

OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA DE UNA VIGA MBB

VERGARA PAREJA GUSTAVO

ÁVILA DÍAZ CESAR IVÁN

MEF COMPUTACIONAL

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

28 DE MAYO DE 2025

Índice

1	Introducción	2
2	Definición del modelo	2
3	Implementación en COMSOL	4
3.1	Definimos los estudios a realizar	4
3.2	Definimos las variables mas importantes del estudio	5
3.3	Definimos la geometría a estudiar	5
3.4	Definimos los límites y simetrías	6
3.5	Agregamos el material	7
3.6	Agregamos los rollers y la fuerza	7
3.7	Definimos la malla	8
3.8	Parámetros para la optimización topológica	9
3.9	Resultados y espejos	10
4	Resultados	11
5	Conclusiones	14
	Referencias	15

1. Introducción

A continuación realizaremos la optimización topológica de una viga utilizando el software de COMSOL Multiphysics y este basándose en el método SIMP (Solid Isotropic Material with Penalization), específicamente en el módulo de mecánica estructural. Así encontraremos la forma óptima de la viga para minimizar el uso de material mientras se cumplen las restricciones de carga y desplazamiento. La optimización ideal será aquella en donde se minimice la masa de la pieza, manteniendo la rigidez necesaria para soportar las cargas aplicadas. La viga se realizará con base al modelo Messerschmitt-Bölkow-Blohm (MBB).

2. Definición del modelo

El criterio de optimización SIMP utiliza un factor de volumen del material θ_c , esto hace que el modelo entienda donde será sólido en función de la distribución de cargas. Pero rellenar el modelo con esta nube de puntos, creará una optimización con puntos infinitesimales que no permitirá un mallado posteriormente. Por ello, esta variable se limita con un filtro θ_f (Filtro de Helmholtz), que suaviza el diseño eliminando detalles muy pequeños y además define el tamaño mínimo de estos huecos. Este filtro se aplica a la variable de diseño θ_c y se define como:

$$\theta_f = R_{min}^2 \nabla^2 \theta_c + \theta_c \quad (1)$$

La imagen suavizada θ_f se proyecta utilizando la siguiente función de proyección con tangente hiperbólica, para reducir la difuminación :

$$\theta = \frac{\tanh(\beta(\theta_f - \theta_\beta)) + \tanh(\beta\theta_\beta)}{\tanh(\beta(1 - \theta_\beta)) + \tanh(\beta\theta_\beta)} \quad (2)$$

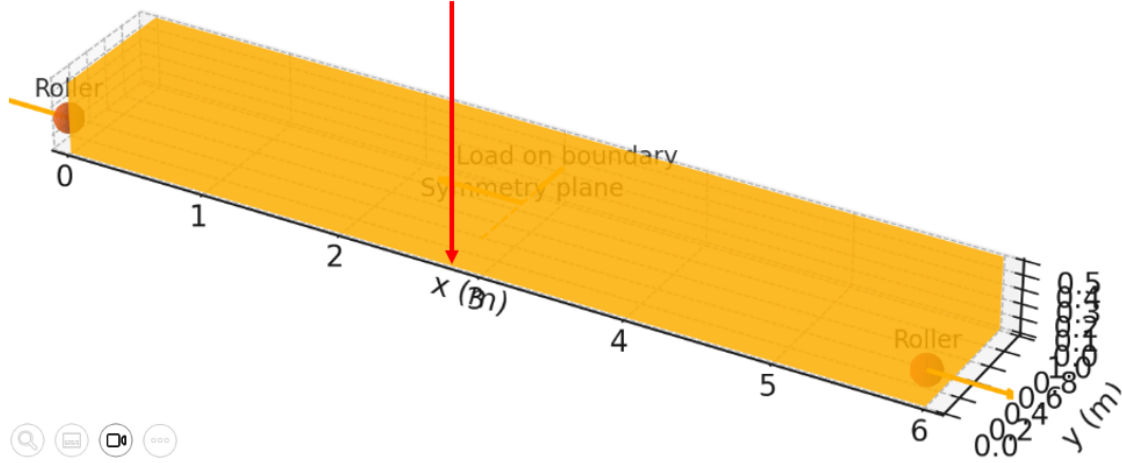


Figura 1: Viga MBB



Figura 2: Suavización y remodelamiento

Entonces podemos notar que valores de β altos hacen que la proyección sea más estricta y definida, mientras que valores bajos hacen que la función se asemeje a una función lineal y por eso seguiría viéndose difuminada. Por lo tanto, el valor de β debe ser lo suficientemente alto para evitar la difuminación, pero no tan alto como para que la optimización no converja o que tenga mucho coste computacional. Además, para evitar que todo sea sólido, limitamos el volumen optimizado.

$$0 \leq \theta_{\text{avg}} = \int_{\Omega} \theta(\mathbf{x}) d\Omega \leq V_{\text{frac}} \quad (3)$$

Para finalizar, garantizamos que la respuesta del modelo sea 0s y 1s. Aunque no puede faltar la inclusión de la rigidez en todo este cálculo, por tanto:

$$\theta_p = \theta_{\text{mín}} + (1 - \theta_{\text{mín}})\theta(\mathbf{x})^p \quad (4)$$

$$E(\mathbf{x}) = E_0\theta_p \quad (5)$$

3. Implementación en COMSOL

Para implementar el modelo en COMSOL, se debe crear un nuevo modelo y seleccionar el módulo de mecánica estructural. Luego, se debe definir la geometría de la viga MBB, que es un paralelepípedo de dimensiones $x = 6$ m (largo), $y = 1$ m (alto) y $z = 0,5$ m (espesor). Después, se debe definir el material de la viga y las propiedades mecánicas necesarias, como el módulo de Young y la densidad. A continuación, se deben aplicar las condiciones de frontera y las cargas necesarias para simular el comportamiento de la viga bajo carga. Finalmente, se debe configurar el estudio de optimización topológica utilizando el método SIMP y los filtros necesarios.

3.1. Definimos los estudios a realizar

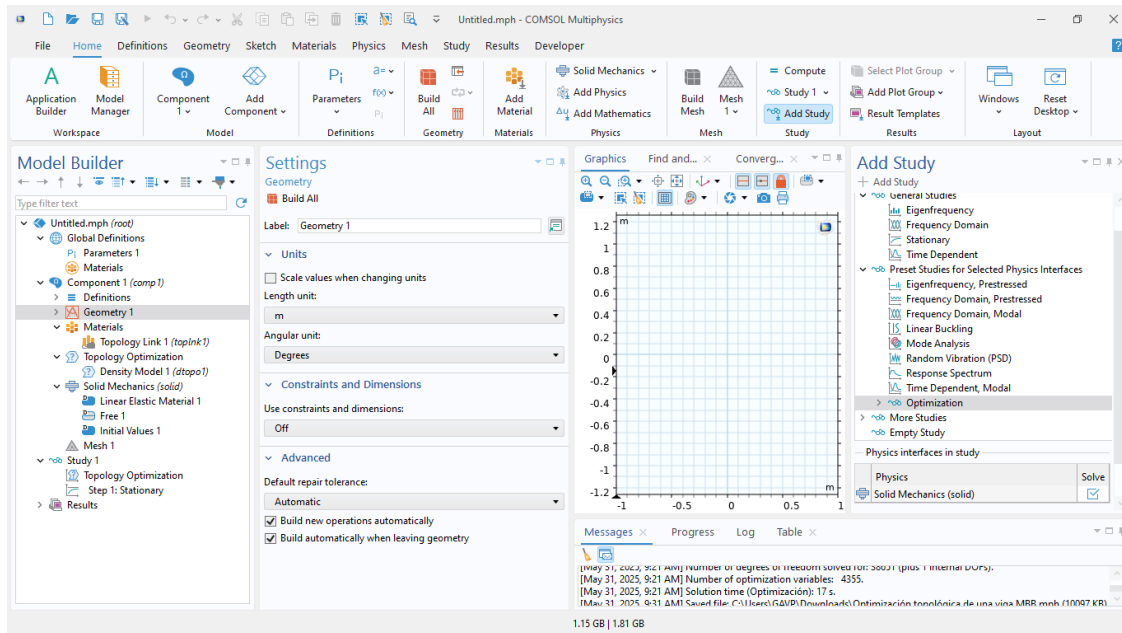


Figura 3: Model Solids and Topology Optimization Stationary

3.2. Definimos las variables mas importantes del estudio

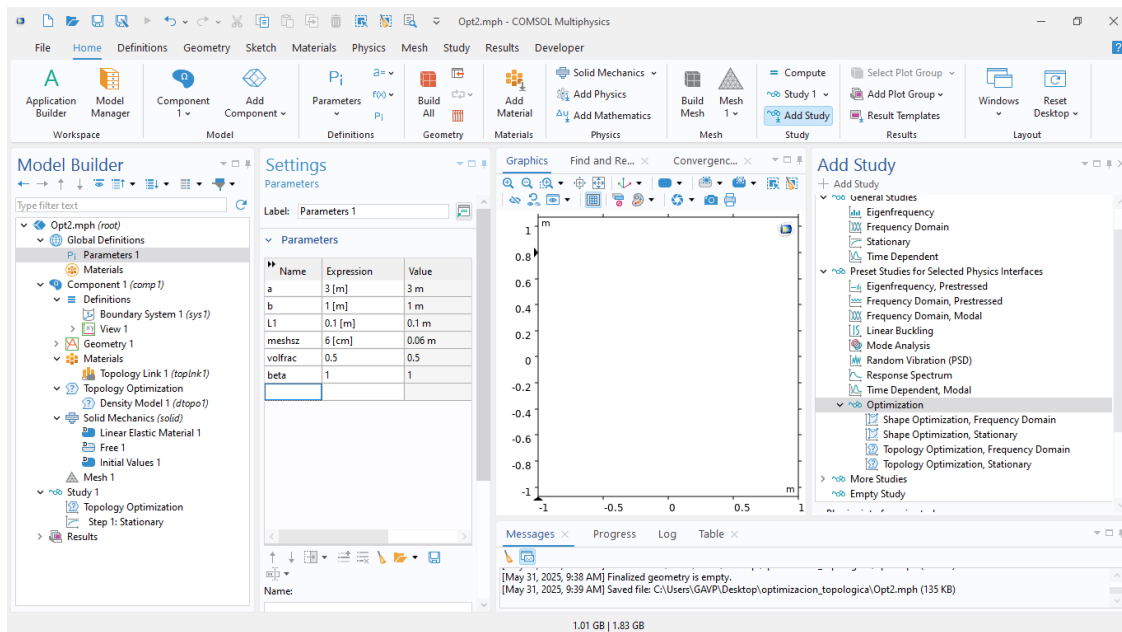


Figura 4: Definición de variables

3.3. Definimos la geometría a estudiar

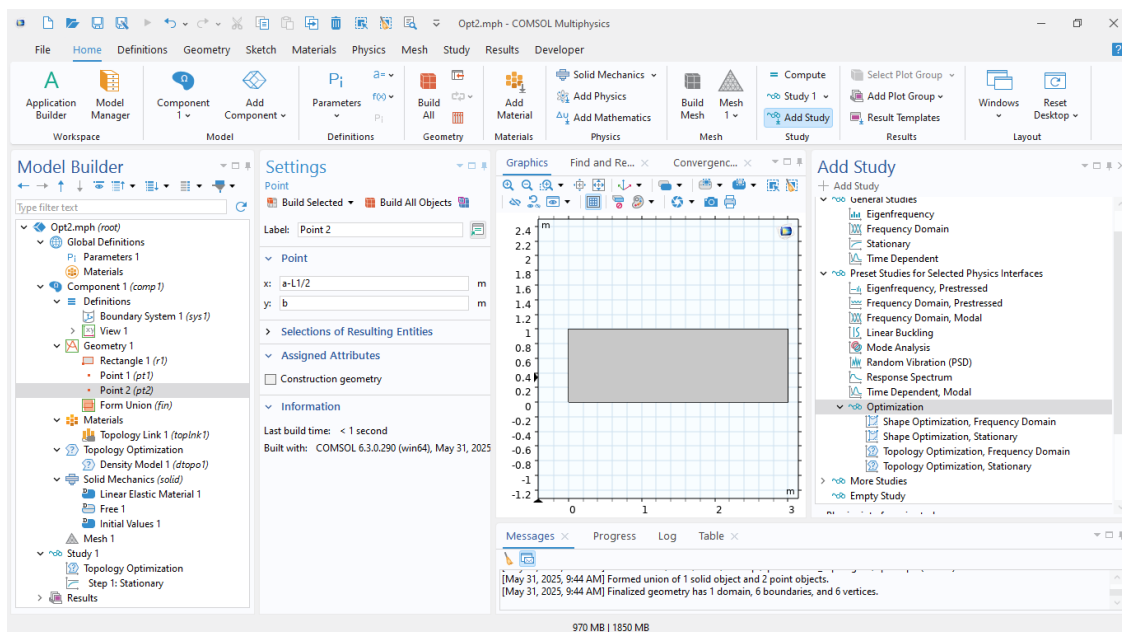


Figura 5: Geometría rectangular

3.4. Definimos los límites y simetrías

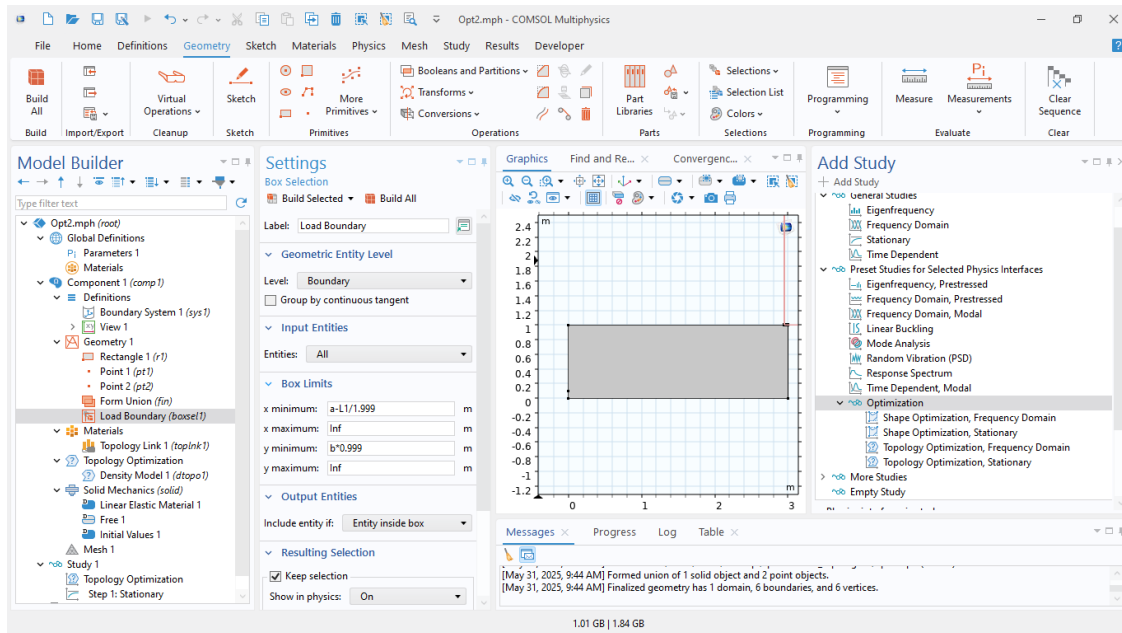


Figura 6: Simetría en y

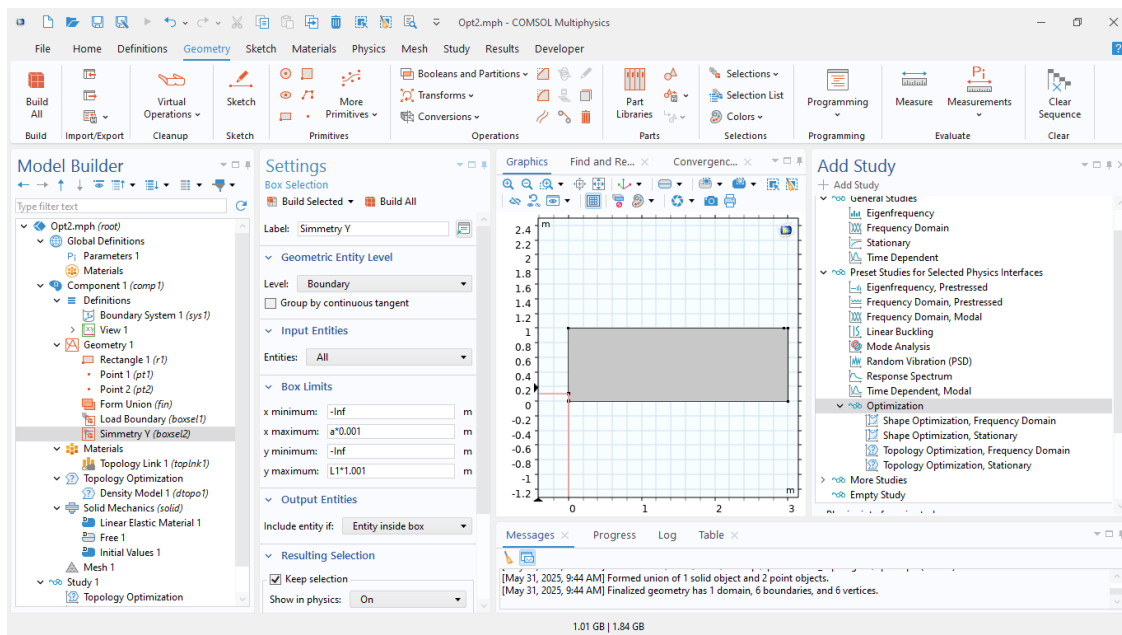


Figura 7: Simetría en x

3.5. Agregamos el material

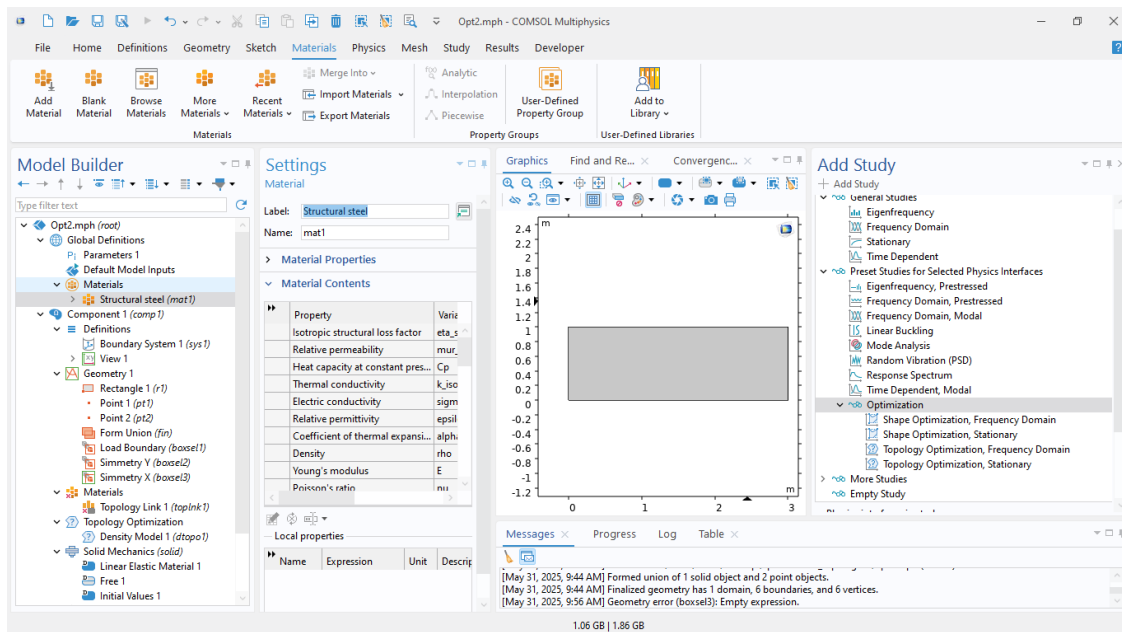


Figura 8: Structural Steel

3.6. Agregamos los rollers y la fuerza

Definimos solo un roller ya que el otro llegará por simetría

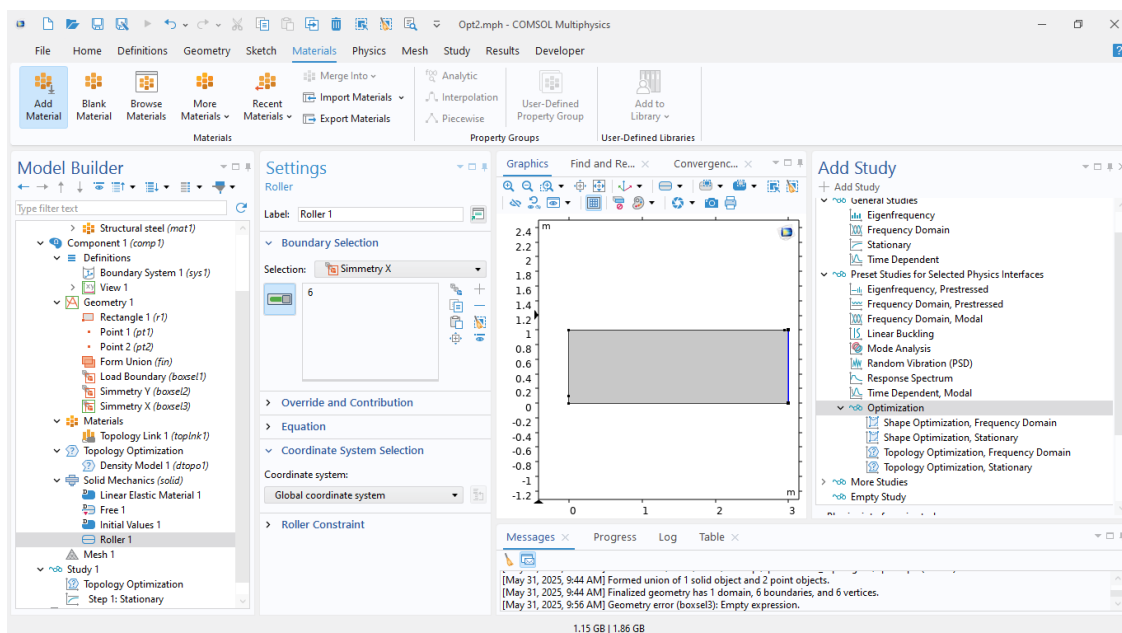


Figura 9: Roller 1

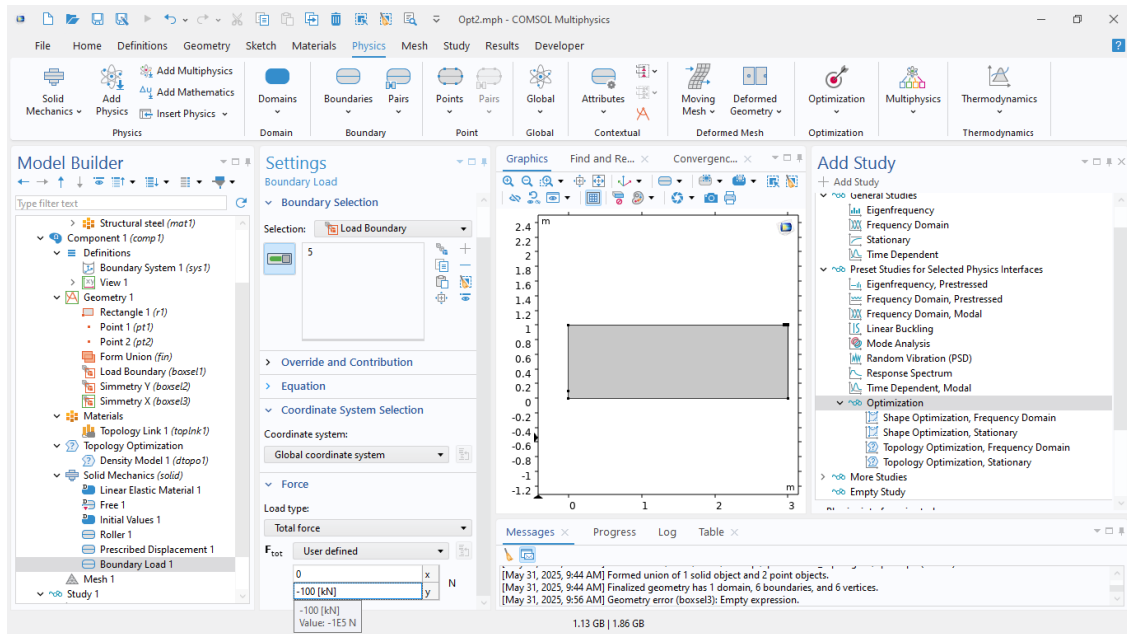


Figura 10: Fuerza de -100 [kN]

3.7. Definimos la malla

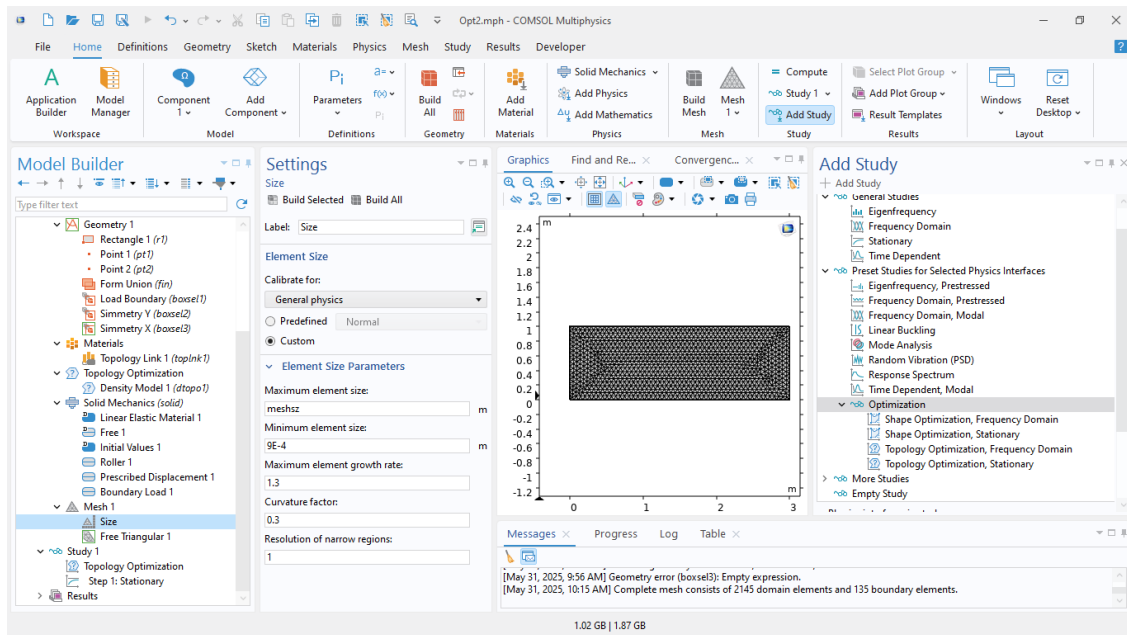


Figura 11: Malla

3.8. Parámetros para la optimización topológica

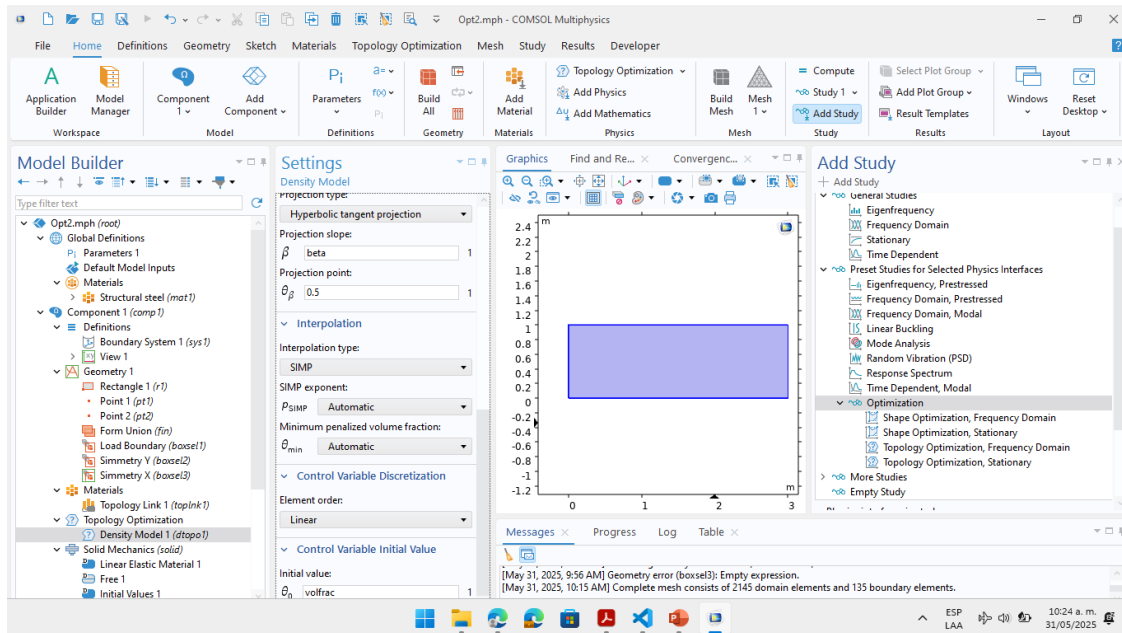


Figura 12: Optimización topológica

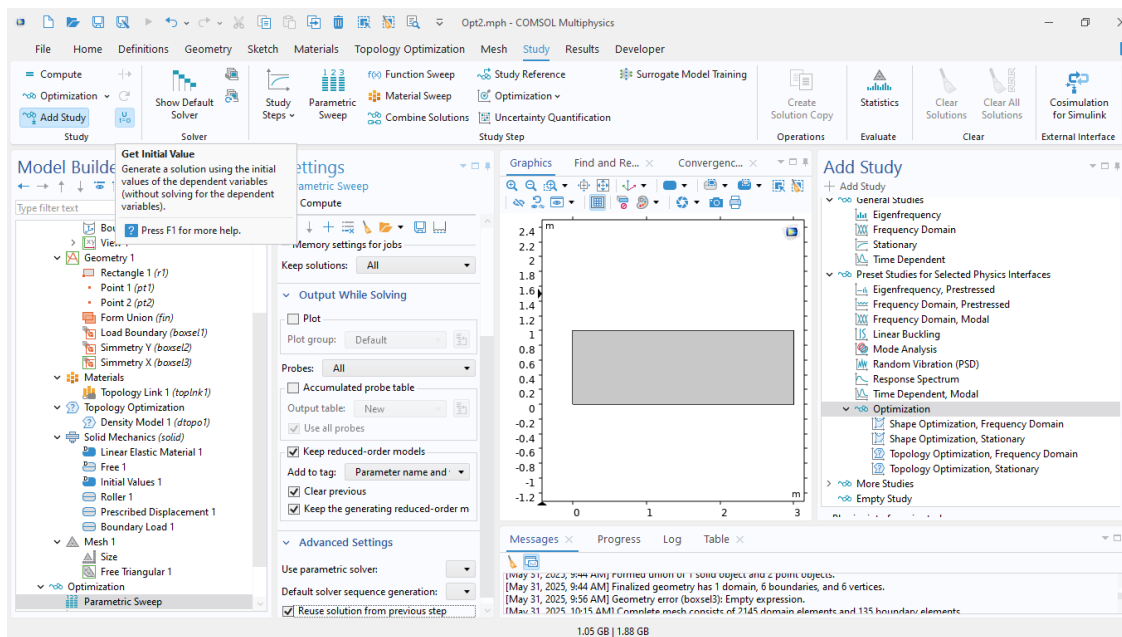


Figura 13: Parámetros Optimización topológica

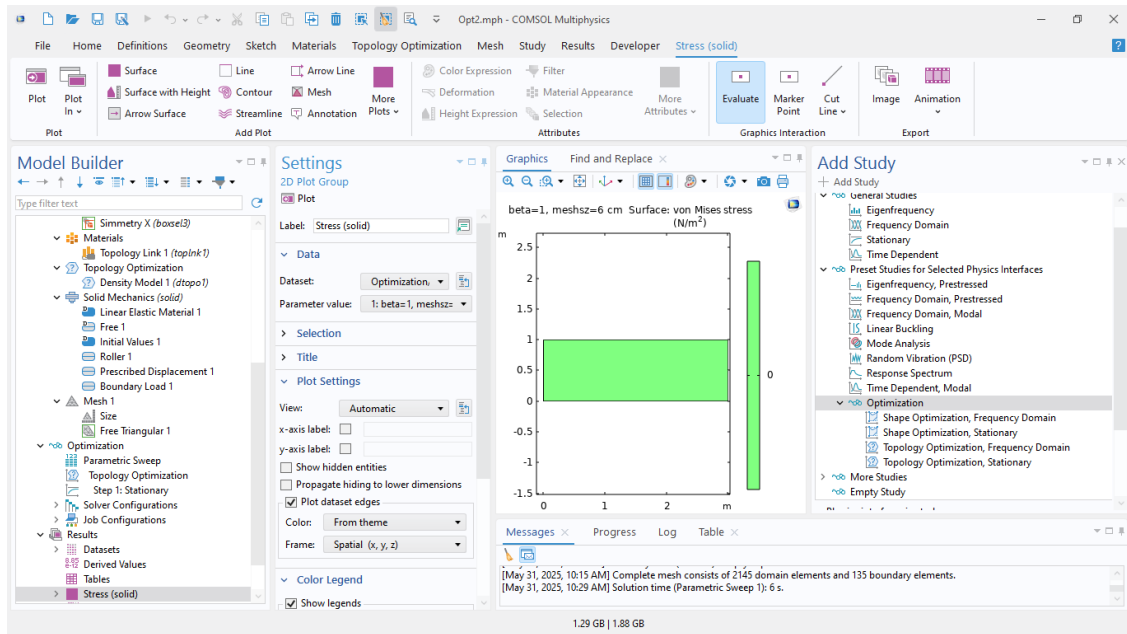


Figura 14: Get initial value

3.9. Resultados y espejos

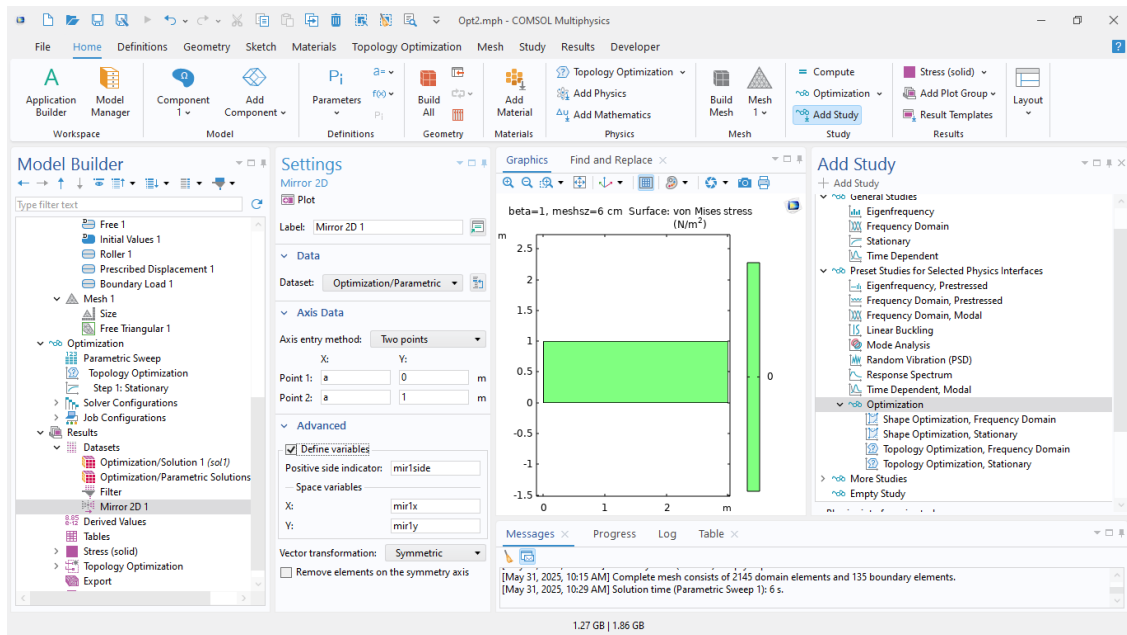


Figura 15: Mirror 1

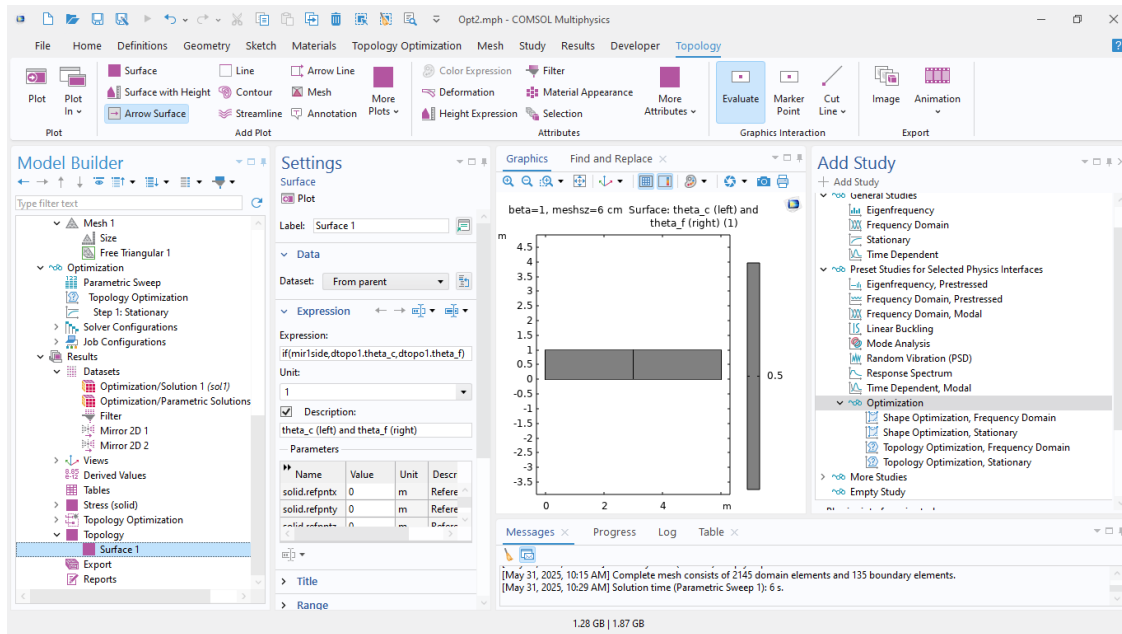


Figura 16: Superficie 1

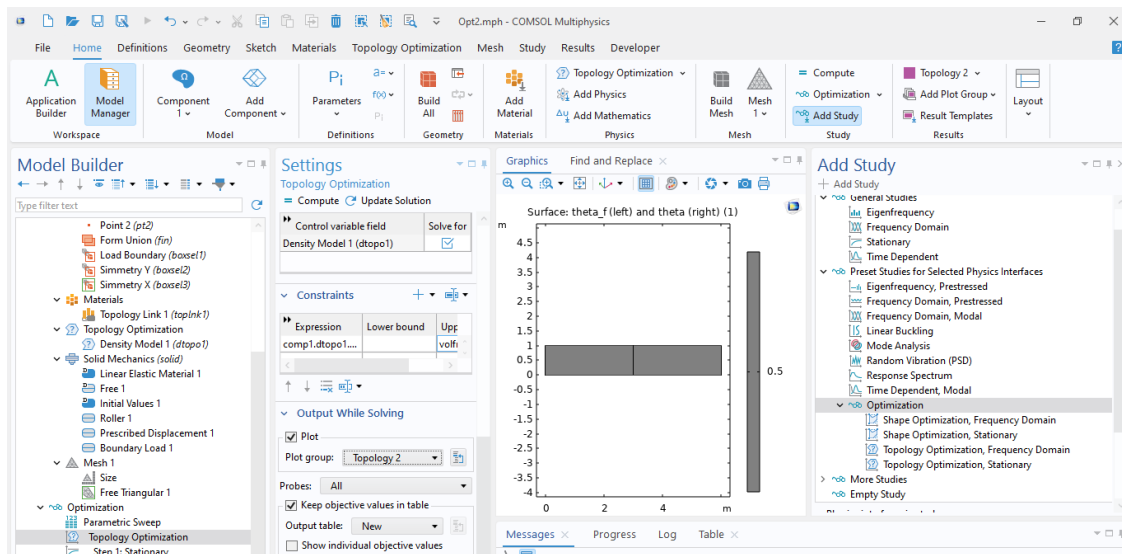


Figura 17: Últimas configuraciones

4. Resultados

Los resultados obtenidos muestran una distribución óptima del material en la viga MBB, minimizando la masa mientras se cumplen las restricciones de carga y desplazamiento. La optimización topológica ha permitido identificar las áreas críticas donde se requiere mayor rigidez y, por lo tanto, se ha concentrado el

material. El diseño final muestra una geometría eficiente que maximiza el rendimiento estructural.

4.3.1. Stress (solid)

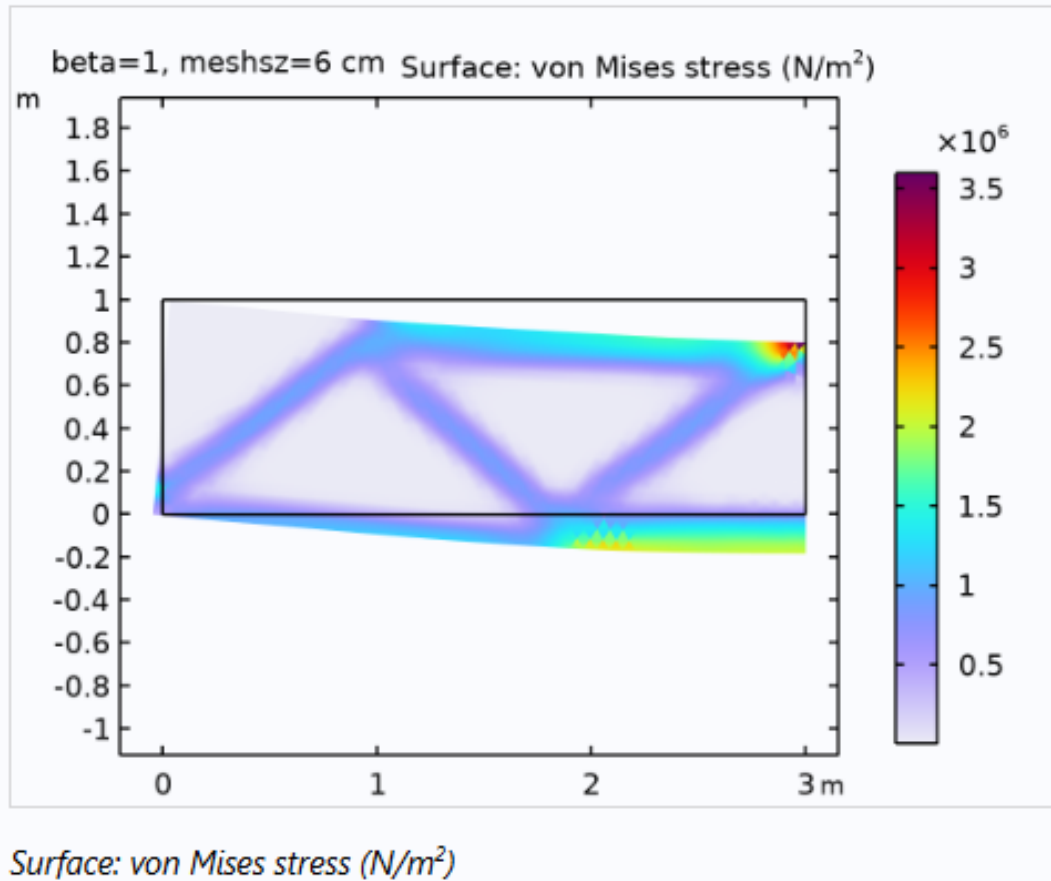
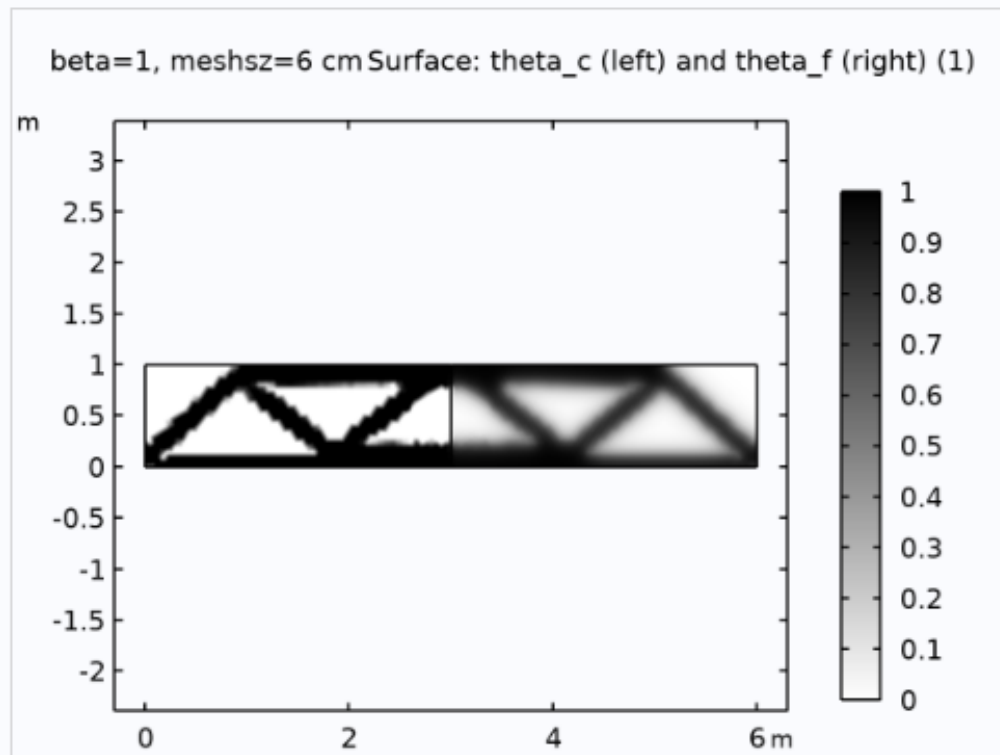


Figura 18: Distribución del esfuerzo

4.5.1. Topology



Surface: θ_c (left) and θ_f (right) (1)

Figura 19: Thetac vs thetaf

4.5.2. Topology 2

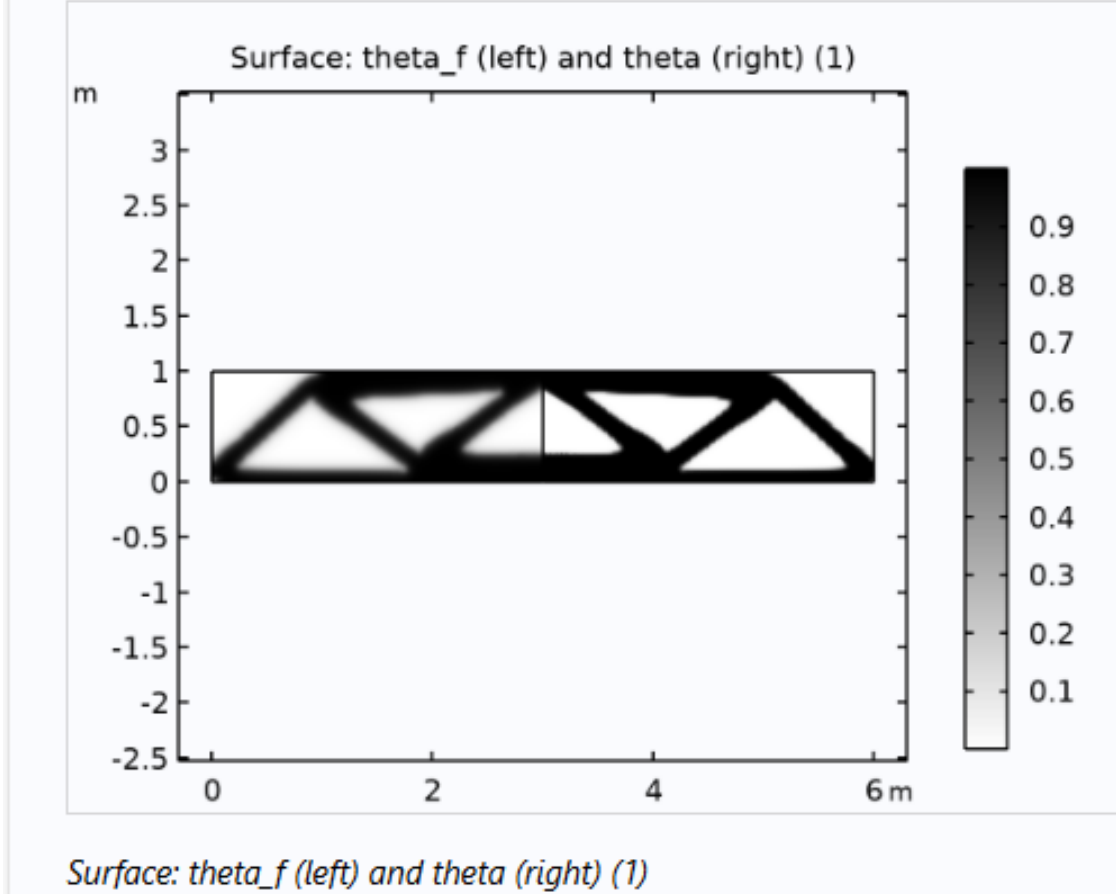


Figura 20: Thetaf vs theta

5. Conclusiones

La optimización topológica de la viga MBB utilizando el método SIMP ha demostrado ser una herramienta eficaz para mejorar el diseño estructural. Los resultados obtenidos indican que es posible reducir significativamente la masa del componente sin comprometer su integridad estructural. Además, la implementación en COMSOL Multiphysics ha facilitado el proceso de modelado y optimización, permitiendo una visualización clara de los resultados y una fácil interpretación de los datos. Además logramos comprobar todos los criterios de optimización mencionados anteriormente, como la suavización de la distribución del material, el control del volumen optimizado y la proyección de la variable de diseño.

Referencias

- Bendsoe, M. P. (1989). Optimal shape design as a material distribution problem. *Structural Optimization*, 1, 193–202. doi: 10.1007/BF01650949
- Lazarov, B. S., y Sigmund, O. (2011). Filters in topology optimization based on helmholtz-type differential equations. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 86, 765–781. doi: 10.1002/nme.3072
- Wang, F., Lazarov, B. S., y Sigmund, O. (2011). On projection methods, convergence and robust formulations in topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 43, 767–784. doi: 10.1007/s00158-010-0602-y