

Contribución sobre diseño topológico de una carcasa para generador eólico de eje vertical

Contribution on the topological design of a casing for a vertical axis wind generator.

Presentación: 26 y 27 de octubre de 2022

Héctor O. Mina

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco - Grupo Diseño, gestión y desarrollo de nuevos productos - DGDNP

hector.omar.mina@gmail.com

Walter R. Tonini

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco - Grupo Diseño, gestión y desarrollo de nuevos productos - DGDNP

wtonini@sanfrancisco.utn.edu.ar

Alejandro H. A. Bailo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco - Grupo Diseño, gestión y desarrollo de nuevos productos - DGDNP

alejandrosoliddesign.com.ar

Emanuel A. Giordano

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco - Grupo Diseño, gestión y desarrollo de nuevos productos - DGDNP

ema_giordano@hotmail.com.ar

Resumen

La aplicación de simulaciones computacionales basadas en optimización topológica (OT) no paramétrica de los cuerpos o piezas, como reducción de peso o deformaciones, es un método numérico que ha captado el interés de ingenieros y científicos en los últimos años, pues permite la síntesis de estructuras o cuerpos con valores óptimos de uno o varios de sus parámetros físicos. En este trabajo se presenta una implementación de la técnica de OT aplicada al diseño de una carcasa de un generador eólico de eje vertical tipo Savonius para definir la forma geométrica en un escenario de cargas estáticas que varían su dirección durante las iteraciones del cálculo.

Palabras clave: diseño mecánico, optimización topológica, reducción de peso, simulación

Abstract

The application of computational simulations based on non-parametric topological optimization (OT) of bodies or pieces, such as weight reduction or deformations, is a numerical method that has captured the interest of engineers and scientists in recent years, since it allows the synthesis of structures or bodies with optimum values of one or more of their physical parameters. This paper presents an implementation of the OT technique applied to the design of a Savonius type vertical axis wind generator casing to define the geometric shape in a scenario of static loads that vary their direction during the iterations of the calculation.

Keywords: mechanical design, topological optimization, weight reduction

Introducción

La optimización de topología es una forma de optimización estructural de piezas que ha tomado auge los últimos años gracias a la fabricación aditiva. Se utiliza en la fase inicial del diseño para predecir la distribución óptima del material dentro de un determinado espacio. El método matemático lo propusieron (Kikuchi et al., 1988:401-417) y (Bendsoe et ál., 2003) lo denominó Material Isotrópico Sólido con Penalización (SIMP – Solid Isotropic Material with Penalty), el mismo predice una distribución óptima del material dentro de un espacio de diseño determinado, para casos de carga determinados, condiciones de contorno, restricciones de fabricación y requisitos de rendimiento. Según (Bendsoe, 1998: 197-224): "la optimización de la forma en su configuración más general debe consistir en una determinación para cada punto del espacio, independientemente de que haya material en ese punto o no". Se aplica OT a una carcasa de un generador eólico de eje vertical tipo Savonius para definir la forma geométrica en un escenario de cargas estáticas que varían su dirección durante las iteraciones del cálculo; con el objetivo de obtener una geometría CAD óptima, evaluando el comportamiento de la OT en piezas delgadas.

Desarrollo

En esta sección, se explica el proceso paso a paso para optimizar la carcasa del generador, con el fin de que sea útil para su replicación en otras piezas (Nishiwaki et al., 1998:535 -559).

1. En la ventana de Percepción de diseño, elegimos Estudio de topología (Fig. 1).

En este ejemplo, configuraremos un estudio de topología con el objetivo de encontrar la mayor rigidez por unidad de peso de una carcasa de un generador eólico de eje vertical.

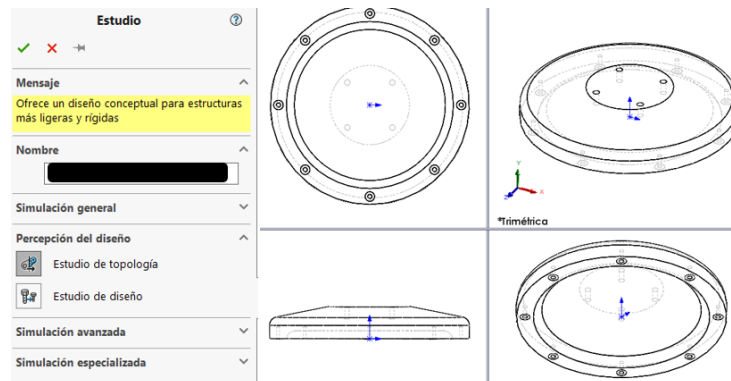


Figura 1. Estudio de Topología de la Carcasa.

2. Seleccionamos las Propiedades del Estudio: Topología.

La simulación topológica es similar a la simulación estática en cuanto a su definición de las variables generales y condiciones de contorno. Se agrega dos nuevas entradas: los objetivos y restricciones, y los controles de fabricación. El objetivo del estudio de topología puede ser minimizar la masa o el desplazamiento de la pieza o bien maximizar su rigidez (mejor relación rigidez-peso), siendo buena costumbre comenzar con esta última. En cualquiera de los 3 casos posibles, siempre se busca minimizar la masa (Cazacu y Grama, 2014).

Por último, se pueden agregar opcionalmente los *controles de fabricación*. Los mismos son regiones protegidas, de modo que se podrá excluir áreas del modelo del proceso de topología y del control de espesor, y establecer el grosor mínimo de los componentes además de la simetría del modelo y la definición de la dirección de desmoldeo para piezas en fundición. Para la Configuración de región conservada (bloqueada), debemos seleccionar Regiones con

cargas y sujeciones (Fig. 2). Esto nos sirve para que todas las regiones donde hemos definido cargas y sujeciones se conserven de forma predeterminada, es decir, no se hará optimización de estas caras conservadas.

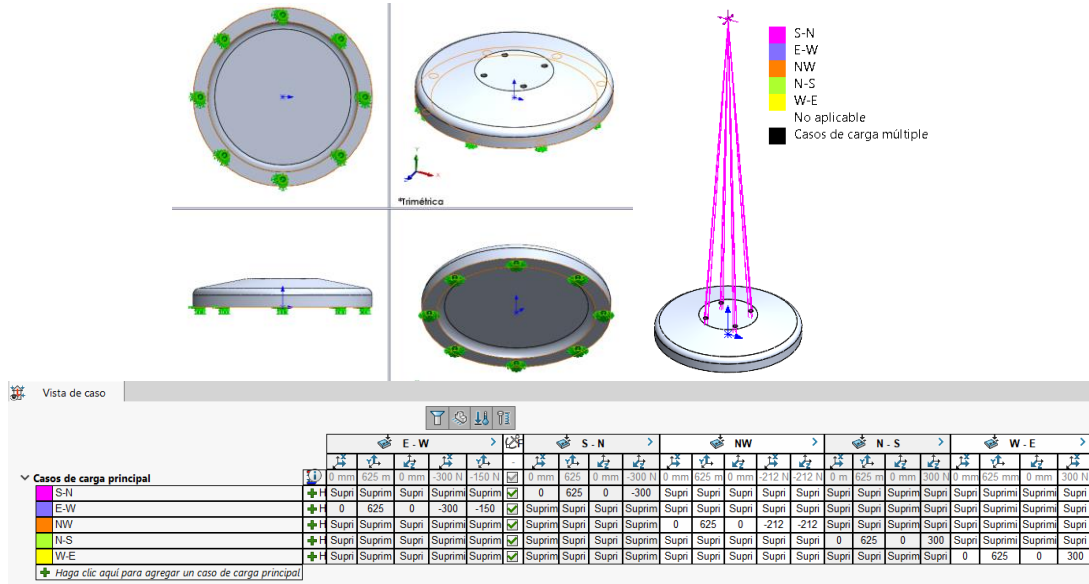


Figura 2. Sujeciones (der.) y Cargas múltiples (Izq.).

3. Definimos el material (Material: Aluminio 1060), las sujeciones y las cargas externas.

En el gestor de estudio de topología, en Objetivos y restricciones, elegimos la opción de mayor rigidez al cociente de peso (Fig. 3). Se colocan cargas múltiples representativas de cada dirección de viento predominante en la región.

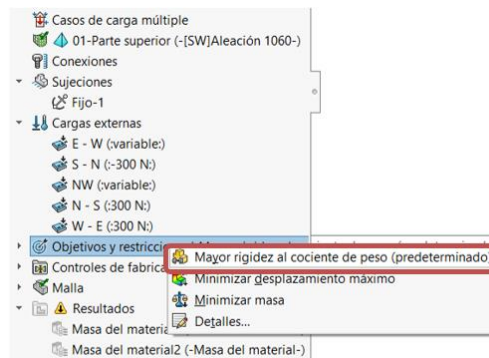


Figura 3. Objetivos y restricciones – mayor rigidez por unidad de peso

Disponemos de 3 objetivos, los cuales son:

- **Mayor rigidez al cociente de peso (predeterminado):** Cuando se selecciona Mayor rigidez al cociente de peso, el algoritmo trata de minimizar el cumplimiento global del modelo, que es una medida de la flexibilidad general (recíproco de la rigidez). El cumplimiento se define por la suma de energía de todos los elementos.
- **Minimizar desplazamiento máximo:** La optimización proporciona el diseño más rígido que pesa menos que el diseño inicial y minimiza el desplazamiento máximo observado.
- **Minimizar masa con restricciones de desplazamiento:** El algoritmo busca reducir la masa de un componente mientras se restringe el desplazamiento.

4. En la ventana de Objetivos y Restricciones, vamos a reducir el porcentaje de masa (Fig. 4).

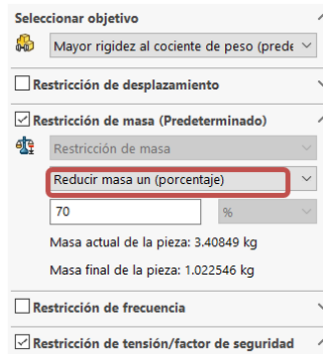


Figura 4. Reducción del porcentaje de masa.

En la primera restricción, para Reducir masa un (porcentaje), definimos 50 (%) como Valor de restricción. Las restricciones limitan las soluciones de espacio de diseño, disponemos de 4 tipos de restricciones, a saber:

- **Restricción de masa:** El algoritmo de optimización intentará alcanzar la reducción de masa objetiva para la forma final mediante un proceso iterativo.
- **Restricción de desplazamiento:** Establece el límite superior para el componente de desplazamiento seleccionado.
- **Restricción de frecuencia** restringe frecuencias o rangos de frecuencias naturales.
- **Restricción de tensión/factor de seguridad** limita la tensión o un valor de seguridad.

5. En el gestor de estudio de topología, elegimos **Controles de fabricación y agregamos región conservada (Fig. 5).**

En Región conservada agregamos todas aquellas caras que necesitamos conservar (la ventana ofrece la posibilidad de dar un valor de profundidad a esa región conservada).

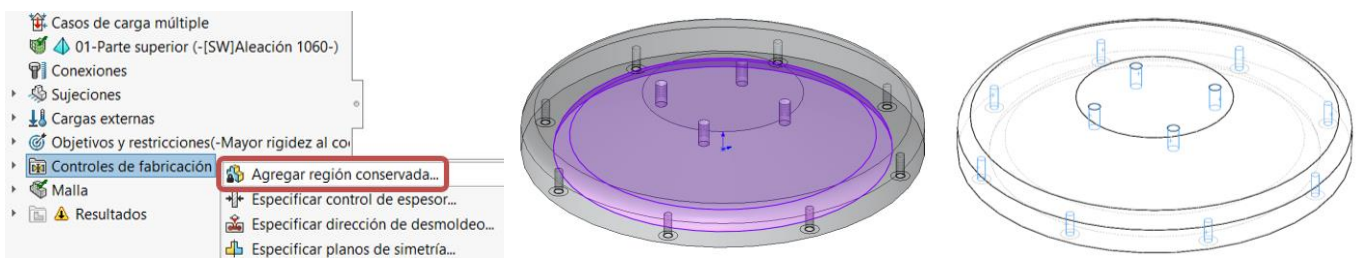


Figura 5. Cuadro de diálogo región conservada.

6. **Malla el modelo y su configuración (Fig. 6).**



Tipo de malla: Malla sólida - Mallador utilizado: Malla estándar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad: 16 puntos
Tamaño de elemento: 2 mm - Tolerancia: 0,1 mm
Número total de nodos: 157536
Número total de elementos: 858026
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3 : 99,4

Figura 6. Malla del modelo y su detalle.

7. **Ejecutamos este estudio (Fig. 7).**

El algoritmo de optimización intentará alcanzar la convergencia. Podemos consultar en tiempo real o finalizadas las iteraciones la convergencia tanto del Objetivo como de la Restricción (Pedersen and Allinger, 2006: 147-156).

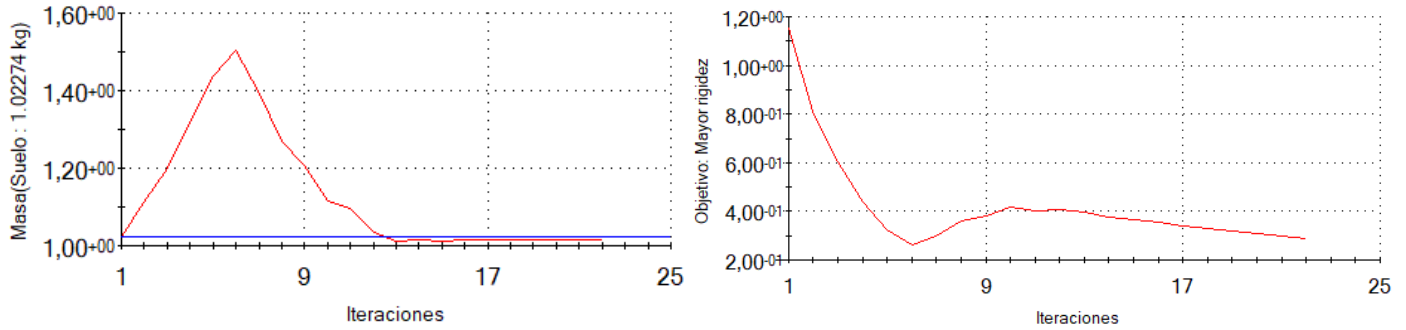


Figura 7. Convergencia de rigidez y de masa.

8. Visualización de los resultados (Fig. 8)

En Resultados, el plot *Masa del material* nos muestra isovalores de las densidades de masas relativas de los elementos. Se puede controlar con un deslizador los valores de todos los elementos con densidades de masa relativas. Es posible desplazar el control deslizante del isovalor hacia la derecha para eliminar un poco más la masa de la forma optimizada.

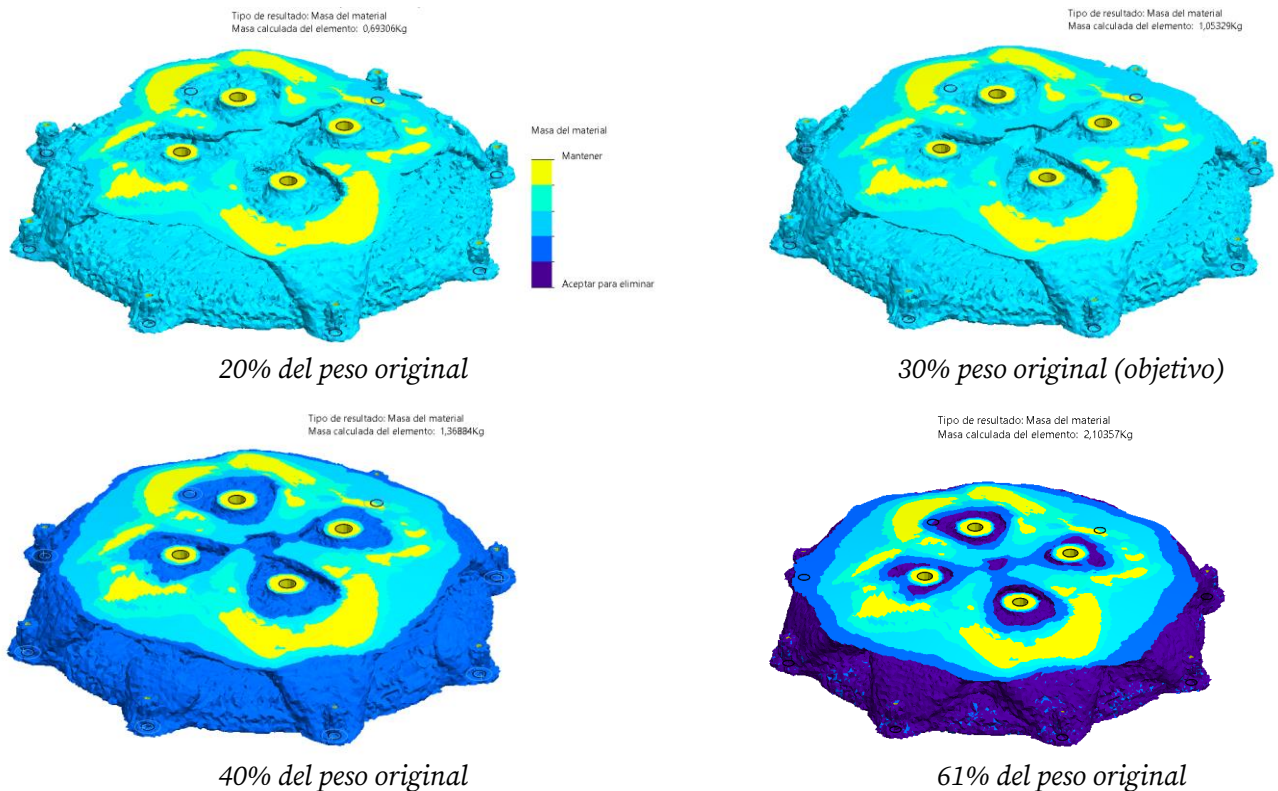


Figura 8. Visualización de distintos isovalores de densidad de masa

9. Cálculo de la malla suavizada (Fig. 9)

El programa crea superficies lisas de la forma optimizada, suaviza al máximo y asigna un color único. Se puede exportar los datos de malla suavizada de la forma optimizada como nueva geometría.

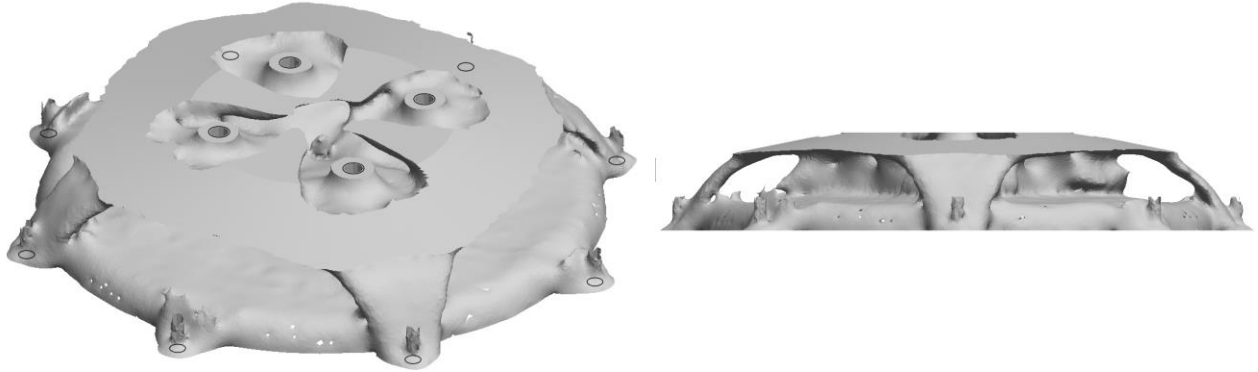


Figura 9. Cálculo de la malla suavizada – resultado.

Conclusiones

Las topologías obtenidas llevan, después de un proceso de interpretación, a piezas mecánicas más livianas, manteniendo una resistencia mecánica comparable, según el análisis estático. Se logró reducir un 70% el peso de la pieza conservando la forma resultante para fabricación aditiva. Como trabajo a futuro se planea rediseñar la misma para adaptarla a procesos de fabricación convencionales. En este aspecto, el estudio topológico realizado nos da las pautas iniciales ya que sugiere que se pueden eliminar algunos agujeros de la brida inferior y generar nervios de unión entre los restantes y los agujeros superiores. Este trabajo es un primer paso para el diseño y posterior prototipo de un generador eólico de eje vertical para vientos de baja velocidad (mayores a 1,5 m/s) predominante en la región.

Referencias

- Bendsoe, MP., Kikuchi N., Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 71, no. 2, pp. 197-224, 1988.
- Bendsoe et al. (2003). *Topology Optimization: Theory, Methods and Applications*. Berlín: Springer Verlag.
- Cazacu, R. and Grama L., Overview of Structural Topology Optimization Methods for Plane and Solid Structures, *Annals of the University of Oradea*, Issue No.3, December 2014.
- Kikuchi et al. (1998). Design optimization method for compliant mechanisms microstructure. *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 151, 401-417.
- Nishiwaki, S., Frecker, M. I., Min, S. & Kikuchi, N. (1998). Topology optimization of compliant mechanisms using the homogenization method. *Int. J. Numer. Meth. Engng.* 42, 535 -559
- Pedersen, C.B.W. and Allinger, P., Industrial implementation and applications of topology optimization and future needs, *IUTUAM Symposium on Topological Design Optimization of Structures, Machines, and Materials: Status and Perspectives* (eds. M.P. Bendsøe, N. Olhoff and O. Sigmund), Springer, pp. 147-156, 2006.