

# OPTIMIZACIÓN APLICADA AL DISEÑO MECÁNICO

*Jairo Chaur Bernal\**

*Los cursos tradicionales de diseño de elementos de máquinas utilizan en su desarrollo libros de texto tradicionales que realizan un énfasis en aspectos teóricos, pero no apoyan adecuadamente los procesos de toma de decisiones cuando enfrentan problemas reales. Una de las herramientas fundamentales para la selección de alternativas de diseño es la 'teoría de la optimización'. El diseño óptimo de los elementos mecánicos minimiza los efectos indeseables y maximiza los deseables, siempre bajo la perspectiva del cumplimiento de los requerimientos funcionales; su exploración debe convertirse en un área de investigación prioritaria para el diseñador.*

## Introducción

En los cursos de diseño de elementos de máquinas las escuelas de ingeniería mecánica han utilizado tradicionalmente programas basados en textos tales como los de Shigley, Deutchman y Paires<sup>1</sup>, que dan una visión amplia de los procesos de diseño y presentan las herramientas básicas para realizar los cálculos pero no entregan elementos suficientes para la toma de decisiones en el momento de enfrentar un problema real. Generalmente los ejercicios propuestos tienen un corte netamente académico que permite al estudiante ejercitarse en la aplicación de los modelos, pero dejando muy poco a la iniciativa y a la exploración de nuevas alternativas para su solución.

De acuerdo con la opinión de empresarios<sup>2</sup> el perfil del profesional del siglo XXI debe tener en cuenta una sólida formación en aspectos cien-

tífico-tecnológicos relevantes para su profesión, idiomas, expresión oral y comunicación escrita, formación humanística, capacidad de gestión y formación en aspectos socioeconómicos.

Esto abre un abanico bastante amplio que debe ser abordado en forma integral. Para ello es necesario que el propio cuerpo docente tenga claridad respecto a la necesidad de integrar las áreas técnicas con las complementarias dentro de cada asignatura. Ya no basta sólo con hablar del diseño de un engranaje con sus fórmulas y procedimientos técnicos. Es necesario complementar este conocimiento con temas relacionados: los niveles de ruido que generan (ambiental), la responsabilidad de asegurar un diseño confiable que no traiga riesgos a quien lo implemente (lo humano), la necesidad de buscar en informes y datos actualizados, las modificaciones que permanentemente se hacen a los procedimientos de diseño y de fabricación (actualización permanente y aspectos socioeconómicos).

\* Ingeniero Mecánico Universidad Nacional de Colombia, MsC en Ingeniería. Profesor adscrito a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital F.J.C.

1 Autores de: Diseño en Ingeniería Mecánica, Diseño de Máquinas y Diseño de Elementos de Máquinas, respectivamente

2 Revista Clase Empresarial: El Perfil del Profesional del Siglo XXI

profesional del próximo siglo es su alta capacidad para tomar decisiones adecuadas. En diseño, generalmente el estudiante y el profesional recién egresado buscan en sus libros de texto soluciones a problemas semejantes al que están enfrentado para "extrapolarlas" a su problema real, y se enfrentan con grandes dificultades cuando ven que las condiciones reales son diferentes a las académicas.

Esto motiva a plantear un cuestionamiento serio a la metodología y alcances de la enseñanza del diseño mecánico: ¿Se están entregando herramientas adecuadas para que el futuro ingeniero pueda tomar decisiones acertadas al enfrentar situaciones reales?

Entendiendo como función básica del ingeniero la de diseñar elementos y sistemas nuevos, mejores, más eficientes y menos costosos, así como proyectar planes y procedimientos para mejorar el funcionamiento de los sistemas existentes, se puede afirmar que es necesario complementar la formación actual del estudiante de ingeniería mecánica brindando herramientas para hacer selecciones adecuadas dentro de un universo de alternativas.

Una de las herramientas más poderosas para realizar la selección de la mejor alternativa es la conocida como "*teoría de optimización*", con la cual es posible determinar el mejor caso sin probar realmente todos los casos posibles. La aplicación de la teoría de optimización en ingeniería comienza a reportarse a partir de la década de los 70, pero aún continúa siendo desconocida en muchas instituciones de formación universitaria, y en otras, aunque conocida, no se le ha dado la importancia que merece.

*Una de las herramientas más poderosas para realizar la selección de la mejor alternativa es la conocida como "teoría de optimización", con la cual es posible determinar el mejor caso sin probar realmente todos los casos posibles.*

antecedentes

Todo elemento mecánico debe satisfacer ciertos requerimientos funcionales de la estructura o de la máquina en donde será montado. Por definición, un requerimiento funcional es una condición que debe ser satisfecha por el elemento si se espera que la máquina funcione adecuadamente. Los requerimientos funcionales pueden ser positivos y generalmente *especificados* (efectos deseables) o negativos y generalmente *implicados* (efectos indeseables).

Los primeros son influenciados por factores que son externos al elemento que se está diseñando, por lo cual no es posible cambiarlos sin considerar el efecto de ese cambio sobre los otros elementos. Los segundos siempre deben estar limitados a rangos tolerables.

Un elemento mecánico es definido mediante la especificación completa de sus materiales y geometría. El material se puede definir por propiedades explícitas (módulo de elasticidad, densidad) y por algunas otras propiedades que no pueden ser modeladas matemáticamente (mecanizado, restricciones de tamaños estándar). Por otra parte, la geometría puede ser definida únicamente a partir de ciertos parámetros geométricos independientes.

Al hacer un análisis del proceso de diseño de elementos mecánicos, se encuentra que las ecuaciones de diseño generalmente expresan, ya sea los requerimientos funcionales o los efectos indeseables, en términos de los parámetros. Estos se pueden clasificar en tres grupos, como se muestra en la Figura No. 1.

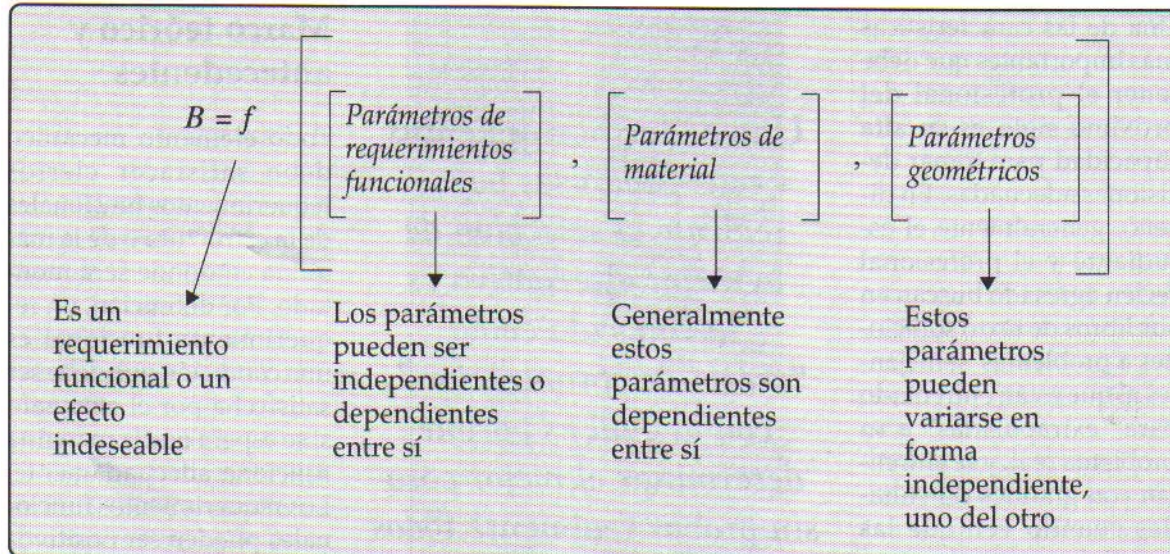


Figura No. 1. Parámetros en una ecuación de diseño.

Por definición, un **diseño adecuado** consiste en la selección de los materiales y los valores de los parámetros geométricos independientes para un elemento mecánico, de tal forma que este satisfaga sus requerimientos funcionales y mantenga dentro de márgenes tolerables los efectos indeseables. El diseño adecuado, generalmente implica la técnica de prueba-error, debido a que el objetivo de diseño es tan amplio que resulta en un infinito número de posibles soluciones.

En muchos casos se podría considerar un diseño adecuado como óptimo. Esto sucede en aquellos casos donde los efectos indeseables están relativamente lejos de sus límites de tolerancia, y donde el costo del diseño es minimizado por la aplicación de métodos de prueba-error, usando la experiencia y el buen juicio con algún análisis simple si es necesario. Por ejemplo, no será necesario gastar mucho tiempo o esfuerzo diseñando un tornillo para colocarlo en un mueble sencillo; sin embargo, si el tornillo debe ser usado en grandes cantidades en un avión, donde el peso es un factor importante, sí resulta necesario hacer un esfuerzo para diseñar el elemento con base en el mínimo peso.

A pesar de que el diseño adecuado de un elemento mecánico haya resultado en un comporta-

muchos años, en muchos casos un estudio de su diseño óptimo resultará en ahorros invaluables o en un apreciable mejoramiento del comportamiento o de la calidad del elemento. Esto permite afirmar que el sólo hecho de que un diseño sea adecuado no es criterio suficiente para descartar la posibilidad de realizar un estudio de optimización. También hay casos en los que la aplicación de las técnicas de diseño adecuado no permiten una solución a un problema, debido a ciertas limitaciones prácticas, lo cual conduce equivocadamente a la conclusión de que no es posible el diseño. Estas dos últimas situaciones pueden ser abordadas desde el punto de vista del diseño óptimo.

Por definición, **el diseño óptimo** de un elemento mecánico es la selección del material y de los valores de los parámetros geométricos independientes, con el objetivo explícito de minimizar un efecto indeseable o de maximizar un requerimiento funcional, teniendo en cuenta que el elemento satisfaga otros requerimientos funcionales y que otros efectos indeseables sean mantenidos dentro de sus límites tolerables. Una vez se seleccionen el "objetivo explícito" y las variables independientes, se procede a ensamblar el modelo que describa cómo se relacionan las variables del problema y cómo el criterio de rendimiento es influenciado por las variables independientes.

En principio, los estudios de optimización pueden llevarse a cabo por experimentación directa con el sistema. Así, las variables independientes del sistema o proceso pueden fijarse en valores seleccionados, el sistema puede operar en estas condiciones y se puede evaluar el índice de rendimiento del sistema utilizando el rendimiento observado. Después tendría que utilizarse la metodología de optimización para predecir opciones mejoradas de los valores de las variables independientes y continuar de esta manera los experimentos.

En la práctica la mayor parte de los estudios de optimización se efectúan con ayuda de un modelo, que es una representación matemática simplificada del sistema real. Se utilizan modelos porque es muy costoso, lento y arriesgado usar el sistema real para llevar a cabo el estudio. Comúnmente se utilizan modelos en ingeniería de diseño, porque ofrecen la forma más barata y rápida de estudiar los efectos de cambios en variables clave del diseño sobre el rendimiento del sistema.

En general, el modelo se compone de material básico y de las ecuaciones de balance (o equilibrio) de energía, de relaciones de diseño de ingeniería y de las ecuaciones de propiedades físicas que describen los fenómenos físicos que tienen lugar en el sistema.

En términos genéricos, un problema de diseño óptimo puede expresarse matemáticamente como la optimización (esto es, minimización o maximización) de una función Q, cuyos argumentos  $X_1, X_2, \dots, X_n$  son variables independientes

$$Q \uparrow \downarrow = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

sujeta a restricciones de

$$h_k = (X_1, X_2, \dots, X_n) = 0 \quad k = 1, 2, \dots, K$$

a restricciones de

y a límites de las variables independientes:

$$X_i^u \geq X_i \geq X_i^l = \quad i = 1, 2, \dots, N$$

denominado: problema de *optimización restringido*.

$$J = K = 0$$

$$y \quad X_i^{(u)} = -X_i^{(l)} = \omega, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Se denomina: problema de *optimización no restringido*.

De acuerdo con esta diferenciación entre los dos tipos de problemas de optimización, existen muchas posibilidades para abordarlos, tal como se muestra en la Figura No. 2.

En las últimas dos décadas los problemas de optimización han merecido gran atención por parte de investigadores tanto desde el punto de vista de la rigurosidad matemática como de las aplicaciones. Uno de los ingenieros que más ha trabajado en esta área del conocimiento, aplicada a la ingeniería mecánica, ha sido Ray C. Johnson, quien expone sus criterios y resultados en dos textos<sup>3</sup>. En el segundo de ellos presenta con detalle una técnica denominada "Método de diseño "óptimo", acompañada de una serie de ejemplos y de un algoritmo en lenguaje Fortran, aunque el propio autor dice: "(...) ese método no debe entenderse como una *receta de cocina*", sino que debe realizarse un análisis muy detallado de las características propias del sistema y del elemento que se quiere optimizar.

<sup>3</sup> Johnson R.C., Mechanical Design Synthesis, R.E. KriegerCo., 2ed. Ed. 1978.  
Johnson R.C., Optimum Design of Mechanical Elements, Wiley-Interscience, 1980.

ciente a la "Design Engineering División" de la ASME, ha financiado conferencias orientadas a la optimización en la ingeniería de diseño; algunas de las presentaciones han sido publicadas en el Journal of Mechanical Design, ASME Transacción. Ragsdell<sup>4</sup> presenta un breve resumen de algunos artículos en las áreas de aplicaciones al diseño de máquinas y métodos numéricos en la optimización de diseños, mientras que la propia ASME<sup>5</sup> ha publicado un volumen especial sobre el tema que contiene varios artículos acerca de los avances en los métodos de optimización y sus aplicaciones de ingeniería en las áreas de diseño de mecanismos, estructural, optimización de redes hidráulicas, diseño de resortes helicoidales, optimización de chumaceras hidrostáticas, etc.

A nivel de Latinoamérica vale la pena resaltar los trabajos adelantados por Chicurel<sup>6</sup>, profesor de la UNAM (México), quien ha realizado varias ponencias sobre el tema haciendo énfasis en la aplicación de un programa denominado OPTIM, para el diseño óptimo de varios tipos de elementos mecánicos.

En Colombia, aunque con seguridad existen trabajos (principalmente tesis de grado) en los que se ha involucrado algún tipo de proceso de optimización para el diseño de elementos específicos, no se reconoce ningún trabajo sistemático de investigación sobre el tema.

## Conclusiones y Recomendaciones

El estudio de una metodología aplicable al proceso de diseño de elementos mecánicos mediante el uso de técnicas de optimización tiene un enorme potencial de aplicación, tanto a nivel académico como industrial.

Al poderse configurar desde la academia un grupo de investigación relacionado con este tipo de aplicaciones, indudablemente se tendrá una posibilidad de interacción con la industria, principalmente mediante el ofrecimiento de servicios de consultoría o diseño óptimo de elementos mecánicos específicos.

Se recomienda, con base en esta presentación, inicialmente la conformación de grupos de interés, como sucede en la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital F.J.C., de carácter eminentemente transdisciplinario, en donde se articulen conocimientos en mecánica, sistemas y matemáticas; su propósito debe ser la profundización en las bases teóricas de la optimización, para que posteriormente se puedan generar modelos verificados que se utilicen en el futuro en forma práctica.

*Al poderse configurar desde la academia un grupo de investigación se tendrá una posibilidad de interacción con la industria, principalmente mediante el ofrecimiento de servicios de consultoría o diseño óptimo de elementos mecánicos específicos.*

4 Ragsdell K.M., Design and Automation. Journal of Mechanical Design, Trans. Of ASME 102, 424-429.

5 Mayne R.W., Ragsdell K.M., Progress in Engineering Optimization, ASME, Nueva York.

6 Chicurel E., Global Optimum Search in Design. 5<sup>a</sup>. Congress on Theory of Mechanics and Mechanisms. Murray-Lasso M.A., Chicurel E., et al., Aplicaciones de computación a la ingeniería. Limusa. 1975

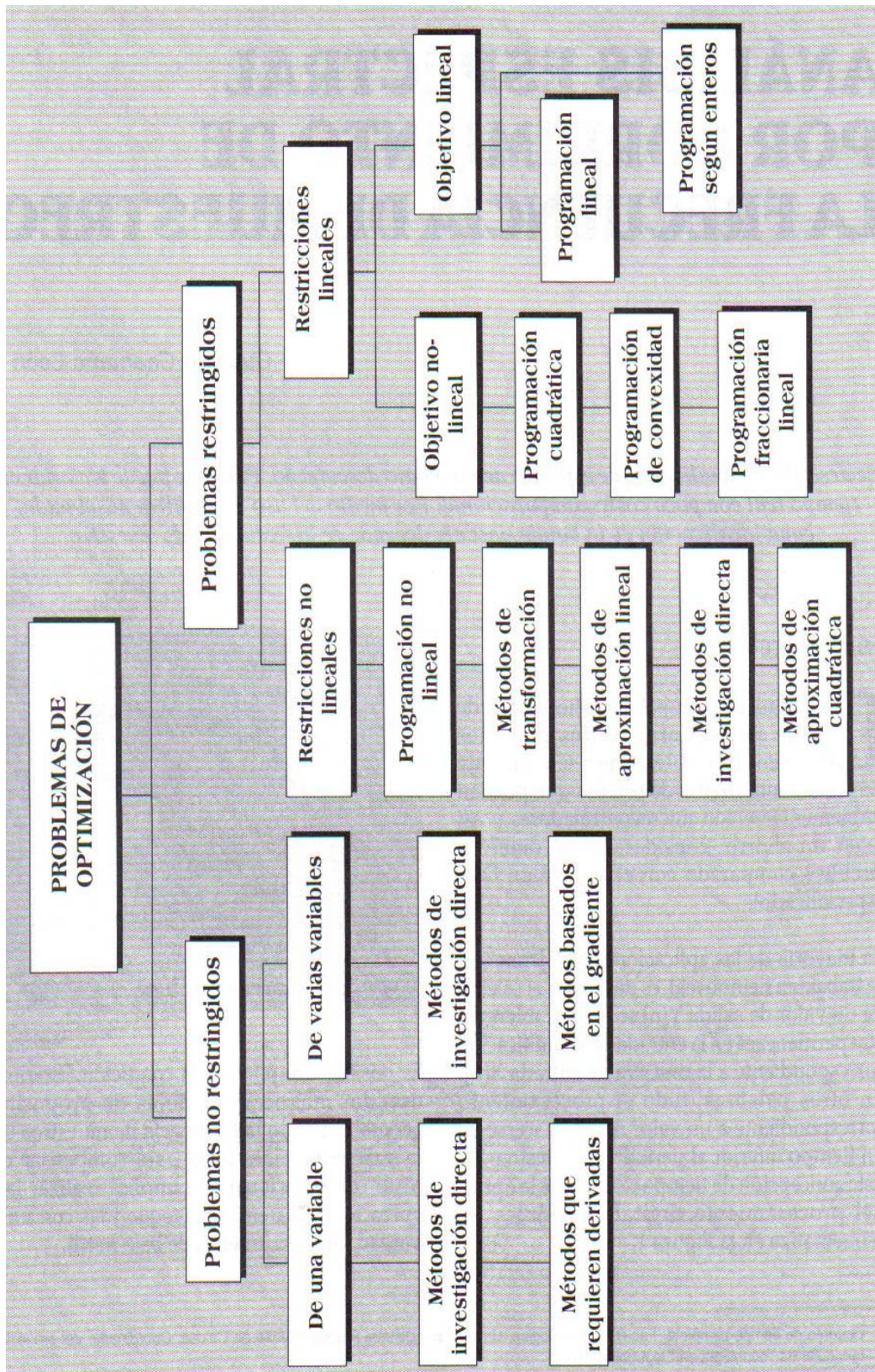


Figura No. 2. Clasificación de los problemas de optimización.