

Ejemplos de Aplicación de la Optimización Estructural mediante Elementos Finitos

Lina M. Acosta. Universidad Antonio Nariño, linacosta@uan.edu.co

Resumen — En el proceso de diseño convencional, la metodología aplicada está directamente relacionada con la experiencia del diseñador y las restricciones impuestas al proyecto; es una metodología basada en la prueba y error, que puede llegar a ser un proceso dispendioso; se basa fundamentalmente en decisiones tomadas de acuerdo con el criterio de quien diseña, quien define que debe modificarse: material, geometría, dimensiones, hasta lograr un diseño final que no siempre tiene en cuenta análisis de optimización que permitan un mejor diseño.

En la práctica del diseño mecánico se analizan aspectos de forma, dimensiones y topología, la gran demanda de productos obliga a que el diseñador busque nuevos métodos y herramientas que le permitan optimizar su trabajo y el resultado de éste: los elementos, máquinas y estructuras. En la actualidad esto ha sido posible gracias al desarrollo de herramientas computacionales, la optimización topológica y el método de los elementos finitos, entre otras.

Este trabajo busca ilustrar el uso del método de los elementos finitos para llevar a cabo la optimización de la topología, a través del software Ansys. De dos problemas sencillos; el primero es la optimización de las dimensiones de la sección de una viga simple y el segundo es un problema de optimización de forma.

Palabras clave — optimización, elementos finitos, diseño mecánico, diseño estructural.

Abstract — In the conventional design process, the applied methodology is directly related to the designer's experience and the constraints of the project itself; it is a methodology based on test-error, that could become expensive; it is basically based on decisions taken according to the criteria of the designer, who usually defines what should be modified: material, geometry, dimensions, until reaching the final design that not always has into account analysis for optimization that allows for a better design.

In the practice of mechanical design, several aspects are analyzed such as shape, dimensions and topology, and the demand for products encourage the designer to search for new methods and tools in order to optimize the resulting product: elements, machines and structures. At present, this has been possible thanks to the development of computational tools, topology optimization and the finite element method, among others.

This work is aimed to illustrate the finite element method to carry out optimization of the topology through the software Ansys for two simple problems: the first one is the optimization of the dimensions of the section of a simple joist and the second one is a problem about shape optimization.

Keywords — optimization, finite elements, mechanical design, structural design.

I. INTRODUCCIÓN

El hombre en su lucha por la vida y gracias a su inteligencia aprendió a aprovechar de manera racional la naturaleza, y de manera intuitiva se enfrentó a problemas

de optimización: como mejorar sus herramientas, conseguir abrigo y como mejorar su entorno.

El origen de la optimización topológica fue posterior a la segunda guerra mundial y de acuerdo a la literatura, fue a raíz de la investigación de operaciones utilizada por los servicios militares prestados a principios de la segunda guerra mundial.

Debido a los esfuerzos bélicos, existía una necesidad urgente de asignar recursos escasos a las distintas operaciones militares y a las actividades dentro de cada operación, en la forma más efectiva. Al terminar la guerra, el éxito de la investigación de operaciones en las actividades bélicas generó un gran interés en sus aplicaciones fuera del campo militar y se ha aplicado con exitosos resultados en el diseño mecánico y estructural [1].

Los métodos de optimización se pueden clasificar en: métodos clásicos, como la programación lineal, lineal entera mixta, no lineal, estocástica, dinámica. Y los métodos metaheurísticos que imitan fenómenos sencillos observados en la naturaleza: algoritmos evolutivos, por ejemplo.

La *programación lineal* resuelve problemas donde todas las relaciones entre las variables son lineales, tanto en las restricciones como en la función objetivo [2].

El objeto de la programación lineal es optimizar (*minimizar o maximizar*) una función lineal de n variables sujeto a restricciones lineales de igualdad o desigualdad, denominada *función objetivo*. En la programación lineal se distinguen cuatro componentes [3]:

- El conjunto de datos.
- El conjunto de variables involucradas en el problema, junto con sus dominios respectivos de definición.
- El conjunto de restricciones lineales del problema que definen el conjunto de soluciones admisibles.
- La función lineal que debe ser optimizada (minimizada o maximizada).

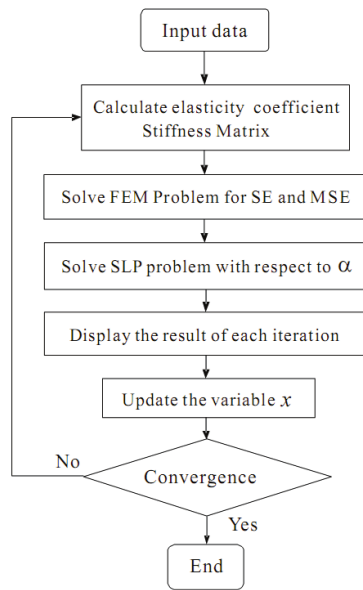


Fig. 1: Diagrama de flujo optimización del diseño [6]

Los algoritmos genéticos, hacen parte de un área de la optimización y se han utilizado para resolver diversos problemas. Se puede decir que los algoritmos genéticos son algoritmos de búsqueda basados en los mecanismos de selección natural y genética natural [4]. Combinan la supervivencia de los más compatibles entre las estructuras de cadenas, con una estructura de información ya aleatorizada, intercambiada para construir un algoritmo de búsqueda con algunas de las capacidades de innovación de la búsqueda humana [5].

II. OPTIMIZACIÓN MEDIANTE LA HERRAMIENTA ANSYS

El análisis por elementos finitos (EF) ha tenido una gran influencia en el diseño mecánico y estructural y es una de las herramientas más útiles en el campo del diseño en la mayoría de las áreas de la ingeniería.

El objetivo del problema de topología estructural es determinar la distribución óptima de material dentro de un dominio de diseño que minimiza una función de costo dada y satisface una serie de restricciones.

El dominio se discretiza mediante elementos finitos, y el objetivo es optimizar la distribución de la densidad del material, hasta encontrar la topología que conduzca a una solución convergente [7], los métodos para optimizar son generalmente iterativos, lo que conlleva a cambios en la forma de la estructura.

Prácticamente cualquier aspecto de un diseño se puede optimizar: dimensiones (como el grosor), forma (como radios de empalme), la colocación de los soportes, el costo de fabricación, la frecuencia natural, los bienes materiales, y así sucesivamente. En realidad, cualquier elemento de ANSYS que se pueda expresar en términos de parámetros puede ser sometido a la optimización del diseño.

El programa ANSYS ofrece dos métodos de optimización que permiten dar solución a un gran número de problemas. El método de aproximación del subproblema, el cual es un avanzado método de orden cero que pueden ser aplicado de forma eficaz a la mayoría de problemas de ingeniería.

El programa realiza una serie de ciclos de análisis, de modificación y evaluación. Es decir, se lleva a cabo un análisis del diseño inicial, los resultados se evalúan con base en los criterios del diseño especificado y el diseño se

modifica de acuerdo a las necesidades. Este proceso se repite hasta que se cumplen ciertos criterios [8].

III. METODOLOGÍA

Antes de describir la metodología que se va a seguir en la solución de los problemas de optimización, se hará una breve descripción de algunos términos que se van a emplear en el proceso de optimización.

Variables de diseño (VD): son cantidades independientes que cambian con el fin de obtener los valores del diseño óptimo. Se especifican unos límites inferior y superior, los cuales delimitan los posibles valores de las VD.

Variables de estado (SV): son cantidades que limitan el diseño y por lo general son cantidades de respuesta que son función de las variables de diseño.

Función Objetivo: es la variable dependiente que se está tratando de minimizar, debe ser función de las variables de diseño.

A continuación se detallan los pasos en el procedimiento para la optimización topológica (metodología recomendada en la guía de Ansys).

La metodología que se va a aplicar en los dos casos parte de la formulación del problema, como se haría para cualquier análisis elástico – lineal; se deben definir las características del material (módulo de elasticidad, relación de Poisson); se define el tipo de elemento para la optimización topológica y la aplicación de cargas.

Una vez se ha definido el problema estructural, se pasa a especificar las zonas o regiones que se van a optimizar, los casos de carga y definir el proceso de optimización: definir las funciones de optimización implicadas en el problema para la solución de éste.

IV. EJEMPLOS

Este es un ejemplo sencillo con el que se pretende demostrar la aplicación de método de optimización de dimensiones a través de la herramienta Ansys, mediante la optimización de una viga simple biapoyada, de sección rectangular. Se consideró una carga aplicada puntual, ubicada como se muestra en la Fig. 2. El análisis estructural se efectuó en tensión plana, aplicando el método de los elementos finitos.

La malla se obtuvo de manera automática utilizando elementos beam 3. La función objetivo se definió como el peso de la viga, el cual se quiere minimizar, se impusieron restricciones en los extremos de la viga.

Finalmente, se obtuvo la solución del problema encontrando las dimensiones óptimas de la sección transversal de la viga (ancho y alto), sin exceder el esfuerzo permisible.

Las especificaciones y parámetros del ejemplo se presentan en la tabla 1.

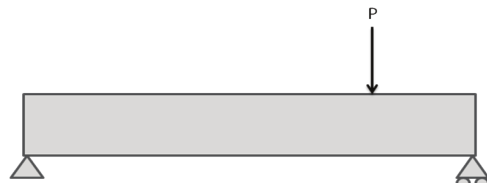


Fig. 2. Primer problema a optimizar. Dominio de diseño y condiciones de contorno
Fuente: propia

La figura 3 muestra la evolución del proceso de optimización a través de los diferentes valores de la sección transversal de la viga, obtenidos a través de las 10 iteraciones que se realizaron.

TABLA 1
PARÁMETROS EMPLEADOS EN LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Variables de diseño	
Ancho	10 mm <W<30 mm
Alto	10 mm <H<30 mm
Tolerancia	0,01 mm
Tipo de elemento	
Beam 3 2D	3 grados de libertad.
Constantes reales	
Area	W*H
I_{zz}	$1/12 (W*H)^3$
Tipo de Analisis	
	Estático
Función Objetivo	
	Volumen
Variables de estado	
Esfuerzos Máximos	$S_{max} = 281,25 \text{ Mpa}$
	$S_{max} = 281,25 \text{ Mpa}$
Variables de estado	
S_{max}	$195 \text{ MPa} < S_{max} < 200 \text{ MPa}$
S_{max}	$195 \text{ MPa} < S_{max} < 200 \text{ MPa}$
Tolerancia	0,001 Mpa
No. de Iteraciones y método de solución	
	10 – Primer orden
Resultados	
Valores óptimos	
Ancho	W= 13,24 mm
Alto	A= 29,16 mm
Volumen óptimo	V = 386100 mm ³
Material	
Módulo elástico	200 Gpa
Relación de Poisson	0,3

Fuente: propia

Para la iteración 10, se obtuvo un valor óptimo del ancho de la viga W= 13,24 mm y de altura de la sección transversal H= 29,16 mm.

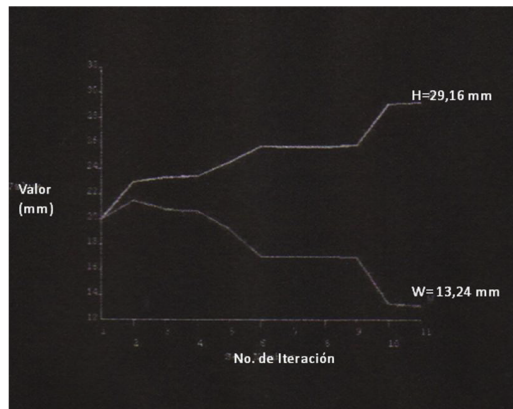


Fig. 3. Evolución de los valores de W y H en el proceso de optimización
Fuente: propia

Para el segundo ejemplo, se parte de dos diseños iniciales de una viga (fig. 5 y fig. 7) en el primer diseño, se imponen restricciones únicamente en los extremos y en el segundo las restricciones se aplican también en el centro de la viga.

El problema busca, mostrar como una ligera variación (en este caso en las restricciones) puede generar diseños finales bastante distintos.

El problema básico se presenta en la fig. 4. Se resuelve con el método de optimización topológica de Ansys.

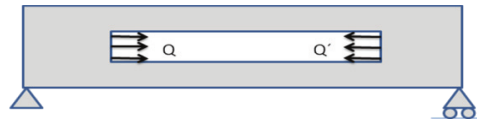


Fig. 4. Problema a optimizar No. 2. Dominio de diseño y condiciones de contorno
Fuente: propia

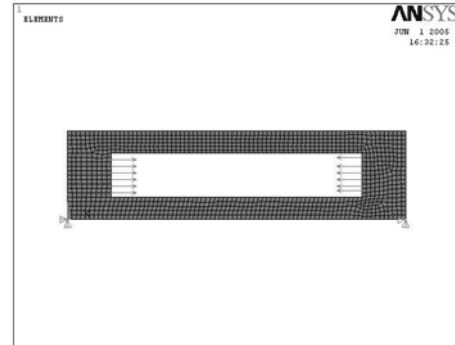


Fig. 5. Enmallado del ejemplo 2. Restricciones impuestas en los extremos (primer caso)
Fuente: propia

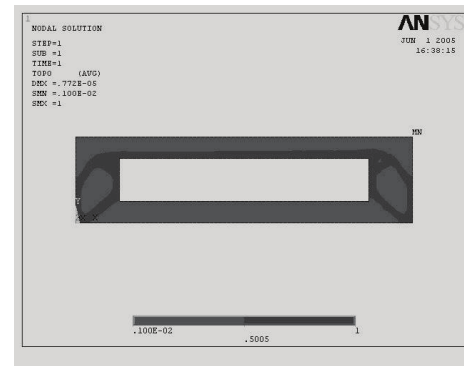


Fig. 6. Respuesta a la optimización del ejemplo 2. Restricciones impuestas en los extremos (primer caso)
Fuente: propia

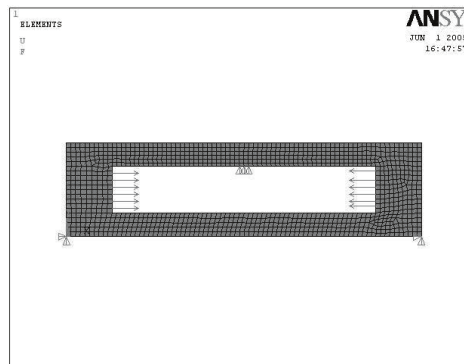


Fig. 7. Enmallado del ejemplo 2. Restricciones impuestas en los extremos y en el centro (segundo caso)
Fuente: propia

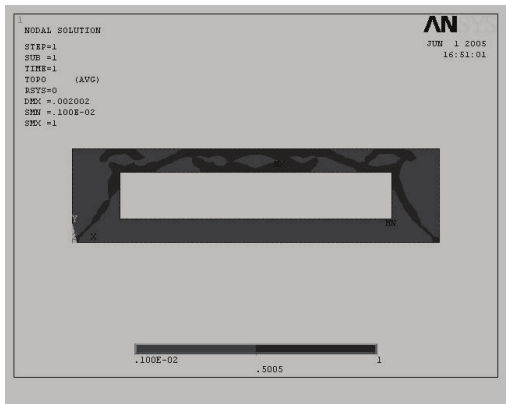


Fig. 8. Respuesta a la optimización del ejemplo 2. Restricciones impuestas en los extremos y en el centro (segundo caso)
Fuente: propia.

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el primer ejemplo (ver fig. 3), muestran valores coherentes en relación con los parámetros dados para la solución del problema. El proceso de optimización permitió obtener los mejores valores en las dimensiones de la sección transversal de la viga, minimizando el peso y sin exceder los esfuerzos permisibles.

En la fig. 3. Se aprecia como el ancho de la base decrece desde las primeras iteraciones y simultáneamente, la altura de la sección aumenta, produciendo un significativo decremento del peso estructural.

Para los ejemplos resueltos, la convergencia fue rápida debido a la sencillez de los modelos. A medida que aumenta la complejidad de los problemas, la velocidad de la convergencia es menor.

En el segundo ejemplo, el proceso de optimización se lleva a cabo en dos casos diferentes a partir de dos diseños iniciales, en los que la única diferencia han sido las restricciones impuestas; obteniéndose un diseño final diferente para cada caso.

En el segundo ejemplo, las figuras 6 y 8 de optimización del problema, proponen la forma de la viga para el problema estructural planteado con una reducción de volumen cercana al 50%.

El método de los elementos finitos y las herramientas computacionales son cada vez más potentes, lo que hace que estos métodos sean también muy utilizados en el proceso de diseño mecánico y estructural.

En los dos problemas presentados, se evidencia la importancia de escoger y aplicar adecuadamente las restricciones, ya que el problema puede ser resuelto de manera satisfactoria desde el punto de vista matemático, pero desde la perspectiva de ingeniería puede no haberse logrado el diseño final esperado.

El éxito de estos tipos de análisis, radica en la comprensión que se tengan de los métodos y herramientas utilizados. Se recomienda iniciar el manejo del software con problemas sencillos, para poco a poco aumentar el grado de dificultad de los problemas por resolver.

La optimización topológica es un método que bien vale la pena involucrar en el proceso de diseño. Que el proyectista

no se limite y pueda obtener diseños a menor costo, más seguros y con recursos de tiempo y reprocesos menores.

REFERENCIAS

- [1] Y. Seok Oh, Design, W. H. Lee, H. E. Stephanou, G. D. Skidmore. Optimization, and experiments of compliant microgripper.
- [2] <http://antiguo.itson.mx>
- [3] T. E. Bruns and D. A. Tortorelli. Topology optimization of geometrically Nonlinear Structures and Compliant Mechanisms, Department of Mechanical and Industrial Engineering. University of Illinois at Urbana – Champaign
- [4] Guía de Ansys: Chapter 1: Design Optimization
- [5] E. Castillo, Antonio J. Conejo, P. Pedregal, R. García y N. Alguacil. Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia.– 2002.
- [6] Página Personal de Ramón Medina (Online) Disponible en: http://www.ramonmedina.name/files/todec_g.pdf.
- [7] D. Goldberg, Genetics Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison Wesley - 1989
- [8] P. T. Rodríguez-Piñero. Introducción a los algoritmos genéticos y sus aplicaciones,
- [9] Compliant Mechanism Design using a Hybrid Cellular Automata Algorithm, Neal PatelAdvisor: Dr. John Renaud, 18th Graduate Student Conference University of Notre Dame