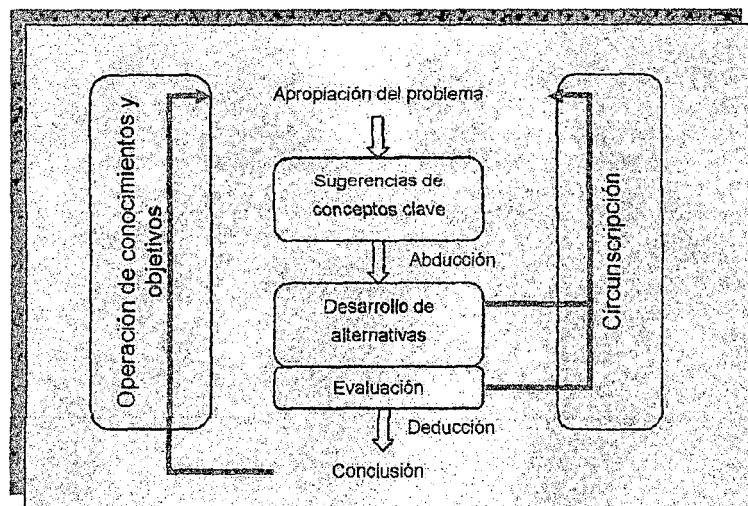


Figura 3.9 Razonamiento en el Ciclo de Diseño

Fuente: (Takeda et al. 1990) p. 30

Este modelo se basa en el empleo de tres clases de razonamiento en el diseño: deducción, abducción y circunscripción. La primera se da cuando la solución se deriva de las especificaciones y del conocimiento previo. Evidentemente para la mayoría de problemas de diseño (mal estructurados) esta clase no resulta suficiente. La abducción, entendida como el proceso por el cual se generan hipótesis 3, permite refinar las soluciones mediante la retroalimentación.

Por otra parte, la circunscripción busca resolver el problema de la falta de bases de conocimientos completas, bajo la premisa de que cualquier pieza de conocimiento es válida solamente bajo ciertas situaciones, pero su aplicabilidad solo es detectada por las contradicciones que se pueden presentar.

d. Modelos computacionales

En general se acepta que la actividad de diseño se divide en dos categorías de procesos mentales y de acciones: el análisis y la síntesis. El desarrollo de herramientas informáticas para el diseño se ha centrado en particular en los procesos de análisis, mientras que la síntesis ha tenido muy poco desarrollo. Aún así, hay investigaciones sobre el tema, principalmente orientadas a la definición de estructuras informáticas que permitan construir herramientas de apoyo a la actividad de diseño.

Takeda et al. (1990) presentan la Teoría General del Diseño (GTD) como una formulación del proceso de diseño para explicar cómo se desarrolla en términos de manipulación de conocimiento y sobre la cual se construye una propuesta de modelo computacional, que utiliza el modelo cognitivo de deducción-abducción-circunscripción descrito en el numeral anterior.

El GTD se basa en tres axiomas y siete teoremas, y explica el diseño como el proceso de transformación o mapeo entre un espacio función y un espacio de atributos, donde la especificación de diseño corresponde a un punto del primer espacio y la solución de diseño a un punto del segundo, como se representa en la Figura 3.10.

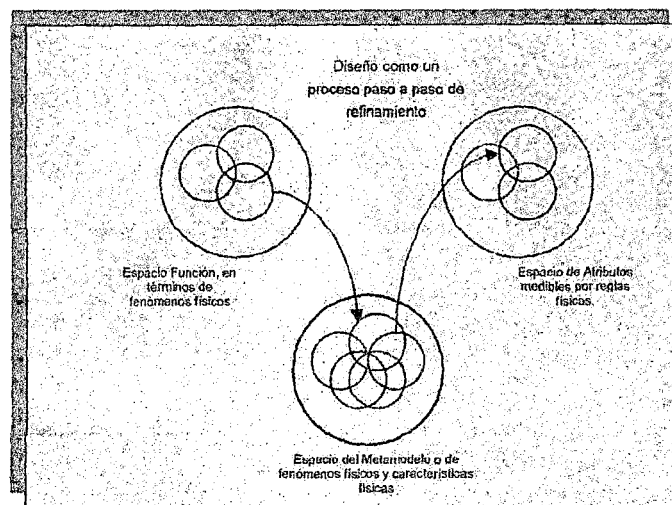


Figura 3.10 Proceso de Diseño según Takeda

Fuente: (Takeda et al. 1990) p. 31

Ese mapeo no es simple y directo sino que es un proceso de refinamiento paso a paso en el que un «metamodelo» (descripción del objeto de diseño independiente del contexto) va evolucionando por la adición de información y conocimiento, que surge a partir de la ejecución de escenarios de diseño (procedimientos y reglas) que crean un contexto C, cuyos contenidos son entonces evaluados contra el metamodelo actual M_i ,

de manera que si existe consistencia (cumplimiento de restricciones) entre ellos, el metamodelo se transforma a un estadio superior (evoluciona) M_{i+1} y así continua el proceso hasta que los requerimientos iniciales son completamente satisfechos. La Figura 3.11 ilustra el proceso descrito.

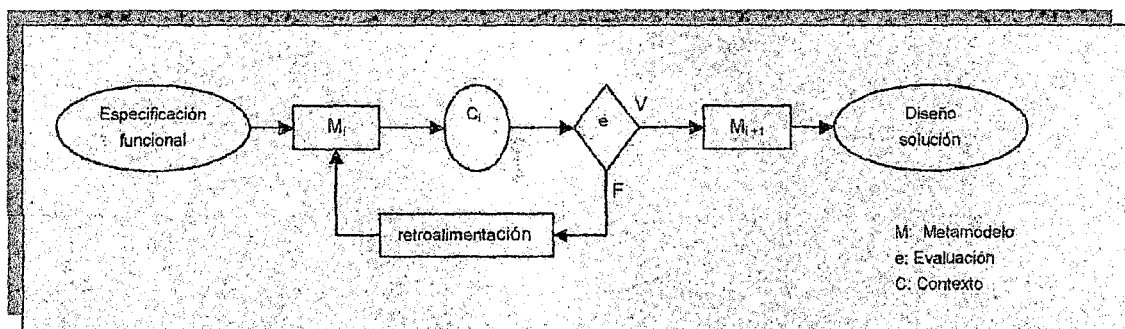


Figura 3.11 Esquema de Evolución del Metamodelo

Fuente: Desconocida

El modelo computacional de Takeda se sustenta en esta teoría y en el modelo cognitivo ya explicado. Si se asume que el proceso de diseño cambia su estado paso a paso, cada uno de estos pasos puede formularse como:

$$D_{s_c} \cup K_{o_c} \longrightarrow P_c$$

Donde:

D_{s_c} es la descripción del diseño actual

K_{o_c} el conocimiento disponible en el estado actual

P_c , las propiedades del diseño actual.

Durante el subproceso de sugerencias de aspectos clave se trata de encontrar Dsc a partir de Pcy Koc, en un proceso de abducción. Los subprocesos de desarrollo y evaluación, son desarrollados por deducción.

La arquitectura del simulador propuesto por Takeda et al. (1990) y que se muestra en la Figura 3.12 consiste en dos partes principales: el sistema de inferencias a nivel acción y el sistema de inferencia a nivel objeto. Este último consiste en el espacio de trabajo definido por „ Ds P Koy los tres subsistemas cognitivos (deducción, abducción y circunscripción). El conocimiento que se aplica en este sistema es aquel relacionado con el objeto del diseño, mientras que en el sistema a nivel de acción el conocimiento es aquel que determina cómo diseñar (prescripción del diseño).

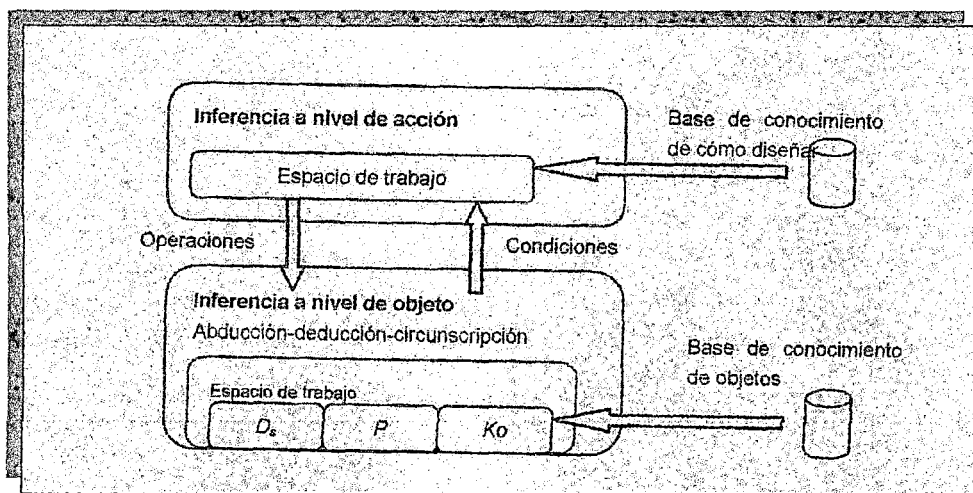


Figura 3.12 Esquema del Simulador de Diseño de Takeda et al. (1990)
Fuente: Desconocida

La propuesta de Suh en la formulación del llamado Diseño Axiomático (Suh et al., 1996; Tate, 1996; Engelhart, 2000; Alcaide, Diego y Artacho, 2001), define el diseño como el relacionamiento entre los requerimientos funcionales del dominio funcional y los parámetros de diseño del dominio físico, y la sustenta a través de dos axiomas fundamentales (de ahí el nombre de la teoría): independencia e Información.

El primero condiciona el diseño a la independencia de los requerimientos funcionales, mientras el segundo se refiere al diseño óptimo como aquel diseño funcionalmente desacoplado (el que cumple el axioma 1) que requiere mínima información. A partir de estos axiomas Suh propone siete corolarios (reglas) y siete teoremas, que fundamentan su propuesta de formulación del proceso de diseño mediante la expresión:

$$\{FR\} = [A] \{DP\}$$

en la que FR es el vector de requerimientos funcionales, DP el de parámetros y A la matriz de diseño (Alcaide, Diego y Artacho 2001, p.35).

Posteriormente Harutunian et al. (1996) proponen una primera versión de un software basado en la propuesta de Suh, que permitiría evaluar la matriz de diseño [A]. Tate y Nordlund (1996) dan un aporte adicional al presentar un esquema del proceso de diseño bajo el contexto del diseño axiomático.

El modelo computacional y cognitivo de Maher (2003) asume la existencia de dos espacios paralelos de búsqueda (espacio del problema y espacio de solución), de manera que durante el proceso de diseño se hace iterativamente una búsqueda en cada espacio utilizando el otro como base para refinar la función cuando se evalúan las alternativas e diseño. La Figura 3.13 muestra el modelo, cuyo nombre lo toma de la similitud con el proceso de interacción natural entre dos especies, tan íntima que para su evolución dependen mutuamente.

El modelo computacional busca mostrar cómo un mecanismo para el diseño puede incluir razonamiento tanto sobre el problema como sobre la solución, en forma paralela.

En el modelo computacional se utiliza un algoritmo genético que utiliza conceptos de espacios de búsqueda y representación de individuos por genotipo/fenotipo, que interactúan con operadores de cruzamiento, mutación, selección, reproducción y refinamiento.

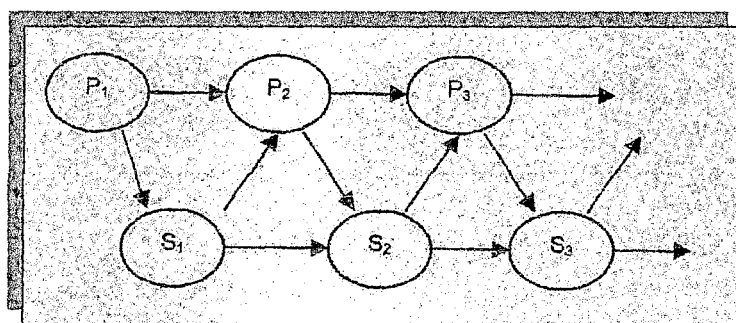


Figura 3.13 Modelo Co-evolucionario del Diseño

Fuente: (Maher 2003) p.34

Otra de los métodos propuestos recientemente es el llamado "Design Method based on Structured Reflection (DMSR)", basada en un proceso de alternación entre las etapas de diseño y de reflexión, de manera que durante esta última, se pueda procesar la información generada en la etapa precedente. Este método es fruto de la investigación que se realiza en el Stan Ackermans Institute de Eindhoven, Holanda (Reymen, 2001; Ivashkov y Van Overveld, 2002), actualmente en curso.

Se puede decir, para concluir, que las propuestas de modelos computacionales para el diseño aun es un campo en desarrollo que no muestra resultados concretos prácticos, pero que los avances realizados permite afirmar que en poco tiempo habrá resultados importantes.

3.2.3 diseño Conceptual

Ya se ha explicado que la fase inicial de desarrollo de un producto se suele denominar como diseño conceptual o etapa de síntesis del diseño. Ésta es considerada como la etapa donde la creatividad juega un papel determinante y, dados los objetivos de esta investigación, conviene precisar algunos elementos que ayuden a comprenderla mejor. En primer lugar es necesario decir que hay un acuerdo general en los investigadores que el diseño conceptual es una fase crucial en el desarrollo de productos, en particular cuando se trata de diseñar productos innovadores o cuando se quiere generar un diseño

completamente nuevo de un producto ya existente (Research Opportunities in Engineering Design, 1996; Horváth, 2000; Wang et al., 2002; Mulet, 2003). El impacto de las decisiones tomadas en esta fase son determinantes para el resto del proceso, hasta el punto que un pobre concepto de un producto es prácticamente imposible de mejorar en etapas posteriores. La Figura 3.14 muestra el comportamiento de diversos factores del proceso de diseño.

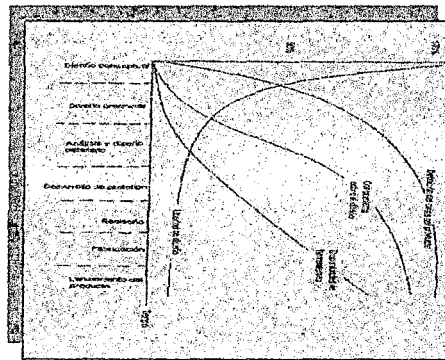


Figura 3.14 Tendencias de Factores durante el Proceso de Desarrollo de Productos

Fuente: (Research Opportunities in Engineering Design 1996) p.35

Desde el punto de vista metodológico, se entiende como la fase más temprana del desarrollo de un producto en la que se obtienen soluciones abstractas, generalmente incompletas, pero que se espera que satisfagan los requerimientos y especificaciones iniciales del problema.

Su objetivo, por lo tanto, es explorar las mejores alternativas para obtener uno o más conceptos de diseño que puedan utilizarse como base para desarrollar el producto en las subsiguientes fases.

Su significado epistemológico se deriva del latín *conceptus*: noción general sobre un conocimiento, impresión mental, idea abstracta y generalizable de un objeto o sistema. Mientras que la palabra *concepción*: comienzo del proceso de existencia, derivación o formación de una idea. Es claro, entonces, que el término *diseño conceptual* hace referencia a la etapa donde se conciben o donde nacen las ideas del sistema o elemento que solucionará un problema identificado.

Se acepta que esta fase depende de la creación de asociaciones contextuales entre conceptos intuitivos y aprendidos (contenidos en «paquetes» de conocimientos), de la aplicación de la intuición y la heurística en la solución cuasi-racional en un área determinada y de la exteriorización de las imágenes mentales en representaciones observables.

En el diseño conceptual se inicia con las especificaciones que circunscriben al producto deseado, los requerimientos técnicos, las condiciones de realización u las restricciones.

Todo ello se transforma en ideas funcionales, primeros principios de físicos y de trabajo, organizaciones estructurales y representación de las formas materiales para contrastarlas contra los requerimientos y efectuar pre-selecciones. Todo ello representado en la Figura 3.15, no sucede necesariamente en forma secuencial aunque sí mediante una sinergia difícil de analizar. Aunque se ha avanzado en muchos aspectos de la comprensión de estas actividades aun quedan muchas preguntas por contestar (Horvát, 2000).

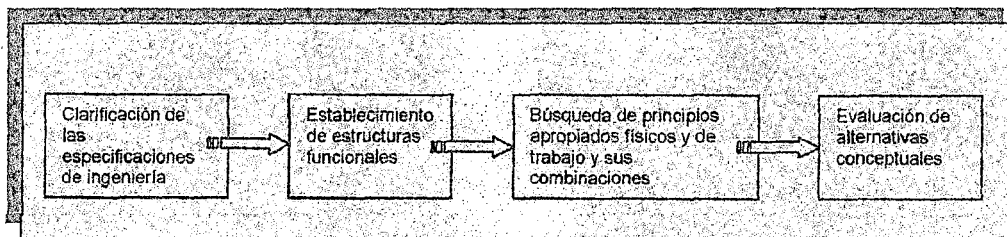


Figura 3.15 Etapas del Diseño Conceptual
Fuente: Desconocida

Se han desarrollado algunas técnicas que apoyan estas actividades, las cuales son expuestas en el siguiente apartado, como por ejemplo el FAST, el QFD, los diagramas de bloques funcionales, etc., pero aún parecen poco articuladas entre sí y no describen con prestancia la sinergia que un ingeniero de diseño desarrolla en su interior.

De la misma manera las herramientas computacionales de diseño creativo que se están desarrollando sobre la base de cuatro tipos de tecnología (estrategias de solución de problemas, algoritmos genéticos, razonamiento basado en casos y agentes), que parecen dar luces al respecto, pero que aun están en fase de consolidación y, sobre todo, lejos de ser reconocidos industrialmente como herramientas cotidianas.

3.2.4 Herramientas de Diseño Actuales

Se presenta aquí un breve resumen de las técnicas, métodos y herramientas que se han estado proponiendo como elementos de ayuda al desarrollo de productos. No siendo el objeto de esta investigación profundizar en ninguno de ellos, la presentación se limitará a explicar la parte formal de las principales tendencias actuales.

Tabla 3.3 Una Clasificación de Técnicas de Modelación Conceptual

Categorías	Técnicas o herramientas
Modelación funcional	<ul style="list-style-type: none"> • Multinivel • Basada en procesos • Basada en flujo de información • Basada en aspectos formales
Modelación basada en la gramática	<ul style="list-style-type: none"> • Por formas gramaticales • Por categorías de principios • Por catálogos de solución • Por catálogos de patentes
Modelación cualitativa de procesos	<ul style="list-style-type: none"> • "Bond Graphs"⁴ • Redes de Petri⁵ • Cualitativa física
Modelación cuantitativa de procesos	<ul style="list-style-type: none"> • Matemática • Simulación física
Modelación estructural simbólica	<ul style="list-style-type: none"> • Gráfica de atributos • Por relaciones espaciales • Por esquemas simbólicos • Cinemática
Modelación geométrica	<ul style="list-style-type: none"> • Esquemas asistidos por ordenador • Basadas en "esqueletos" • Modelación rápida de superficies • "Virtual Claying"⁶ y "real claying"
Técnicas de ideación	<ul style="list-style-type: none"> • Basada en casos • Basada en restricciones • Basada en características • Basada en analogías

Fuente: Horváth (2000)

Tal como lo señala Wang et al. (2002, p.983) existen dos enfoques o aproximaciones para clasificar las herramientas de diseño: el orientado al diseñador y el orientado al ordenador. En ambos casos el reto común es asistir la combinación de principios de trabajo para generar soluciones factibles, pero se diferencian en la manera de desarrollar el proceso.

En el primero, el diseñador tiene el control del proceso y utiliza las herramientas bajo sus propios criterios.

En el segundo enfoque, el ordenador simula la acción humana en forma cuasi-autónoma o autónoma de acuerdo a los principios de operación de su configuración.

Horváth (2000) presenta una grafica que representa las diferentes tendencias en el desarrollo de técnicas para el diseño conceptual, la cual se reproduce en forma de listado en la Tabla 4.2. Esas técnicas o herramientas están agrupadas en siete categorías diferentes en función del modo de operación de cada una de ellas.

Evidentemente los métodos conocidos a nivel empresarial corresponden a combinaciones de algunas de aquellas técnicas y en esta sección se hace una rápida prestación de las más representativas dentro del enfoque orientado al diseñador, dejando para el capítulo 3 la presentación de técnicas enfocadas al ordenador.

Diseño colaborativo

Se puede reconocer una tendencia muy actual hacia el denominado «diseño colaborativo», este es, el diseño desarrollado por un equipo interdisciplinario tanto en ambientes presénciales como virtuales.

Allí se aprecia la necesidad de ampliar la base del conocimiento que normalmente ha sido muy específico a la disciplina del diseñador, para requerirse ahora una base de conocimiento de dominio no específico o «domain-independent design knowledge», que logre integrar en forma eficiente las diferentes disciplinas que intervienen en el proceso de diseño. Indudablemente, que esta tendencia se acentuará en el futuro inmediato, habida cuenta del rápido desarrollo de las TIC, como herramienta de comunicación

Se trata de una respuesta obvia a la complejidad y demanda creciente que implica el diseño de productos competitivos a nivel internacional, al interés de las empresas por racionalizar sus actividades y por tener una cobertura mundial. Una de las respuesta más evidente es la tendencia de todos los productores de software CAD de integrar herramientas para la gestión del diseño colaborativo en red, tal como será presentado en el capítulo 4.

QDF

El QFD es el acrónimo de «quality function deployment» o despliegue de la función calidad, es un método desarrollado en 1972 por Yogi Asao en Kobe, Japón, aunque solo a partir del año 1986 se hace conocido a nivel europeo y norteamericano.

Su objetivo es establecer una forma sistemática de capturar y procesar las necesidades reales del mercado de tal manera que conduzcan todo el proceso de diseño. Su trasfondo filosófico se suele resumir en la frase «la voz del cliente» como elemento fundamental del diseño

Para su desarrollo se conforman cuatro matrices principales: la planificación del producto (la más conocida, llamada «la casa de la calidad»), la planificación de piezas, la planificación del proceso y el control de calidad. La primera busca hacer una traducción de las demandas del cliente a términos técnicos, y lógicamente se inicia con la recolección de información de los clientes (regularmente por encuestas) para luego clasificarlas (o estructurarlas) por prioridades. Aquella estructura jerarquizada de necesidades es convertida a parámetros técnicos cuantificables y luego se establece el grado de relación entre ellas.

La segunda matriz busca relacionar los requerimientos del producto con los subsistemas y piezas que pueden conformar un concepto de solución. Esto significa que entre la primera matriz (la casa de la calidad) y ésta segunda se desarrolla la etapa de conceptualización del diseño, incluyendo una primera fase de evaluación y selección de alternativas.

En la tercera matriz se realiza la planificación del proceso de fabricación, donde también debe realizarse una selección de alternativas, mientras que en la cuarta y última se hace una planificación de los procesos de control de calidad.

Existe mucha literatura actualmente que trata el tema (Alcaide, Diego y Artacho, 2001; Barba, 2001; QFD Institute, 2000), por lo que aquí solo nos limitamos a esbozar sus principios y su relación con ingeniería del diseño.

Análisis Funcional y del Valor

El método de análisis funcional propuesto inicialmente por Lawrence Miles con el fin de reducir costes, busca identificar e independizar la acción que debe ejecutar el producto del producto mismo. Con ello se pretende encontrar otras formas de realizar la función.

Es claro que los productos en general buscan cada vez más cumplir múltiples funciones. Además, las funciones que los usuarios perciben como útiles generalmente están subordinadas a otra serie de funciones que se suelen llamar funciones técnicas. Esto significa que el método además de identificar las funciones debe clasificarlas. Todo ello conduce a la construcción del llamado árbol de funciones, que no es otra cosa que la representación gráfica de las funciones y de su interrelación.

Algunos prefieren utilizar otro tipo de gráfico denominado diagrama FAST (análisis funcional de sistemas técnicos), el cual facilita la identificación de relaciones y dependencias entre funciones.

El análisis del valor, por su parte, tiene como objetivo mejorar el valor percibido del producto mediante el análisis de sus funciones y los costes asociados a cada una. Se sustenta el método en la filosofía de que el cliente no busca un producto determinado sino la satisfacción de una necesidad, la cual se logrará mejor si el valor percibido del producto (entendido como la relación entre los beneficios aportados frente a sus costes) es más grande.

Análisis Modal de Fallos y Efectos, AMFE

Es un método desarrollado inicialmente en los ámbitos militares y que posteriormente se adoptó a nivel empresarial. Su objetivo es evaluar la fiabilidad de un producto y determinar el efecto de los fallos de los diferentes componentes. Asociado a la actividad de diseño, un fallo significaría el no cumplimiento de alguna especificación de diseño. Aunque se suele realizar en las etapas finales del proceso de diseño, resulta conveniente familiarizarse con el concepto de fallo desde las etapas tempranas, donde las decisiones pueden ser revaluadas sin necesidad de recurrir a grandes transformaciones.

El AMFE debe tener como propósito que el equipo de diseño pueda identificar los componentes críticos en la obtención de un producto seguro, fiable y de calidad.

Diseño por factores, DfX

Los métodos DfX (del inglés «design for X») se proponen con el fin de centrar el objetivo del diseño en algún factor X que la empresa considere relevante. En general el concepto de DfX suele estar relacionado con estrategias de la ingeniería concurrente.

Se suele hablar de diseño para: la fabricación, el ensamblaje, el mantenimiento, la fiabilidad, la seguridad, el medio ambiente, la reutilización, el reciclaje; para mencionar solamente los más relevantes. Con ello se enfatiza en el enfoque que la empresa quiera darle a sus productos como elemento diferenciador de la competencia y de valor añadido, además de reducción de costes y aumento de flexibilidad en los procesos de producción

¿Quiénes Investigan en Diseño y sobre qué Temas?

Se presenta a continuación algunos de los centros o grupos de investigación en ingeniería del diseño más importantes del mundo, con el objetivo de mostrar las tendencias de investigación. No se trata de una lista acabada con todos los centros relevantes, sino solo *una muestra de los más representativos*.

Design Methodology Group

Este grupo de investigación que hace parte de Departamento de Innovación y Gestión del Producto de la TU Delf University (Lloyd, 2004), desarrolla investigaciones en todos los aspectos del proceso de diseño, y muchos de sus trabajos se han convertido en referentes a nivel mundial. Es el caso de los estudios empíricos de diseñadores usando el método de análisis de protocolo, catapultado como el método de investigación experimental más utilizado actualmente gracias al «workshop» de 1994 organizado por uno de los integrantes de este grupo, el profesor Nigel Cross, que dio origen al libro *Analysing Design Activity* (Cross, 1996) utilizado como referencia en la mayoría de las investigaciones sobre diseño, incluyendo ésta misma.

También se pueden señalar como trabajos de referencia mundial los realizados por los profesores Norbert Roozenburg y Johan Eekels recopilado en el libro *Product Design: Structure and Methods* (1991) y, más recientemente, la organizada por Meter Lloyd y Henri Christiaans (2002).

La línea de investigación que este grupo adelanta actualmente es la de «Comunicación en diseño y práctica reflexiva», que se centra en la actividad del diseño en el nivel social, particularmente en aspectos de la comunicación del diseño. Se enfatiza en la idea de la práctica “reflexiva” como la manera de mirar la acción práctica del diseño. Se han definido cuatro contextos dentro del proceso de diseño de producto:

- Contexto creativo. Se analizan la función de las reuniones creativas tales como el brainstorming y la visión por escenarios, para potenciar el ciclo de aprendizaje y de compartición de la comprensión y visión del diseño durante la fase creativa del proceso.
- Contexto de diseño. Se estudian los mecanismos de comunicación entre diseñadores durante el proceso de desarrollo del producto. Allí confluyen aspectos tales como la forma narrativa de descripción, la toma de decisiones, los aspectos éticos y la percepción estética. Se estudia cómo tales aspectos se relacionan con la experiencia en diseño.

- El contexto del negocio. Se observan las estructuras conceptuales que los equipos de diseño utilizan en la práctica, la forma de compartir su visión y comprensión y enfoque de solución del problema de diseño.
- El meta-contexto. Se examinan los conceptos teóricos de diseño y la manera en que los diseñadores los usan cuando debaten sobre el tema.

Key Centre of Design Computing and Cognition

Se encuentra adscrito a la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Sydney y es reconocido internacionalmente como un centro de investigación y enseñanza en campos de diseño por ordenador y cognición en diseño, siendo sus principales representantes los profesores John Gero y Mary Lou Maher, ampliamente conocidos en el mundo del diseño (KCDC, 2003).

Actualmente el grupo está compuesto por doce investigadores. Ha publicado más de 40 libros y 600 comunicaciones en congresos y reportes en revistas internacionales. Publica una revista especializada denominada «International Journal of Design Computing» (KCDC, 1997).

Desde el año 1995 el grupo ha organizado un gran número de eventos internacionales («workshops», conferencias, simposios, etc.) en temáticas que varían desde el razonamiento visual-espacial en diseño, diseño asistido por ordenador, modelos computacionales de diseño creativo, diseño en la red, diseño y cognición e inteligencia artificial en diseño.

Las líneas de investigación de este grupo son, principalmente:

- Inteligencia artificial en diseño.
- Soporte informático para el diseño colaborativo.
- Cognición en diseño.
- Arquitectura virtual.

Knowledge-as-Media Reserach Group, KasM

Este grupo de investigación se encuentra adscrito al Instituto Nacional de Informática de Japón. Su objetivo principal es investigar temas relacionados con el intercambio de conocimiento, tanto en la comunidad de ingenieros, como en la ontología y los meta-datos en ingeniería. Su base filosófica tiene que ver con el hecho de que el conocimiento no es algo que deba mantenerse en la mente del individuo, sino algo que la persona consigue a través de su interacción con otros (National Institute of Informatics, 2004).

En la actualidad el grupo está compuesto por siete investigadores, dentro de los que destaca el profesor Hideaki Takeda, quien ha realizado aportes importantes en el campo de la modelación de la etapa de síntesis dentro del proceso de diseño.

Sus principales proyectos actuales son:

- **Semblog.** Consiste en el desarrollo de un software tipo suite para publicación de conocimiento, que provea un ambiente integrado para la distribución de pequeños contenidos y para facilitar la interrelación entre profesionales.
- **CICSS:** Colección e integración de conceptos de sistemas mediante la semántica de webs. El objetivo es proveer una infraestructura que pueda utilizarse para generar nuevos requerimientos para conceptualización mediante la combinación de sistemas conceptuales ya existentes. Con ello podría plantearse una solución a problemas como por ejemplo la clasificación inteligente de la gran cantidad de información a la que se puede acceder por Internet.

- Soporte al diseño por abducción creativa. Se busca establecer una estructura para el proceso de diseño. Para ello se investiga la fase de síntesis del diseño, relacionándolo con la abducción, con lo cual es posible traducir el modelo para soportar el proceso con ordenador.

Center for Design Research, CDR

El CDR es un centro de investigación adscrito a la Universidad de Stanford, Ca., enfocado en la comprensión y el desarrollo de la innovación en ingeniería y la educación en diseño (Standord University, 2004). Sus objetivos se orientan a potenciar la creatividad individual, comprender el proceso de diseño en equipo y desarrollar herramientas avanzadas y métodos que promuevan el diseño de productos. Está dirigido por personas de alto nivel como son Larry Leifer, Mark Cutkosky, Sheri Sheppard, entre otros. Algunas de las empresas patrocinadoras de este grupo son: Apple computers, BMW, Boeing, Ford Motor, General Electric, Hewlett-Packard, IBM, etc., lo cual es un indicador de la relevancia del centro. Para el desarrollo de sus funciones cuenta con cinco laboratorios de investigación altamente especializada: investigación en diseño, bio-mimética, educación en ingeniería, diseño dinámico, disección mecánica.

El laboratorio de investigación en diseño desarrolla actividades relacionadas con teorías y metodologías de diseño, y educación en la ingeniería y el diseño. Está dotado con todos los elementos necesarios para observar los procesos desarrollados por equipos de diseñadores in-situ. Los estudios que realiza se enfocan en la dinámica de equipos, liderazgo, espacios de diseño, tecnología colaborativa para la administración, el intercambio y la reutilización del conocimiento. Es posible realizar mediciones objetivas del comportamiento de los diseñadores individuales o en equipo, bajo varias condiciones metodológicas y utilizando una variedad de herramientas informáticas.

Las líneas de investigación del CDR son:

- Evaluación de la integridad estructural de sistemas.
- Modelación de sistemas.
- Ambientes virtuales de diseño.
- Robots biomiméticos.
- Telemanipulación.
- Dinámica de vehículos.
- Sistemas de asistencia a la conducción.

Algunos de sus proyectos actuales son:

- **iLoft.** Proyecto que consiste en el desarrollo de un espacio físico de alta tecnología para soportar equipos que trabajen bajo el enfoque de ingeniería distribuida.
- **DIDET:** «digital libraries for global distributed innovative design, education and teamwork ». Proyecto que busca desarrollar, implementar y utilizar una celda de pruebas para mejorar la el proceso enseñanza-aprendizaje de estudiantes que participan en proyectos basados en equipos globales y combinar el uso de librerías digitales con estudios virtuales de diseño.
- **CAEE:** «Center for the advancement of engineering education». Como lo indica su nombre busca incrementar el uso de pedagogías efectivas en las aulas de clase de ingeniería, que potencien el liderazgo y la investigación de los estudiantes.

- **RISE: «Robotics in sensorial environments».** Es un proyecto colaborativo con las universidades de Michigan, Carnegie Mellon, U. de California en Berkeley, Lewis y Clark y la empresa Boston Dynamics. El objetivo es desarrollar un robot que pueda escalar ágilmente, basado en principios biológicos de animales que pueden hacer esta función

Design Institute, ID

Adscrito a la Universidad de Illinois, este instituto se reconoce como líder en la enseñanza sistémica del diseño centrado en el usuario, para lo cual trabaja alrededor de cuatro tipos de factores humanos: físicos, cognitivos, sociales y culturales (Illinois Institute of Technology, 2003).

Líneas de investigación:

- **Teoría y metodología general del diseño y sus aplicaciones.**
- **Suporte a la definición temprana del producto.**
- **Sistemas interactivos: interfases re-configurables e interacción física.**
- **Modelo de representación de los factores culturales en sistemas interactivos de diseño.**

- **Comprensión del procesamiento de información a través del estudio del usuario.**
- **Búsqueda de información.**
- **Uso de información multimodal.**
- **Aprendizaje a través de la información.**

Design Concept Group

Perteneciente al Instituto tecnológico de Massachussets, el DCG desarrolla proyectos de investigación de alto nivel en diseño, de los cuales destacan:

- **Viper.** El objetivo de este proyecto es estructurar el proceso visual en la búsqueda y construcción de espacios digitales compartidos entre representaciones del usuario y los datos requeridos para el proceso. Se sustenta en principios fisiológicos y cognitivos de la visión y la memoria para construir una estructura que permita extender el espacio de visión.
- **Wall.** Este proyecto está relacionado con el desarrollo de un procedimiento informático que configure un espacio adecuado de intercambio de conocimiento.

- **WPoF Database.** Esta investigación explora posibles mejoras a los ambientes de trabajo cooperativos que tomen ventaja de los avances en las tecnologías de la información.
- **Boeing Interior design.** Se trata de crear un diseño interior de los aviones que sea flexible y adaptable, que responda de manera inteligente a los comportamientos de los individuos teniendo en cuenta los contextos sociales y climáticos.

Clemson's Research in Engineering Design and Optimization

Este grupo de investigación pertenece a la Universidad de Clemson en Carolina del Sur (Clemson University, 2004) y desarrolla investigaciones en dos áreas principales: metodología y optimización del diseño y prototipado rápido y virtual. Algunas de los tópicos de sus investigaciones son:

- **Metodología del diseño .**
- **Diseño colaborativo y distribuido.**
- **Herramientas de diseño por realidad virtual.**

- Diseño multimaterial.
- Optimización de diseño multicriterio, multiobjetivo y multidisciplinario.
- Prototipado rápido.
- Diseño de vehículos.

Ideas Lab, Centre for Product Design and Manufacturing

Este laboratorio de investigación se encuentra adscrito al Centro para el diseño del producto y la manufactura (CPDM) del Instituto Indio de la Ciencia (Indian Institute of Science, 2004). Sus temas de acción están relacionados con la creatividad en diseño y la innovación, el prototipado virtual y físico, la administración de conocimiento y la sostenibilidad en diseño

Sus líneas de investigación son:

- Diseño para el medio ambiente .
- Creatividad .
- Diseño colaborativo .
- Bio-imitación .
- Eco-diseño.

Actualmente desarrollan proyectos investigación relacionados con la creatividad en el diseño conceptual, diseño colaborativo distribuido, síntesis de sistemas mecánicos por bio-imitación y evaluación temprana del impacto ambiental de productos.

Grupo de Ingeniería del Diseño

Este grupo de investigación se encuentra adscrito a la Universidad Jaime I, de Castellón, España (Universitat Jaume I, 2003). Sus temas de investigación giran en torno al proceso de diseño y al eco-diseño. Ha publicado un número importante de artículos y ponencias en congresos internacionales especializados. Dentro de los proyectos que actualmente desarrolla se puede citar:

- Desarrollo e implementación de una arquitectura multiagente para la asistencia en el diseño de productos.
- Modelización descriptiva y análisis experimental de la efectividad del proceso de diseño creativo.
- Diseño de muebles más respetuosos con el medio ambiente.

- **Desarrollo de bases de datos y herramientas gráficas para el ecodiseño de muebles.**

Centro CID

El Centro de Innovación y Desarrollo Conceptual de Nuevos Productos se encuentra adscrito a la Universidad de Girona. Aunque no se puede identificar como un centro de investigación propiamente dicho, tiene algunas líneas que tiene relación directa con el estudio del diseño. Estas son:

- **Diseño conceptual y de sensaciones.**
- **Proceso de diseño y desarrollo de producto.**
- **Innovación competitiva de productos de consumo.**

Salvo la primera, las otras son de tipo genérico y básicamente de apoyo a la prestación del servicio de diseño ofrecido a las empresas de la región.

Equipo Generador de Idea

Del Departamento de Proyectos de la Universidad Politécnica de Cataluña, este equipo tiene por objetivo el apoyar proyectos de innovación de producto propuestos por el sector productivo, en particular pequeñas y medianas empresas.

Su metodología de trabajo incluye la realización de sesiones con aplicación de técnicas de creatividad que permitan llegar a propuestas con un alto componente de novedad, que sean patentables y representen para la empresa un valor diferenciador en el mercado.

Otro objetivo es el de estimular la creación de equipos generadores de ideas (EGI) dentro de las propias empresas, ya no para realizar acciones puntuales, sino como un equipo establecido de funcionamiento continuo (Lloveras, 2001)

3.3 Análisis del Producto vs Decisiones sobre el Diseño

Cierto es que en la actualidad la problemática del diseño se aborda en base a recursos informáticos que permiten al diseñador el crear el elemento de forma virtual y verificar sus dimensiones y posibilidades de integración en conjuntos mayores de forma "casi real" y muy interactiva, pero las facilidades que los soportes informáticos nos ofrecen no deben eclipsar ni minimizar la importancia de otras decisiones en el proceso de definición de cada elemento a fabricar, sino todo lo contrario ya que al disponer de herramientas que facilitan el proceso de diseño "geométrico" el técnicoartista dispone de mas tiempo y opciones para verificar las posibilidades que cada opción de materiales y procesos de fabricación ofrece.

De esta forma se debe considerar que una gran parte del tiempo que se puede ahorrar en el proceso de "dibujo" y definición geométrica y parametrización de los elementos físicos no es tiempo que se ahorra en su totalidad sino que es tiempo que debe ser reinvertido en el análisis pormenorizado de las posibilidades que se pueden presentar y de esta forma mejorar y depurar más si cabe la definición de todos los elementos. Cada vez toman más relevancia, además de los aspectos clásicos como son los económicos (el coste de fabricación de cualquier ítem debe minimizarse siempre que sea posible), estéticos (hacer lo cotidiano bello) y funcionales (debe servir para lo que inicialmente se diseña ..., si además sirve para otras cosas entonces "mejor que mejor"), aspectos hasta hace poco no muy tenidos en cuenta: mantenibilidad, ecología, seguridad, durabilidad, ...[45]

Consideraciones

El desarrollo de productos es casi siempre una actividad interminable y cíclica. Cada nuevo producto acabado proporciona a su vez la base para la siguiente secuencia de desarrollo (*ver fig.3.16*)

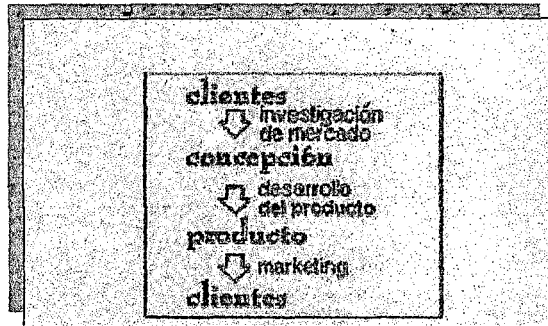


Figura 3.16

Fuente: (Troncoso y Alonso, Análisis del Producto vs Decisiones sobre el Diseño, España) p. 3

Un desarrollo de producto incluye varios aspectos de la investigación, planificación de operaciones y diseño del producto, que implican necesariamente a distintos departamentos (y no solo a diseño): marketing, producción, aprovisionamiento, métodos, ... y está íntimamente controlado por la Dirección de la empresa. En la siguiente tabla se muestran de forma esquemática las etapas de desarrollo de producto simplificadas en operaciones:

Tabla 1: Fases de desarrollo de producto.

Fase	Resultado de la fase
Investigación	Análisis del mercado Análisis de las tácticas de los competidores Hechos sobre ideas y patentes de posibles nuevos productos importables Cálculo preliminar del producto
Desarrollo de la concepción del producto	Especificaciones, tal vez diversificadas para distintos mercados Concepción preliminar del producto Diseño preliminar del producto Cálculos del producto (soluciones técnicas) Concepción de la producción (¿Dónde? ¿Qué partes se compran?)
Desarrollar el producto y el proceso de producción	El diseño está finalizado Prototipos Despiece inicial Especificaciones para componentes Decisión de materiales y procesos de fabricación Plan preliminar de producción Planos detallados y hojas de características Patente de las innovaciones en el momento apropiado
Preparación final del diseño y el proceso de producción	Elementos estándares comerciales (proveedores) Elementos a fabricar (producción propia o subcontratada) Los primeros productos se hacen en la cadena de producción y su calidad es comprobada Se forma a los trabajadores El equipo de producción está listo para la velocidad final de la producción (que se somete a comprobación) La organización de marketing y posventa está lista
Producción regular	(Existen objetivos específicos para la producción regular que no se abordan aquí)

Fuente: (Troncoso y Alonso, Análisis del Producto vs Decisiones sobre el Diseño, España) p. 3

Con el fin de economizar el proceso de fabricación y montaje de cualquier conjunto una de las premisas a cumplir, siempre que nos sea posible, es el utilizar elementos comerciales y lo mas estándares posible ya que de esta manera se facilitan los aprovisionamientos, se aumenta el número de proveedores potenciales al mismo tiempo que se ahorran costes ya que al aumentar la oferta los márgenes de estos se acortan, y, lo que no es menos importante, se facilita la existencia de repuestos.

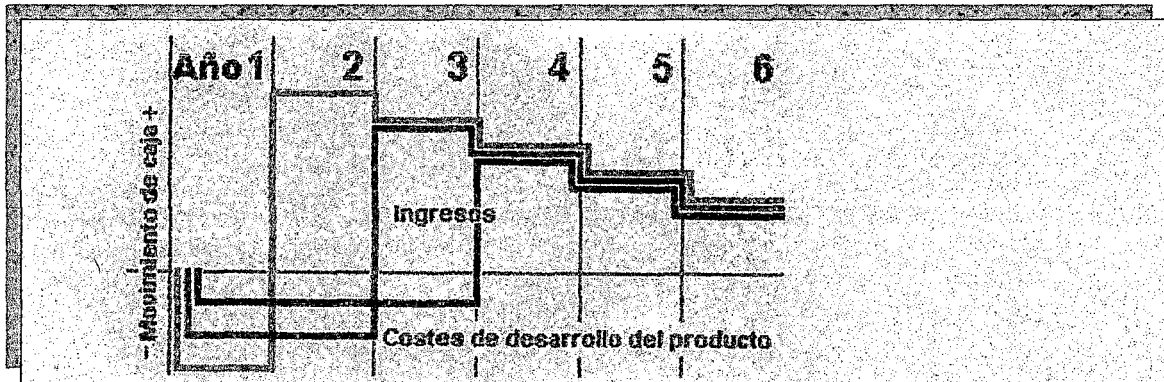


Figura 3.17

Fuente: (Troncoso y Alonso, *Análisis del Producto vs Decisiones sobre el Diseño*, España) p. 4

Además el desarrollo de un producto debe estar bien organizado porque lo habitual es que no haya tiempo que perder. "El rápido se come al lento". La compañía que lanza un producto antes que sus competidores, siempre que este sea 'correcto', logrará beneficios durante un tiempo de ventas más largo antes de que tenga lugar el envejecimiento comercial del producto (véase, en el diagrama la línea superior). Además, el precio inicial, más alto, del producto nuevo producirá más beneficios que los que puedan proporcionar los productos tardíos de los competidores más lentos (líneas intermedia e inferior). Precisamente por esto es por lo que si se puede recurrir a un elemento estándar ya existente en el mercado se ahorra tiempo, y por consiguiente dinero, en la disponibilidad del mismo.

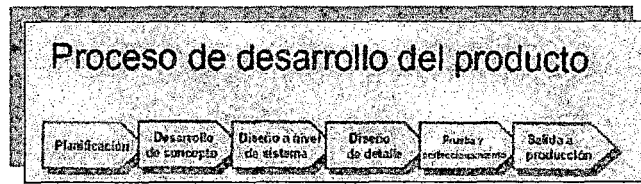


Figura 3.18

Fuente: (Troncoso y Alonso, *Análisis del Producto vs Decisiones sobre el Diseño*, España) p. 4

Desarrollo de un Nuevo Producto

El proceso de desarrollo de un producto normalmente incluye, como cualquier otro proyecto, la gestión habitual de proyecto: tras cada estadio, se informa del proyecto a la Dirección y se reciben objetivos para el siguiente estadio. Si la Dirección quiere controlar el trabajo muy estrechamente, la vía normal es posponer el comienzo de la siguiente fase hasta que la precedente esté aprobada. Este tipo de programación se muestra en el diagrama de abajo. Las flechas indican las acciones de dirección llevadas a cabo por los gestores.

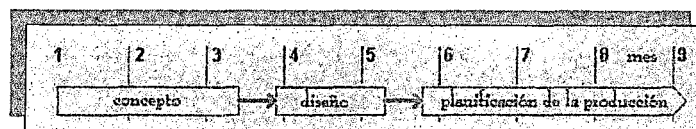


Figura 3.18

Fuente: (Troncoso y Alonso, *Análisis del Producto vs Decisiones sobre el Diseño*, España) p. 5

La programación sucesiva de un proyecto de desarrollo lleva una gran cantidad de valioso tiempo. Esto es por lo que en ocasiones se usa una alternativa en que las fases se solapan ("*ingeniería concurrente*"). Este método se usa también en la tabla de arriba, donde, por ejemplo, el diseño de producto se divide en dos estadios: preliminar y final.

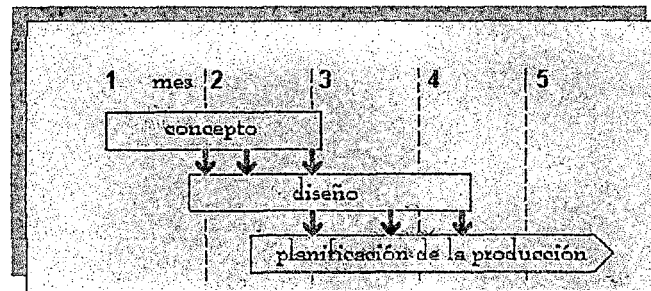


Figura 3.19

Fuente: (Troncoso y Alonso, *Análisis del Producto vs Decisiones sobre el Diseño*, España) p. 5

El procedimiento exacto del desarrollo de producto depende de la naturaleza del producto, de la extensión de la producción y de muchas circunstancias locales. Especialmente inconstante es la fase del planeamiento de producción debido a los múltiples factores que influyen en ella. Algunas operaciones lógicas se repiten en la mayoría de los proyectos, sin importar la especie del producto que resulta. Es claro que la actividad *dominante* en las fases iniciales del proyecto es análisis, mientras que en el punto medio del emprendiendo el punto focal se pasa en síntesis y finalmente en evaluación.

Estas tres técnicas por lo tanto se seleccionan como la estructura en la presentación siguiente.

Por supuesto, el proceso del desarrollo de producto es raramente tan sencillo que podría consistir en simplemente una sucesión de apenas tres fases. En lugar sucede a menudo que cuando una subrutina en el proceso ha producido un informe que se parece acabado, sin embargo resulta ser inaceptable y tiene que hacerlo de nuevo, quizás otra vez como sucesión del análisis, de la síntesis y evaluación, en una escala más pequeña. El proceso entero puede asemejarse a menudo a un espiral (*fig.6*) que se acerca a la meta alternando las operaciones.

Decisiones del Producto

Como es lógico el diseñador va asumiendo a lo largo del desarrollo del producto decisiones que le van a restringir las siguientes decisiones. Empezando por las dimensiones generales (normalmente predefinidos por las exigencias futuras de uso), forma de las piezas (macizas, huecas, con/sin nervios, ...), acabados (pulidos, brutos, color, ...), ... y en general otros que pueden tener una importancia muy considerable en los tiempos y costes de fabricación: materiales (plásticos, metálicos, cerámicos, ...), dependiendo del material tendremos métodos y procesos de fabricación (no será lo mismo la fabricación de un componente metálico que el mismo componente en material plástico).

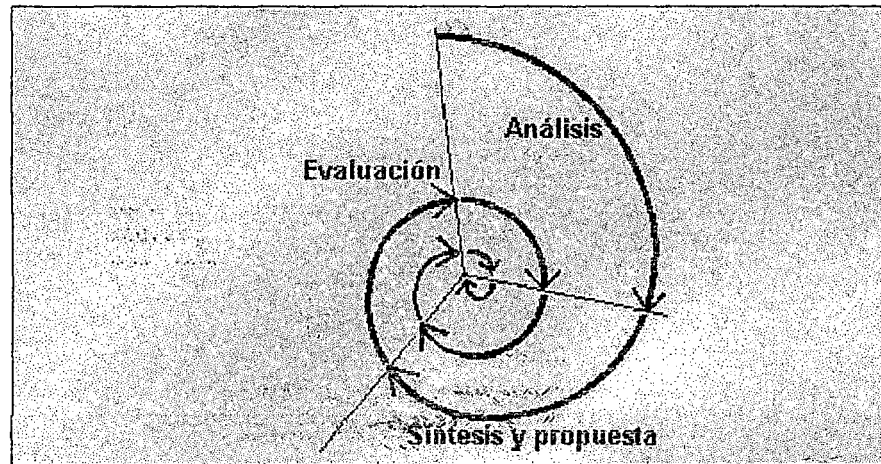


Figura 3.20

Fuente: (Troncoso y Alonso, *Análisis del Producto vs Decisiones sobre el Diseño*, España) p. 6

Cada una de estas decisiones conlleva la necesidad de que el diseñador tenga conocimientos sobre las posibilidades que cada opción ofrece (ventajas e inconvenientes, materiales de partida que nos pueden suministrar los proveedores, costes, durabilidad, versatilidad, acabados posibles, estética, ...) considerando en todo caso los límites que cada una tiene. Resulta mas que evidente que no será lo mismo fabricar componente en madera, que en una aleación metálica ligera o usando un polímero sintético sabiendo que cada cual tiene unas características físicas (y químicas) diferentes y que debe ser "trabajado" por unos procesos de fabricación específicas, así como ejemplo no resulta factible diseñar una pieza que queremos que sea realizado en madera y que deseamos que se fabrique por medio de inyección y moldeo (lo que si podría realizarse en el caso de plásticos o metales).

Por el contrario si el proceso deseado es de arranque de virutas el material podría ser en el caso general metálico, madera o plástico.

Por otro lado dependerá de los materiales y procesos elegidos los tiempos de elaboración y procesado. Además las tolerancias geométricas dimensionales que podríamos tener en cada una de las piezas también vienen en gran modo limitadas por las características de los procesos de fabricación elegidos y desde luego por los materiales seleccionados. Pero antes de decidir como fabricar y en que material la decisión que se debe tomar es si el elemento en cuestión se va a fabricar o si se puede recurrir a una pieza comercial que ya exista en el mercado y que cumpla las especificaciones y requisitos técnicos y estéticos solicitados a un precio asequible, lo que nos facilitaría la estandarización y el tener repuestos de esta pieza en cualquier momento.

También debe tenerse en cuenta la mantenibilidad del elemento en el futuro y la posibilidad de disponer de "piezas" cuando sea preciso (a un coste asequible se entiende). Y cada vez reviste mayor importancia el tema de la seguridad y de la ergonomía, no solo desde el punto de vista del usuario final (potencial cliente) sino también dentro de los propios procesos de fabricación dentro de las instalaciones industriales: menos contaminantes, disminución de residuos, menores pesos, menos manipulaciones y cargas, menos ruidos, ...

En este punto se podría citar como ejemplo la sustitución de remaches por el uso de pernos autoroscables que no hacen tanto ruido en su aplicación, al mismo tiempo que disminuyen los residuos, son reutilizables y facilitan el montaje y desensamblado y la restitución a su situación si fuera necesario en una actividad posterior de mantenimiento.

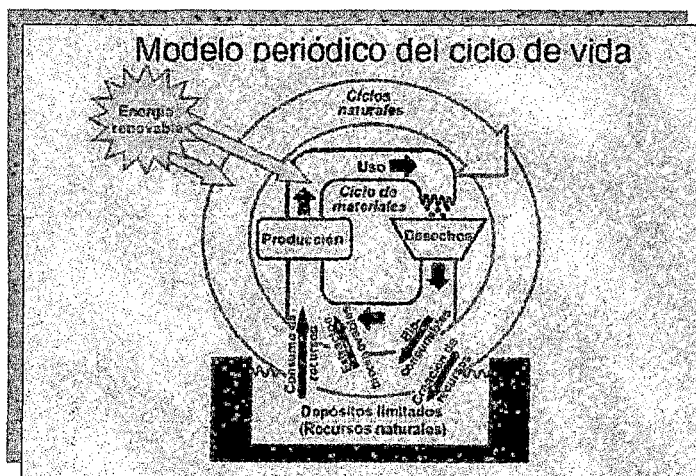


Figura 3.21

Fuente: (Troncoso y Alonso, Análisis del Producto vs Decisiones sobre el Diseño, España) p. 7

Respecto a materiales una de las consideraciones mas importantes actualmente es la ecología, ya que se elige uno u otro material en aras de una menor contaminación ambiental (uso del PET en sustitución del PVC por sus beneficios medioambientales; o sustitución de maderas nobles por polímeros sintéticos de acabados similares para preservar las selvas tropicales), menos desechos, mayor reutilización, reciclado,.... El ecomarketing es ya una realidad y el diseñador no debe pasar por encima la importancia que la decisión de uso de un material u otro comportará en un futuro al elemento que se está diseñando. Después una vez decidido que el elemento no existe y que se debe fabricar deberemos optar por abordar la fabricación propia o por la subcontratación a terceros para incorporar posteriormente las piezas ya elaboradas a proceso de montaje, esta decisión vendrá marcada por la disponibilidad de recursos propios para afrontar los procesos de fabricación, por la capacidad productiva (pudiera ser que los recursos propios resulten capaces pero insuficientes para cubrir nuestra propia demanda) y/o por los costes finales (precio unitario por ítem fabricado comprado o fabricado).

Una vez decidido a fabricar (por propios medios o subcontratando), usando como base las dimensiones (y tolerancias admisibles) se deberá determinar el material y el proceso por el cual se obtendrá la pieza buscada, teniendo en cuenta las características técnicas del material seleccionado y buscando la opción económicamente viable que mejor resultado medioambiental nos pueda ofrecer.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración del presente trabajo se levantó información de la Web, así como de libros y revistas relacionadas con el tema. Aplicándose el método descriptivo.

5. RESULTADOS

Los estudios sobre el proceso de diseño, entre otras cosas, ha dejado como resultado un sin número de propuestas para representarlo (modelos descriptivos), para realizarlo (modelos prescriptivos), para entenderlo (modelos cognitivos) y para «automatizarlo» (modelos computacionales); además de la gran cantidad de técnicas y herramientas que sirven para asistirlo. Aún así, se puede afirmar que el desarrollo ha sido desequilibrado.

El proceso de diseño se suele subdividir en dos clases de acciones mentales: el análisis y la síntesis. Los sistemas de apoyo al diseño se han centrado especialmente en el análisis, incluso se puede decir que los currículos académicos de la ingeniería se sesgan hacia esa misma tendencia, dejando a la síntesis un tanto en el aire, bajo el supuesto de que la experiencia y el conocimiento del ingeniero de diseño son suficientes para desarrollarla con éxito. Sin embargo, las exigencias del mundo globalizado actual, por productos cada vez más competitivos, más creativos, más innovadores, han desvelado la necesidad de que la etapa de síntesis, aquella en la que la creatividad juega papel fundamental, sea mejor asistida. Este reconocimiento ha dado lugar a nuevas tendencias de las investigaciones en la ingeniería de diseño.

6. DISCUSIÓN

El desarrollo de productos es una actividad interdisciplinaria que requiere de la colaboración de casi todas las funciones de una empresa; no obstante tres funciones son casi siempre esenciales a un proyecto de desarrollo de productos: mercadotecnia, diseño y manufactura. . [46]

En el proceso de diseño y definición de un objeto el diseñador no debe limitarse tan solo a la definición geométrica del mismo con sus cotas dimensionales y tolerancias admisibles, sino que se deben tener en cuenta aspectos que cada vez revisten mas importancia y que con demasiada frecuencia se tienen en poca consideración como son la seguridad en el uso y en el montaje, la ecología y el medio ambiente, minimizando residuos y favoreciendo la reutilización y el reciclaje, y El coste total (material + operaciones) y el tiempo necesarios para su fabricación, precisamente el tener en cuenta estos aspectos implica en la mayor parte de los casos la redefinición de las dimensiones y tolerancias geométricas iniciales.

No debemos olvidar que las características finales del producto son transcendentales para su éxito ya que son la forma con que el producto satisface las demandas y necesidades. Y el éxito del producto es fundamental en el éxito de la industria y por ende del país que lo aplica. [47]

7. REFERENCIAS

1. "Engineering", Encyclopaedia Britannica, Multimedia Edition, 1998.
2. Dieter, George Ellwood, Engineering design: a materials and processing approach, McGraw-Hill, New York, 1991.
3. Koen, Billy Vughn, El método de ingeniería, U. del Valle – ACOFI, Bogotá, 2000.
4. Wright, Paul H., Introducción a la ingeniería, Addison Wesley, Wilmington, Del., 1994.
5. Krick, E.V., Introducción a la ingeniería y al diseño en la ingeniería, Limusa, México, 1997.
6. Munich, L. y Ernesto Ángeles, Métodos y Técnicas de investigación para administración e ingeniería, Trillas, México, 1988.
7. Grech, Pablo, Introducción a la Ingeniería. Pearson Educación, Bogotá, 2001.
8. Baeza-Yates, Ricardo et al., Modern Information Retrieval, ACM Press, New York, 1999.
9. Schenk, Margaret T. and James K. Webster, What Every Engineer Should Know About Engineering Information Resources, Marcel Dekker, New York, 1984.
10. Suthersan, Sutahn S., Remediation Engineering Design Concepts, CRC Press, New York, 1999.
11. Ulrich, Karl T. and Steven D. Eppinger, Product Design and Development, McGraw-Hill, New York, 1999.
12. Norman, Donald, The Design of Everyday Things, MIT Press, Boston, 2001.
13. Sheldon, Cheney, Art and the Machine. An account of industrial design in 20th - century America, Books on Design, Philadelphia, 1992.
14. Erden, Abdülkadir, Engineering Design, Lecture Notes, METU Publications, Ankara, 1998.
15. Dixon, John R., Diseño en ingeniería: inventiva, análisis y toma de decisiones Limusa-Wiley, México, 1970.
16. Middendorf, William, What Every Engineer Should Know About Inventing, Marcel Dekker, New York, 1996.
17. Krick, Edward V., Fundamentos de ingeniería. Métodos, conceptos y resultados, Limusa, México, 1999.
18. Holtz, W. Bradley, CAD Rating Guide: A Tool for the Evaluation of Computer- Aided Design Systems, PennWell Corp, Pittsburgh, 1997.

19. Echeverría, J., Un mundo virtual, Plaza y Janés, Barcelona, 2000.
20. Ossa M., B. E. et al, La realidad virtual al servicio de la educación, Proyecto de grado, Ingeniería de Sistemas, U. de A., Medellín, 1996.
21. Valencia, Asdrúbal, "¿Nos incluirá el futuro?", Memorias XXII Reunión de ACOFI, Cartagena, 2002.
22. Dickson, David, Tecnología Alternativa, Ediciones Orbis, Barcelona, 1985.
23. Reklaitis, G. V., A. Ravindran and K. M. Ragsdell, Engineering Optimization: Methods and Applications, John Wiley, London, 1983.
24. Rao, Singiresu S., Engineering Optimization: Theory and Practice, John Wiley, New York, 1996.
25. Onwubiko, Chinyere, Introduction to Engineering Design Optimization, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J., 2000.
26. Belegundu, Ashok D. and T.R. Chandrupatla, Optimization Concepts and Applications In Engineering, Prentice Hall, N. J., Englewood Cliffs, 1999.
27. <http://global.ihs.com/>
28. Jansen, Detlev E., "Intercultural Communications in Engineering", World Transactions on Engineering and Technology Education, Vol. 1, No. 1, 2002.
29. Stevenson, Susan et al. Strategies for Engineering Communication, John Wiley, New York, 2002.
30. Goetsch, David L. and Stanley Davis, Quality Management: Introduction to Total Quality Management for Production, Processing, and Services, Prentice Hall, Upper Sadle Rivr, N. J, 2002.
31. Valencia, Asdrúbal, Comportamiento Mecánico de los Materiales. Notas de Clase, Universidad de Antioquia, Medellín, 2000.
32. Spalding, Albert, "The engineer, a professional", Student's engineering manual, George A. Hawkins (ed.), McGraw-Hill, New York, 1968, p. 539.
33. Mainzer, K, Thinking in Complexity: The Complex Dyanmics of Matter, Mind and Mankind, Spinger-Verlag, Munich, 1994.
34. Prigogine, Ilya. "La lectura de lo complejo", ¿Tan solo una ilusión?, Tusquets, Barcelona, 1993, p. 45.
35. Prigogine, Ilya. " La evolución de la complejidad y las leyes de la naturaleza", ¿Tan solo una ilusión?, Tusquets, Barcelona, 1993, p. 221.
36. Hayles, N. Katherine, La evolución del caos, Gedisa, Barcelona, 1993.

37. Monroy Olivares, César, Teoría del caos, Alfaomega, México, 1997.
38. Jones, Mervyn E., "Retos en paradigmas cambiantes para la educación en ingeniería", Conferencia Mundial sobre educación en ingeniería y líderes de la industria, París, 1996, ACOFI, Bogotá, 1997, p. 89.
39. Valencia, Asdrúbal, "Sobre la complejidad", Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia, No 18, Sept. 1999, p. 144.
40. Lleras R., Juan A., "Ingeniería concurrente: hacia un proceso de enseñanza –aprendizaje", Revista Escuela de Administración de Negocios, No. 41, Sept. 2000. p. 19.
41. Salomone, Tomas A., What every engineer shoul know about concurrent engineering, Marcel Dekker, New York, 1995.
42. Kalleward, V. y A. Al-Saab, "Introducción e implementación de la ingeniería concurrente", Scientia et Técnica, No 13, Julio, 2000, p. 103.
43. Londoño, Félix," Ingeniería concurrente: hacia un desarrollo integrado de productos y servicios", Revista Universidad Eafit, No 96, Octubre, 1994, p. 7.
44. www.tdx.cat/bitstream/10803/6837/5/05Jcbo5de16.pdf
45. Troncos-Alonso. "Análisis del Producto vs Decisiones sobre el Diseño". XVI Congreso Internacional de Ingeniería.
46. Ulrich – Eppinger. "Diseño y Desarrollo de Productos". Editorial Mc Graw Hill. México. 2013
47. García-Alcaide-Gómez. "Fundamentos del Diseño en la Ingeniería". Editorial Limusa. España. 2010

8. APENDICE

Figura 8.1 Factores del Entorno del Diseño
Fuente: (Adaptado de S. Pugh) p. 75

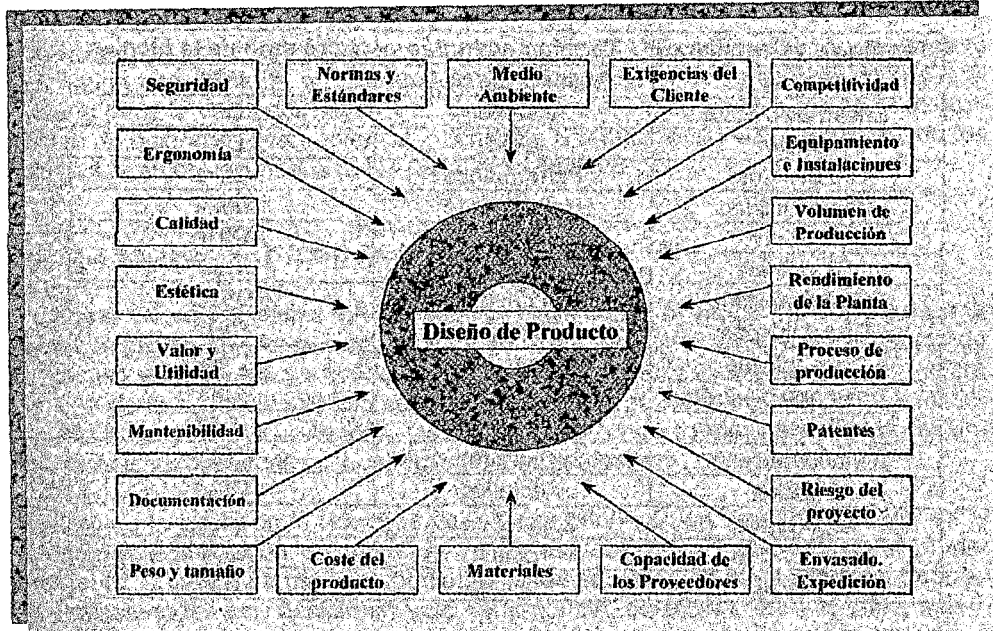


Tabla 8.1 Diseño para la X-bilidad
Fuente: (Capuz, 1999) p.76

Término en Castellano	Término en Inglés	Acrónimo de la técnica
Fabricabilidad	Manufacturability	DfM
Ensamblabilidad	Assembly	DfA
Coste	Cost	DfC
Rendimiento	Performance	DfPe
Mantenibilidad	Maintenance	DfMa
Fiabilidad	Reliability	DfRe
Seguridad	Safety	DfS
Refabricabilidad	Remanufacturability	DfRm
Reciclabilidad	Recycling	DfRc
Reusabilidad	Re-using	DfRu
Desmontabilidad	Disassembly	DfD
Medio ambiente	Environment	DfE
Almacenamiento	Storage	DfSto
Estética	Aesthetics	DfAe
Ergonomía	Ergonomics	DfEr
Verificación	Testing	DfTe
Embalaje	Packing	DfP

9. ANEXOS

Tabla 9.1 Estrategias de Ecodiseño

Fuente: (García- Alcaide, Fundamento del Diseño en la Ingeniería, México, 2010) p. 290

Estrategia	Subestrategias
0. Desarrollo de nuevos conceptos.	Desmaterialización. Uso compartido de productos. Integración de funciones. Optimización funcional.
1. Selección de materiales de bajo impacto.	Uso de materiales limpios. Uso de materiales renovables. Uso de materiales con bajo contenido energético. Uso de materiales reciclados.
2. Reducción del uso de materiales.	Reducción del peso. Reducción del volumen.
3. Optimización de las técnicas de producción.	Técnicas de producción alternativas menos contaminantes. Reducción de etapas del proceso de fabricación. Menor consumo de energía y consumo de energía limpia. Reducción de residuos. Consumo de menos recursos o consumo de recursos más limpios.
4. Optimización de los sistemas de distribución.	Embalaje menor/limpio/reutilizable. Modos de transporte energéticamente más eficientes. Logística energéticamente más eficiente.
5. Reducción del impacto medioambiental durante el uso.	Asegurar un bajo consumo energético. Empleo de fuentes de energía limpias. <i>Reducción de consumibles.</i> Empleo de combustibles limpios.
6. Optimización de la vida del producto.	Alta fiabilidad y durabilidad. Facilidad de mantenimiento y reparación. Estructura de producto modular/adaptable. Conseguir un diseño "clásico". Fuerte relación producto-usuario.
7. Optimización del fin de vida del producto.	Reutilización del producto completo. Refabricación o reacondicionamiento. Reciclaje (para el mismo fin, para aplicaciones de menor exigencia o para descomposición química). Incineración segura. Eliminación segura.

Figura 9.1 Evaluación del Impacto de Diferentes Técnicas de Ingeniería de Diseño en la Competitividad de Distintos Sectores Industriales

Fuente: (Aguayo – Soltero, Metodología del Diseño Industrial, México, 2003) p. 39

FIGURA 2.7 - EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE DIFERENTES TÉCNICAS DE INGENIERÍA DE DISEÑO EN LA COMPETITIVIDAD DE DISTINTOS SECTORES INDUSTRIALES

A: Impacto Alto
B: Impacto Intermedio Alto
C: Impacto Intermedio
D: Impacto Intermedio Bajo
E: Impacto Bajo

	QED (Españoles de la Función de Calidad)	Autoproducción	Evaluación competitiva	Metodología Taguchi	Para Yale	Ingeniería Concurrente	Ingeniería de valor	FAST (Análisis de las funciones del sistema)	DOE (Diseño de experimentos)	TQM (Total Quality Management)	CAD (2D, 3D)	Modelización basada en Features	Diseño paramétrico	Especificación y sheets de tolerancias	KBE (Ingeniería basada en el conocimiento)	Bases de datos orientadas a objetos	FEA (Análisis modal de fajas y ejes)	FEA (Análisis por elementos finitos)	Computational prototyping	RP (Rapid prototyping)	DFM (Design for manufacturing)	DFX (Design for assembly)	DFE (Design for reliability)	DFM (Design for maintainability)	DFC.A.I. (Design for cost and life cycle)	DFE/DFR (Design for environmental recycling)	DFR/DFP (Design for remanufacturing/ reuse)	DFX (Diseño para X-0/ries)	Integración CAD/CAM/CAE	CPM (Gestión de proyectos críticos)
Fabricantes de muebles y accesorios	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
Fabricantes de productos de papel y relacionados	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de productos de goma y plástico	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Industrias metálicas primarias	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de herramientas, tornillos, tuercas, válvulas, enrosques metálicos, etc.	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de productos metálicos estructurales	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Estampados y forjas metálicas	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de equipos y maquinaria para construcción	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de equipo y maquinaria para metales	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de troqueles, matrices y moldes industriales	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de maquinaria industrial (excepto metales, madera, papelera, imprenta, etc.)	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de bombas, arbores, cajas de cambio, engranajes, cojinetes, roscas, etc.	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Equipos de distribución y transmisión eléctrica, aparatos industriales electrónicos, etc.	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de electrodomésticos	A	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de accesorios y componentes electrónicos	C	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de accesorios y componentes eléctricos	C	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de vehículos de motor y equipo relacionado	A	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de aviones y componentes	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Construcción y reparación de buques y embarcaciones	C	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de equipos ferroviarios	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Fabricantes de motocicletas, bicicletas y accesorios	A	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C