

Un proceso general de diseño en Ingeniería Mecánica

El diseño en ingeniería mecánica se dedica en gran medida al cálculo de transmisiones y elementos mecánicos. Aun cuando esta parte es de vital importancia, no deja de ser un paso dentro del proceso total de diseño. La integración del proceso mediante un método general permite al estudiante tener una visión más exacta del diseño, integrar los conocimientos adquiridos y aplicar un método. Al diseñador le ofrece la oportunidad de salirse de la forma empírica, muchas veces utilizada, al emprender un problema de diseño, y seguir un procedimiento más confiable.

La resolución de problemas de diseño en ingeniería es todo un proceso; proceso que comienza con el análisis de las necesidades, en donde se obtienen unas especificaciones preliminares y en donde el mayor trabajo consiste en formular preguntas. A medida que el proceso avanza mediante la definición, análisis, síntesis, etc., (ver Fig. 1), las especificaciones del problema se dan cada vez más detalladas hasta obtener las especificaciones finales. En este momento se tiene toda la información para iniciar la construcción de prototipos y programación de pruebas.

Este proceso posee un carácter iterativo, ya que muchas veces durante el mismo se descubren nuevos datos o se adquieren nuevas perspectivas que exigen repetir algunos de los pasos anteriores. En ciertos casos la resolución de un problema no requiere de todos los pasos del proceso mostrado en las figuras 1 y 7.

Todas las fases del proceso, a excepción de la fase creativa, necesitan de bastante información. Por ejemplo, para definir el problema es necesario recopilar información, procesarla y comunicarla; sin embargo, no en todos los casos llega a ser explícita dicha información, sino que se puede

GUILLERMO GARCIA P.
Ingeniero Mecánico,
Profesor asociado.
Estudios de Postgrado
en diseños de productos.
Instituto Tecnológico
de Illinois.

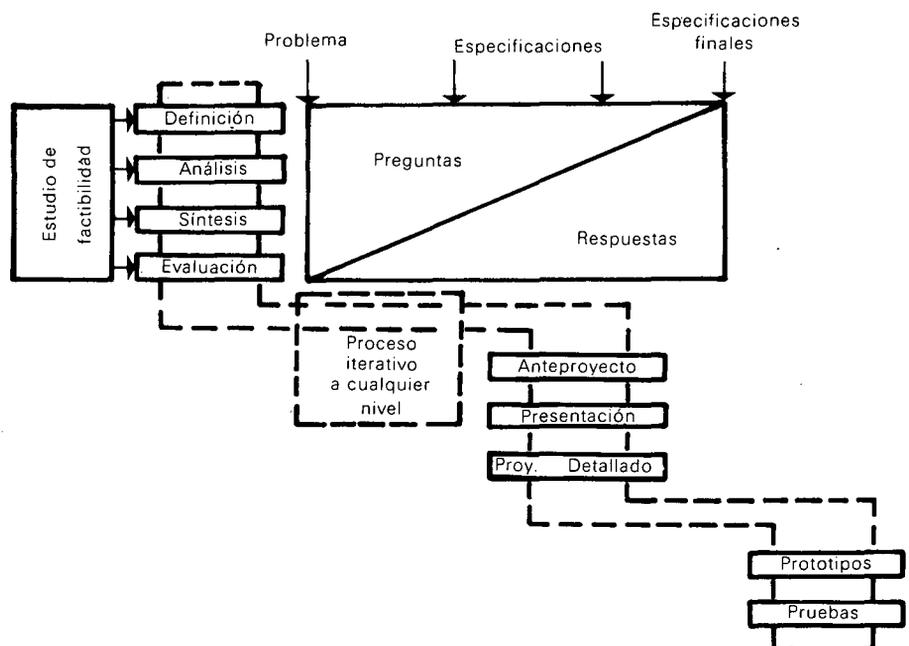


FIGURA 1. Fases del proceso de diseño en ingeniería mecánica.

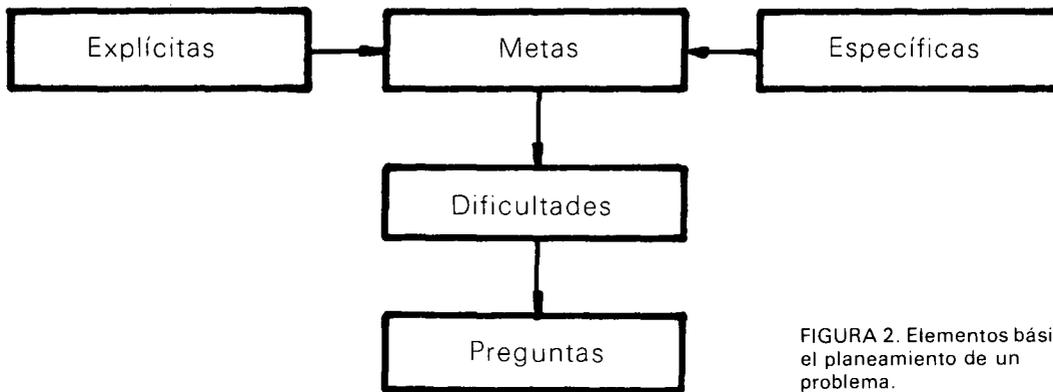


FIGURA 2. Elementos básicos en el planeamiento de un problema.

utilizar en breves razonamientos.

El comienzo de cualquier diseño lleva implícita la suposición de la factibilidad económica en la elaboración de una solución al problema planteado.

En general, el diseñador no recibe un problema sino la situación del mismo, y es bajo estas circunstancias que tendrá que desarrollar definiciones claras de los problemas totales. Salvo en las situaciones simples, no se podrán plantear los problemas hasta no encontrar las dificultades y las metas de la situación que hay que resolver (ver Figura 2).

Una vez entendida la situación del problema, se pueden percibir las dificultades reales y se puede iniciar la formulación de preguntas apropiadas.

Preguntas
 ¿Quién?
 ¿Qué?
 ¿Cuándo?

Al comienzo las preguntas sirven para aislar los factores importantes.

Posteriormente las preguntas servirán para clarificar las relaciones causales y correlativas.

Preguntas
 ¿Cómo?
 ¿Por qué?
 etc.

Las preguntas sugieren datos adicionales que requieren ser buscados, y exigen un especial cuidado en la organización de datos para lograr sacar de éstos el máximo significado.

Las interrogantes ahora pueden reunirse y combinarse para formar una enunciación del problema. Dicha enunciación expone claramente los elemen-

tos involucrados para alcanzar una solución posible, (ver Fig. 3).

La preparación de la anterior exposición solo podrá lograrse una vez se haya comprendido completamente la situación del problema.

El proyecto procede de lo abstracto a lo concreto. Este comienza con un pensamiento, el cual posteriormente puede expresarse en palabras, formas geométricas, ilustraciones gráficas o símbolos matemáticos que en alguna forma se ajustan a las circunstancias del problema.

La descripción simbólica capacita al diseñador para utilizar datos relativos al concepto con el propósito de anticipar analíticamente el comportamiento del prototipo.

Cuando el procedimiento es abierto, la solución se enuncia como una hipótesis o un modelo mental que se puede probar: 1— relacionándola con la experiencia; 2— relacionándola con la información conseguida; 3— mediante manipulaciones analíticas o lógicas; 4— mediante la experimentación.

Por último entre las soluciones válidas se selecciona la mejor.

DESARROLLO DEL PROCESO GENERAL DE DISEÑO ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

El propósito del estudio sobre la factibilidad es obtener un conjunto de soluciones útiles para el problema del proyecto. Dicho estudio comienza con

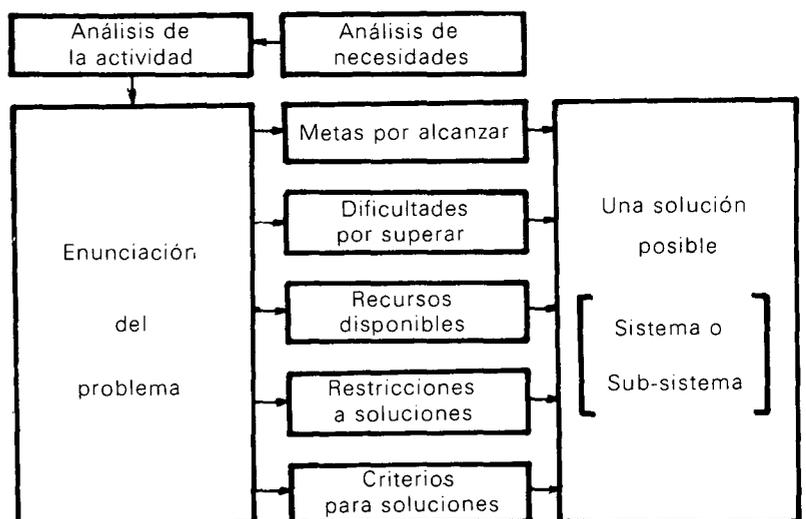


FIGURA 3. Elementos utilizados para alcanzar una solución a un problema dado.

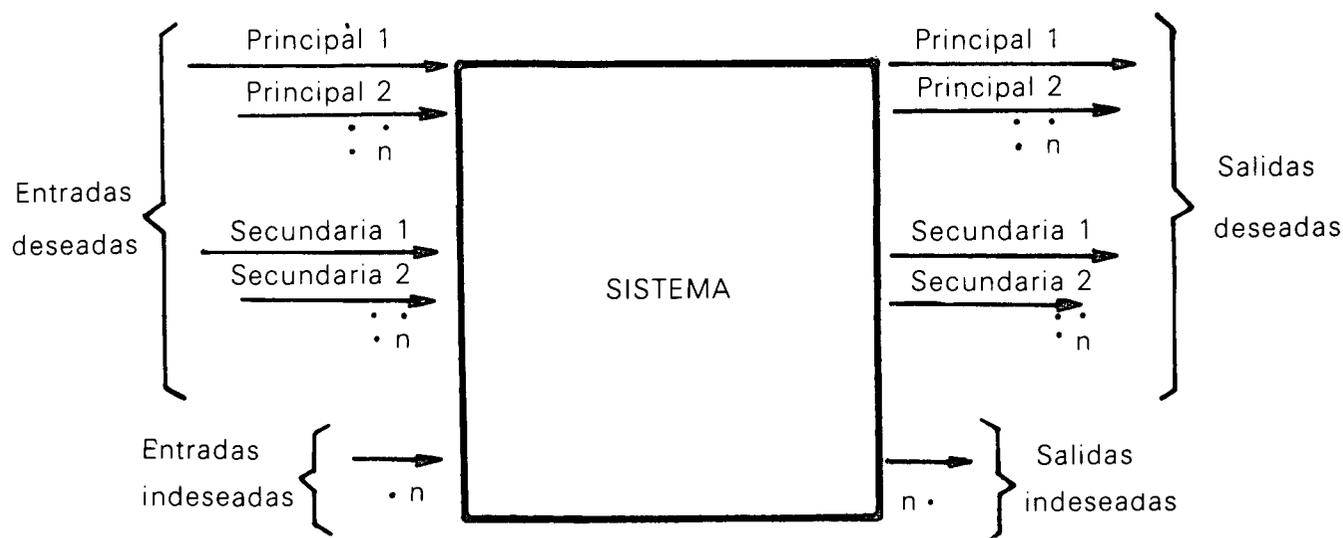


FIGURA 4. Transformación de un medio o recurso a un fin u objetivo.

el análisis de las necesidades: la meta de este análisis es determinar las necesidades reales que el sistema debe satisfacer. Esta parte del estudio proporciona las bases para definir los objetivos totales de la planeación del proyecto. En el siguiente paso se realiza el análisis de la actividad, el cual consiste en un estudio de las condiciones que limitan al sistema. La meta de este estudio está en determinar los límites y las condiciones limitativas que se aplicarán al sistema y con los cuales deberá coincidir dicho sistema antes de poderlo considerar como una solución posible, (ver Figura 3). El análisis de la actividad está basado en el análisis de las entradas y salidas exigidas a un sistema cuya forma es desconocida (ver Figura 4).

DEFINICION

El problema de diseño se debe definir en forma amplia y precisa, sin considerar detalles y sin preocuparse por soluciones. Es probable que mientras se está definiendo el problema se esté pensando en algunas soluciones, las cuales pueden ser archivadas momentáneamente. Sin embargo, el fin propio de esta parte del proceso es el de definir el problema. Lo anterior puede ocurrir a cualquier nivel del proceso.

En general, la definición del problema debe incluir mayor parte del problema total; pues a mayores subdivisiones del problema menor probabilidad de que la solución total resulte óptima. Todo problema puede definirse con diversos grados de amplitud, el ingeniero definirá el problema tan ampliamente como las circunstancias lo permitan. Un problema puede definirse en forma verbal, gráfica o simbólica. En esta etapa se hace un esfuerzo por entender el problema, enunciar las metas que se propone alcanzar el diseñador y verificar la validez de la existencia económica de la necesidad.

ANALISIS

Una vez definido el problema se siguen determinando especificaciones, las cuales pueden comprender parámetros, restricciones y criterios. Esta parte del proceso está caracterizada por la gran cantidad de

preguntas que hay que formular.

Con esta forma de trabajo se pretende entender las necesidades funcionales y establecer el valor relativo de las funciones. Para cumplir este objetivo el diseñador determina: el insumo (condiciones existentes antes de la transformación deseada), el producto (condiciones existentes después de la transformación deseada), las variables de entrada (una característica de los datos de entrada, que puede variar), las variables de salida (cualquier característica de los resultados, que puede variar), las variables de solución (una característica alterable de la solución; por ejemplo, tamaño, material, etc.), las restricciones (un límite de la magnitud que puede tener una variable. Las restricciones pueden ser: reales, sobre las que el diseñador no tiene ningún control; ficticias, eliminación injustificada y perjudicial de una o varias posibilidades perfectamente legítimas; sub-óptimas, las cuales no pueden satisfacerse, o que se satisfarán a un precio muy alto), volumen (número de unidades que se fabricarán), uso (número de veces que se va a utilizar la solución. Por ejemplo: si la calidad es importante, el diseñador deberá considerar un mayor número de materiales y características del que en otras ocasiones hubiera deseado).

El análisis del problema implica la recopilación y procesamiento de gran cantidad de información. Al finalizar esta fase, el problema debe quedar claramente definido en términos técnicos.

Los pasos que hay que seguir en el análisis se pueden resumir mediante la determinación de los elementos que intervienen en la transformación de un medio o recurso a un fin u objetivo, éstos son:

- Entradas deseadas (insumo)
- Entradas indeseadas
- Salidas deseadas (producto)
- Salidas indeseadas
- Restricciones a las entradas (por ejemplo: límites, especificaciones, etc.).
- Restricciones al sistema (por ejemplo: volumen, peso, velocidad, etc.).

- Restricciones a las salidas (por ejemplo: dimensiones, tolerancias, etc.).
- Medidas de valor para cuantificar el análisis.
- Criterios para medir la validez del sistema.

Lo anterior se puede realizar partiendo de las relaciones apropiadas entre las variables, o sea, las entradas, las salidas y los parámetros del proyecto.

SINTESIS

El paso de la síntesis se inicia formalmente después que el problema ha sido bien comprendido. El objetivo es idear diversas soluciones posibles.

Una solución es una síntesis de los elementos componentes, los cuales en su mayor parte están almacenados en nuestra memoria y pueden estar compuestos por ideas u objetos físicos.

Para lograr el objetivo propuesto el diseñador tiene que preguntarse repetidamente en qué otra forma se puede realizar la tarea. En esta etapa de generación de ideas se requiere inventiva y esfuerzo creador, el diseñador trabaja con una gran variedad de relaciones asociadas con el problema, su actitud le permite mezclar su almacenamiento de conocimientos libremente descubriendo combinaciones de principios, materiales o componentes, y pensando siempre en trabajar con conceptos. La toma de notas y los bosquejos ayudan a establecer dichos conceptos. Cuando se hacen bosquejos, la configuración, tamaño relativo y forma revelarán ventajas y desventajas, además los bosquejos y notas suministrarán un registro temporal de conceptos y una base para diferentes alternativas.

En términos generales, el diseñador puede iniciar la búsqueda de las soluciones siguiendo uno de los siguientes caminos: 1— Encontrar el máximo número de soluciones posibles, teniendo en cuenta: a) analizar las restricciones reales, para determinar su validez; b) eliminar las restricciones ficticias; y c) ampliar los conocimientos. 2— Organizar las investigaciones y razonamientos, de tal forma que se obtengan soluciones básicamente diferentes. 3— Sistematizar la forma de hacer preguntas, de

combinar ideas, de examinar situaciones análogas y de modificar las variables de solución. Por ejemplo, se puede sistematizar la búsqueda, concentrándose en cada una de las características y requerimientos de diseño (variables de solución) y encontrar el mayor número de alternativas de diseño de cada una de ellas. Esta forma de trabajo se resume en la Figura 5.

Durante esta etapa no conviene trabajar en detalle las diversas soluciones posibles, aunque algunas veces suele hacerse. Por tanto, muchas soluciones posibles tan solo aparecen en forma general, especificándose más tarde con todo detalle, si es que la calidad de las mismas lo justifica.

En esta etapa del proyecto comienza la especialización cuando conocimientos como, por ejemplo, fluidos, se añaden a la disciplina básica de diseño. A este respecto, sin embargo, hay que tener en cuenta que el diseño de las máquinas complejas es un campo de materias de muchas especializaciones, y que cualquier diseñador profesional de —por ejemplo— máquinas herramientas, no se sentirá con autoridad para diseñar máquinas agrícolas o máquinas energéticas, pues él sabe de las complejidades y de sus propias limitaciones.

EVALUACION

Existen dos consideraciones básicas para la evaluación: 1— La economía proyectada del producto con relación a competidores, costo de mano de obra y necesidades. 2— La tecnología en progreso y la obsolescencia técnica. Hay necesidad de comparar las ideas de diseño y encontrar los méritos relativos, ventajas y desventajas asociadas con cada una. Por medio de esta comparación, los valores relativos de cada alternativa pueden ser determinados.

En general, no es recomendable especificar las soluciones posibles con más detalle que el estrictamente indispensable, ya que muchas ideas pueden evaluarse, sin necesidad de recurrir a los detalles estructurales de las mismas; sin embargo, una vez

Características requerimientos de diseño	Alternativas de diseño			
Movimiento de entrada	Rotacional	Lineal	Oscilante	Etc.
Fuente de entrada	Una mano	Dos manos	Pie y mano	Etc.
Elemento de entrada	Cigüeñal	Biela	Palanca	Etc.
Elemento de salida	Tornillo	Hélice	Pistón	Etc.
Movimiento de salida	Rotacional	Lineal	Reciprocante	Etc.
Mecanismo	Engranaje	Articulación	Corredera	Etc.

FIGURA 5. Técnica de la carta morfológica para el diseño de un sistema de extracción manual de rodamientos.

se han eliminado las soluciones de calidad inferior, se procederá a especificar con más detalle a las soluciones que aún subsisten para poder evaluarlas y seguir con el proceso discriminatorio, hasta llegar a la solución óptima.

Este proceso discriminatorio de etapas múltiples se caracteriza por la eliminación gradual de soluciones posibles y por la necesidad de cada vez mayor información acerca de la naturaleza y rendimiento de las soluciones sobrevivientes. Intimamente relacionado con este proceso de eliminación están la combinación y recombinación de soluciones parciales.

Las bases que permiten seleccionar la mejor solución son los criterios, motivo por el cual se deben definir al menos en términos generales durante el análisis del problema.

En cualquier forma deben verificarse los siguientes pasos: 1— Seleccionar los criterios, 2— Predecir la efectividad de las diversas soluciones, 3— Comparar las efectividades pronosticadas de las diversas soluciones y 4— Hacer una elección.

Una de las principales tareas del ingeniero es predecir la forma en que bajo los criterios establecidos se comportarán las diversas soluciones, en el caso de que se adopten; por ejemplo, ¿qué tanto tiempo trabajarán eficientemente los resortes hechos de diferentes materiales? Pronósticos como éste requieren del criterio del ingeniero, de modelos matemáticos, de simulación analógica o digital, o de experimentación con prototipos.

Para asegurar la compatibilidad de las alternativas de diseño con su uso, un análisis preliminar debe hacerse para dimensionar elementos, escoger materiales y componentes. Mediante este repaso es posible eliminar funciones innecesarias y refinar aspectos de cada alternativa.

Las alternativas deben ser analizadas sobre la base función vs. costo. Muchos diseños que son técnicamente aceptables, económicamente no son posibles. Funciones y costos innecesarios deben ser eliminados.

En general, un período de búsqueda con énfasis en una evaluación posterior es especialmente aplicable a situaciones en que se depende principalmente de la inventiva para idear diversas soluciones posibles. Sin embargo, cuando no es la inventiva el principal factor generador de soluciones, cuando cada una de las soluciones obtenidas puede evaluarse rápida y económicamente, no es necesario separar las fases de búsqueda y decisión.

Debido a la gran diversidad de problemas a que el ingeniero suele enfrentarse, es difícil establecer un método general para la toma de decisiones; sin embargo, se deben utilizar todas las habilidades, incluyendo el criterio especializado y altamente desarrollado.

En conclusión, el estudio completo indica si existe una necesidad real o potencial, y si se pueden encontrar soluciones útiles.

PROYECTO PRELIMINAR O ANTEPROYECTO

El anteproyecto comienza con el conjunto de soluciones útiles que se desarrollan en la fase primera. La finalidad del anteproyecto estriba en establecer cuál de las alternativas propuestas es el mejor concepto del proyecto.

En esta etapa se realizan estudios para establecer la amplitud del dominio dentro del cual tendrán que controlarse los parámetros fundamentales del proyecto. Estos parámetros representan varios atributos del sistema; algunos reflejan propiedades o capacidades importantes, otros representan posibles estados del sistema y otros reflejan dimensiones críticas.

Cada una de las soluciones se somete a diversos análisis para luego seleccionar aquella que tenga las características más favorables.

ESTUDIOS DEL ANTEPROYECTO

Análisis de sensibilidad

El análisis de la sensibilidad se desarrolla mediante modelos matemáticos en donde intervienen las variables de entrada, las variables de salida y los parámetros del proyecto.

Con el análisis de la sensibilidad se consigue:

- Identificar los parámetros críticos del diseño.
- Conocer más de cerca los mecanismos del sistema.
- Conocer qué restricciones se deben aumentar o disminuir.
- Conocer en forma más cuantitativa el comportamiento general esperado del sistema.

Análisis de compatibilidad

La compatibilidad puede contener consideraciones concretas tales como las tolerancias geométricas (por ejemplo, las dimensiones de un árbol para garantizar su ajuste adecuado en su elemento rodante), o las tolerancias permitidas en las características mecánicas (por ejemplo la resistencia mecánica de un material).

Análisis de estabilidad

Los sistemas que se diseñan deben tener una estabilidad propia para que la presencia de sobrecargas o perturbaciones del medio no causen fallas o malos funcionamientos.

Optimización

Los primeros análisis se realizaron para determinar las características necesarias fundamentales del concepto de la solución; para cumplir este objetivo bastó una versión general de la solución.

Ahora para seguir adelante con el diseño, los parámetros deben recibir valores del proyecto específico. Para algunos de los parámetros, lo anterior implicará una fijación rígida a un valor único como en el caso del máximo peso admisible de un equipo manual. Es necesario especificar los atributos físicos que han de considerarse, determinar cómo han de medirse y fijar su importancia relativa. En igual forma hay que especificar las

características de funcionamiento. Si la optimización tiene que llevarse a cabo matemáticamente será necesario exponer estas consideraciones mediante una ecuación.

Pronóstico de funcionamiento

Un sistema debe funcionar bien durante una determinada vida de servicio; para cumplir este propósito las salidas deseadas se deben producir a lo largo de un tiempo determinado, de tal modo que su vida útil se pueda tener en cuenta al determinar el funcionamiento real del sistema.

Simplificación

Finalmente se consideran todas las formas posibles de simplificar el concepto del proyecto antes de proponerlo como la solución adecuada para su desarrollo posterior en la fase del proyecto detallado.

Una vez que el ingeniero ha elegido la solución al problema que está resolviendo, deberá medir la alternativa contra las especificaciones para garantizar el cumplimiento de las necesidades funcionales.

El diseñador debe tomar la alternativa de diseño y entrar a detallar partes, normalizar partes detalladas, terminar uniones y amarres y escoger seguros. El número de partes se debe reducir en la medida que se pueda.

Es la responsabilidad del diseñador producir un buen diseño desde el punto de vista de función, costo y manufactura.

Si herramientas o procesos de manufactura especiales son requeridos, la disponibilidad debe encontrarse dentro del área de manufactura (o según sea el caso dentro de la zona industrial).

La importancia de usar un producto comercial debe

enfazarse. El diseñador debe examinar los costos de manufactura al producir un elemento en planta contra el costo de uno disponible en el comercio en donde existen especialistas en la línea del producto; casi sin excepción el productor especialista puede manufacturar un producto más barato y de mayor calidad.

El tamaño y el peso del producto pueden justificar una nueva investigación. La construcción modular puede ahorrar dinero en manejo, mantenimiento, reparación y transporte, además puede mejorar la seguridad. Sin embargo, hay que tener en cuenta los aumentos en los costos de fabricación.

Una parte mayor de cada proyecto de diseño es el análisis que verifica el diseño y suministra información pertinente, (ver Fig. 6). El desarrollo de este análisis se fundamenta en los siguientes requerimientos:

- Las consideraciones y técnicas empleadas deben ser claramente definidas y documentadas.
- Cada análisis debe ser claro y completo.
- La toma de decisiones debe estar documentada.

La gente que tiene o no completa experiencia en la información deberá poder seguir el razonamiento y la secuencia de pasos en el análisis.

El anteproyecto es el medio que lleva el concepto elegido a la gente quien deberá aceptar y aprobar la alternativa de diseño. Es la base que será usada para suministrar estimativos preliminares de costos para material, mano de obra y manufactura, es también la base para posteriores detalles. Por tal motivo éste deberá ser impecable y ordenado; deberá tener un formato lógico y se deberán trabajar las vistas necesarias para poder suministrar

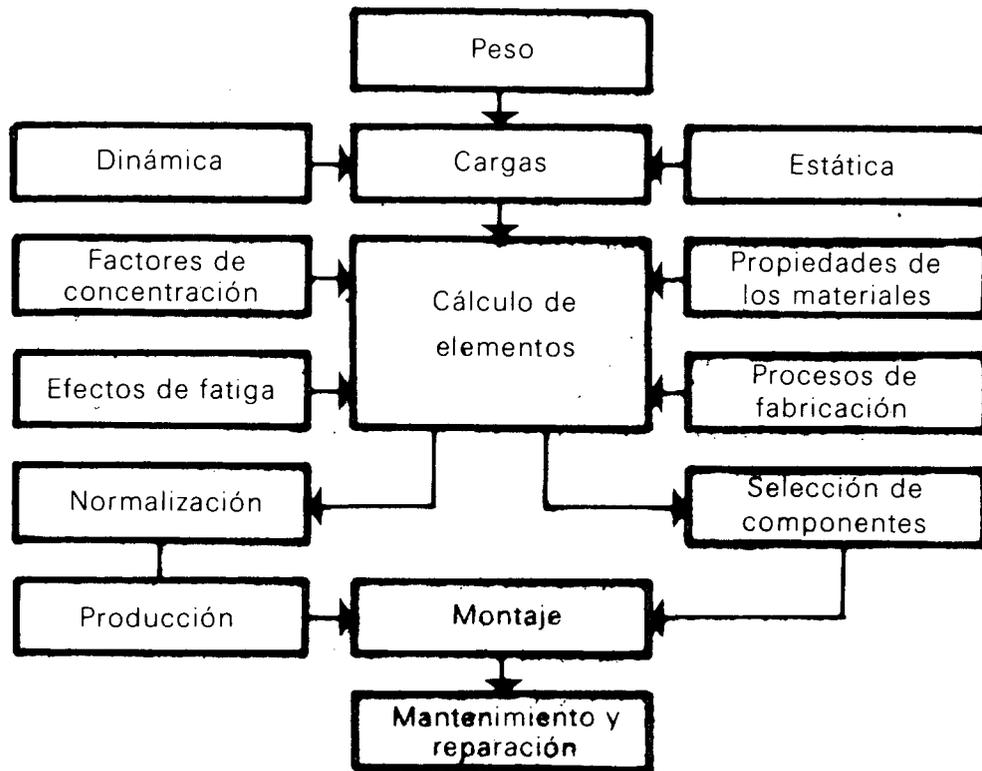
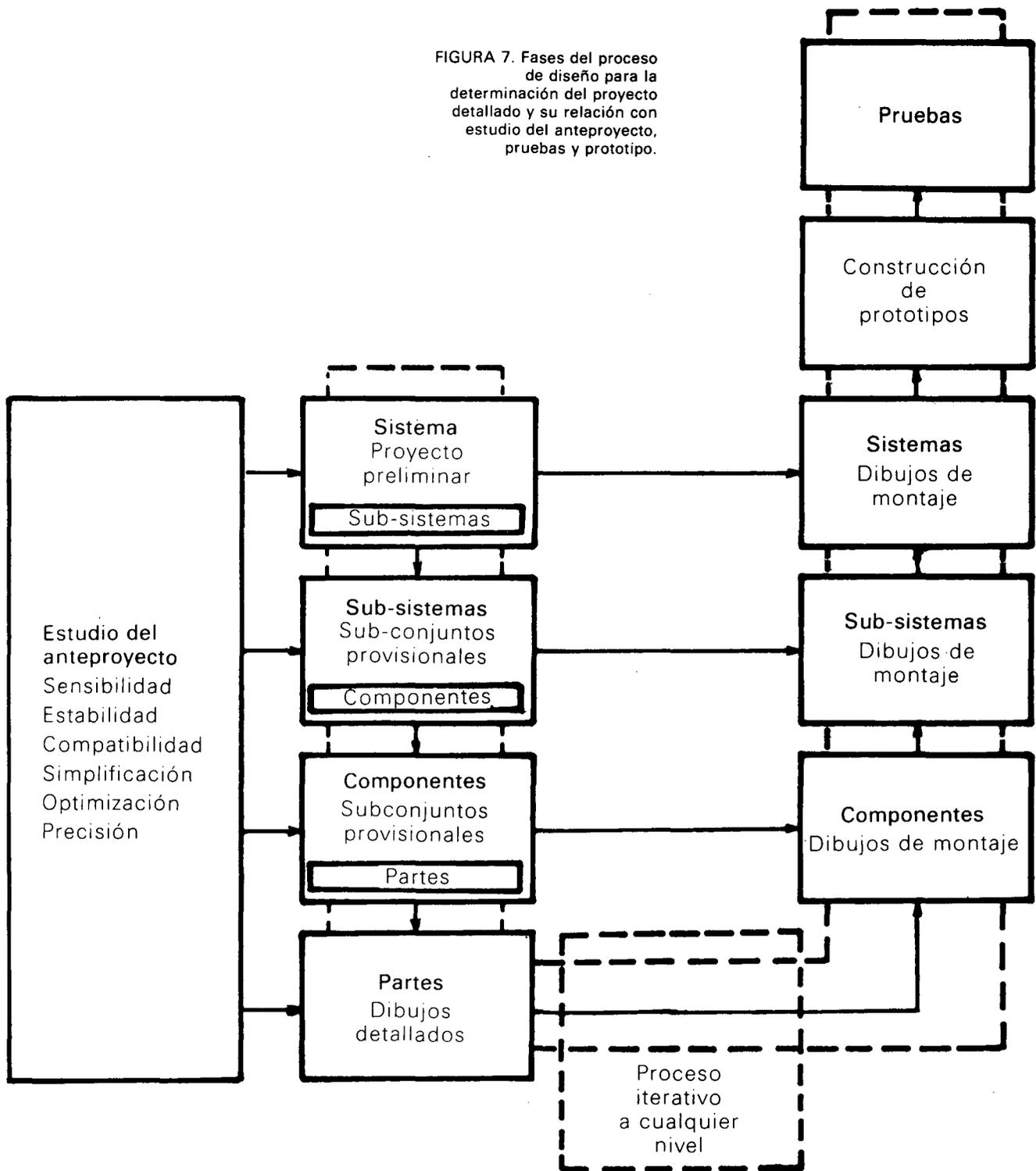


FIGURA 6. Pasos principales en el análisis de verificación del diseño.

FIGURA 7. Fases del proceso de diseño para la determinación del proyecto detallado y su relación con estudio del anteproyecto, pruebas y prototipo.



toda la información. La utilización de la norma técnica deberá hacerse a lo largo de todo el anteproyecto.

Notas descriptivas son dadas si sirven para describir más completamente el producto. Las notas deben especificar tratamientos térmicos, terminados, tolerancias de los principales componentes, materiales críticos y materiales con posibles alternativas, suministradores de partes especiales y cualquier otra información que ayude a otros a entender las ideas del diseñador. El concepto del producto deberá ser repasado para patentar y determinar posibles violaciones al derecho de patentes; esta es una actividad necesaria asociada con diseño.

EL PROYECTO DETALLADO

Una vez el anteproyecto ha sido aceptado, se procede a desarrollar la información detallada del diseño del sistema. Un sistema muy complejo generalmente tiene una estructura jerárquica, (Fig 7). Proyectar el sistema en su totalidad exige examinar, por lo menos, los elementos de primer orden que lo componen.

Así como un sistema puede estar compuesto de varios sub-sistemas, un sub-sistema puede comprender varios componentes y un componente varias partes, los cuales se han desarrollado de modo semejante.

El proyecto preliminar se desarrolló con base en el concepto total y los sub-sistemas, componentes y partes se analizaron con el fin de evaluar la calidad del concepto total del sistema, quedando sin resolver preguntas secundarias relacionadas con la realización física, así como el análisis de detalles que desviarían nuestra atención. En esta forma se concentró el análisis en aquellas partes en donde las soluciones no estaban claras en la tecnología conocida.

Planos de conjunto provisionales fueron desarrollados en el proyecto preliminar y sirvieron de base para trabajar los planos provisionales de conjunto de los sub-sistemas y éstos, a su vez, para desarrollar los planos de componentes, los cuales son la base para el proyecto detallado de las partes. La misma clase de problemas sobre sensibilidad, estabilidad, compatibilidad, etc., que se presentan a niveles más elevados del proyecto, a menudo son necesarios en el desarrollo de las partes, (ver Fig. 7).

El anteproyecto indicó los materiales y tamaños de las partes pero no suministró todas las dimensiones detalladas e información para manufactura. Antes que los dibujos detallados según normas sean preparados, un chequeo final de la disponibilidad de materiales deberá ser hecho. Después de terminada la etapa de dibujo y enviada la información a producción, cualquier cambio causará retraso en la manufactura.

Los dibujos detallados deberán mostrar toda la información necesaria: dimensiones con sus respectivas tolerancias, materiales, acabados superficiales, otros acabados superficiales especiales como pintura o requerimientos de capas protectoras, tratamientos térmicos o cualquier nota general que requiera la manufactura de las partes.

Dependiendo de la cantidad de piezas por elaborar hay que tener en cuenta la facilidad de producción y en términos generales fijar los procesos de manufactura para la fabricación de dichas piezas. Para lograr este propósito es buena práctica consultar al personal de manufactura acerca de herramientas especiales o métodos de fabricación.

En vista de que los costos se aumentan con tolerancias más estrechas, es necesario explorar dichas tolerancias al máximo permisible sin degradar el diseño y siendo proporcionadas de acuerdo con los métodos de manufactura.

Una vez proyectadas las partes constitutivas se puede pensar en trabajar los planos de montaje de los componentes, sub-sistemas y sistema en el orden descrito, (ver Fig. 7).

El siguiente paso comprende el desarrollo de modelos y pruebas.

DESARROLLO DE MODELOS Y PRUEBAS J

La cantidad de unidades para ser producidas, el costo del producto y la complejidad del diseño son parámetros que determinan la clase de desarrollo de modelos. El propósito del desarrollo de modelos es:

- Mejorar el diseño y calidad del producto.
- Aumentar la confiabilidad del producto.
- Verificar que cumpla con las especificaciones.
- Probar el producto.

Uno o más de los siguientes modelos del producto pueden ser usados en el desarrollo:

- Maqueta. Es una representación estática del producto.
- Modelo piloto. Es un modelo experimental, el cual es ensamblado para verificar conceptos sobre los cuales la manufactura del producto está basada. Este modelo, a menudo, tiene diferente tamaño del producto real.
- Prototipo. Es un modelo funcional del diseño del producto, en el cual mecanismos, componentes y partes interrelacionadas están incluidos. Este es un modelo dinámico del producto y puede ser preciso usar los materiales correctos o las técnicas de fabricación empleados para la generación final del producto.

Una etapa del desarrollo de modelos exige la revisión o prueba de los componentes comerciales para asegurar su compatibilidad en el diseño del producto. El desarrollo de modelos y pruebas puede ser extensivo, como es común entre los productores de grandes series de productos de alta tecnología o puede ser relativamente simple. Las pruebas de laboratorio, por lo general, se realizan en condiciones de servicio más severas que lo normal, consiguiéndose en esa forma explorar, por ejemplo, el margen de vida de un elemento en un intervalo restringido de tiempo. Para un diseño dado y cantidad del producto existe una cantidad óptima de desarrollo.

Es necesario ahora revisar el producto contra las especificaciones iniciales. Habiendo empezado con un conjunto de necesidades y funciones específicas, el diseñador debe verificar que el producto no ha sido desviado en forma tangencial o que el objetivo principal no ha sido reemplazado por otro objetivo.

Repasando la configuración de la maqueta y estudiando la función del prototipo el diseñador puede mejorar el producto. En esta fase es posible observar debilidades en detalles y deficiencias del diseño.

Una de las obligaciones del diseñador es procurar por todos los medios reducir costos, lo cual se puede conseguir mediante:

- Reducción de tolerancias rigurosas.
- Empleo de materiales menos costosos.
- Empleo de procesos de producción menos costosos.
- Empleo de especificaciones menos críticas para el funcionamiento.

Como última fase en el proceso de diseño está la asistencia a la manufactura. Es muy probable que durante la manufactura de partes se presenten problemas y se requieran soluciones. Por ejemplo, una opción en un material evitará paradas innecesarias.

Observando el flujo de secuencias y las operaciones

de manufactura el diseñador puede detectar problemas relacionados con:

- Montaje
- Mantenimiento
- Reparación
- Manufactura
- Empaque
- Transporte
- Seguridad
- Adaptabilidad a las instalaciones de producción de la compañía, etc.

En conclusión, para que un diseño sea correcto a los ojos de la industria, éste debe satisfacer los siguientes puntos:

- Función
- Producción
- Costo
- Apariencia.

El diseñador debe seguir activamente todas las posibilidades para cumplir con los puntos antes mencionados.

BIBLIOGRAFIA

Krick, Edward. **Fundamentos de Ingeniería**. Primera edición. Editorial Limusa, México, 1979.

Dixon, John R. **Diseño en Ingeniería**. Primera edición. Editorial Limusa, México, 1979.

Krick, Edward V. **Introducción a la Ingeniería y al Proyecto en la Ingeniería**. Primera edición. Editorial Limusa-Wiley S.A., 1969.

Asimow, Morris. **Introducción al Proyecto**. Segunda edición. Editorial Herrero Hnos. S.A., 1970.

Gómez, Raúl. **Análisis de Sistemas dinámicos**. Primera edición. Publicaciones de la facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes, 1974.

Buhl, Harold. **Creative Engineering Design**. The Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1960.

Osborn, Alex. **Applied Imagination**. Charles Scribner's Sons, New York, 1963.