

Práctica 4: Refuerza del cable de un teleférico

Brigada: 109

Emanuel Salas de León 1854873
Jason Méndez Muñoz 1889560
Jesús Mario Duarte Salinas 1907630
Lorena Alejandra Campos Carrazco 1909279
Yair Obed Morales Ortiz 1992266

24 de octubre de 2022

1. Marco Teórico

En el diseño de optimización de la topología de la estructura de un teleférico, el objetivo principal es minimizar el peso de la estructura, al tiempo que se garantiza su resistencia y rigidez. El proceso de optimización implica variar la topología, o la forma general, de la estructura para encontrar la configuración que mejor cumpla con los objetivos de diseño.

La optimización de la topología es un tipo optimización utilizada en ingeniería que se centra en localizar la topología óptima, o la forma general, de un producto o estructura. La función de la optimización de la topología es minimizar el peso del producto o de la estructura, al lapso que se garantiza que cumpla con todas las demás restricciones de apunte, como la resistencia, la rigidez, las cargas aplicadas, el material y la manufacturabilidad.

Para que la optimización topológica se realice de forma correcta tiene que correr por el proceso de diseño generativo. El proceso de diseño generativo es una forma de inteligencia de diseño que responde a un problema de ingeniería con una serie de métodos para elegir, que se pueden modificar según sea necesario, a diferencia de los métodos tradicionales, donde el proceso comienza con un modelo basado en conocimientos del ingeniero, el diseño generativo comienza unos parámetros de diseño y utiliza una IA para crear el modelo. Básicamente, le está diciendo al algoritmo de diseño generativo que no sabe cuál es la respuesta, pero sabe lo que se necesita.

El diseño genertaivo se realiza por el método de elementos finitos para poder hacer la optimización de manera facil y controlable. El método de elementos finitos (FEM), o análisis de elementos finitos (FEA), se basa en la idea de construir un objeto complicado con formas simples o dividir un objeto complicado en piezas más pequeñas y manejables. Porque la geometría de la pieza, sometida a cargas y restricciones, se subdivide en partes más pequeñas, al subdividirlo en problemas más simples.

2. Desarrollo

2.1. Nombre y definición de la forma GEOMETRIA

El teleférico es un sistema de transporte, de personas o materiales, constituido por cabinas suspendidas en uno o varios cables, los cuales están sujetos a estaciones terminales y, en ocasiones, a torres soporte intercaladas a lo largo del recorrido. Se utilizan para unir zonas entre terrenos accidentados o con grandes diferencias de altitud, difíciles de conectar mediante otros medios de transporte.

Pueden tener circuitos abiertos o cerrados. En el primer caso, el movimiento del cable de tracción cambia de sentido, y la cabina asciende y desciende por el mismo ramal; en el segundo caso, el cable de tracción se mueve siempre en el mismo sentido, y la cabina asciende y desciende por ramales distintos.

El teleférico se desplaza por unos cables. El cable está formado por varios torones (formados por un determinado número de alambres que son enrollados helicoidalmente alrededor de un centro en una o varias capas) que son enrollados helicoidalmente alrededor de un alma, que es el eje central del cable y puede ser de acero, fibras naturales o de polipropileno.

Un teleférico está constituido básicamente por tres sistemas:

- *Sistema de carga.* Está comprendido por las cabinas para el transporte de carga o pasajeros.
- *Sistema de soporte.* Es todo aquello que permite que el teleférico este en pie y evite su caída, desde la torre, cimentación y el anclaje
- *Sistema de tracción.* Está compuesto por un cable de acero cerrado que se tensiona colocando en un extremo el motor impulsor y en el otro la polea de retorno, de modo que este atraviesa todo el recorrido apoyándose en las torres de soporte

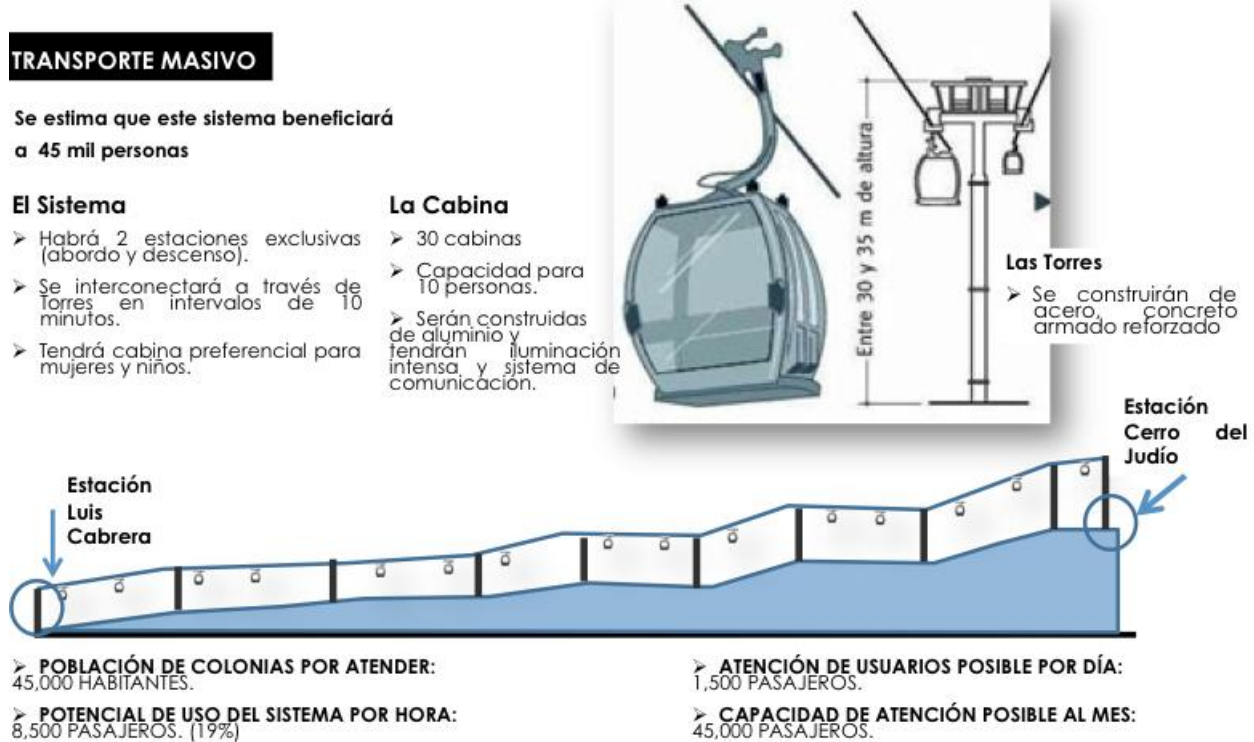


Figura 1: Teleférico

2.2. Estado del arte

Philipp Hofer, Fabian Sturm and Erich Wehrle de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Técnica de Munich en su trabajo “Topology Optimization of a Cableway Pylon with Assessment of Uncertain Loading” buscan aplicar la optimización topográfica para el perfeccionamiento de un sistema de teleféricos, planteándose los siguientes objetivos: el desarrollo de un marco de optimización de topología tridimensional a gran escala de código abierto, la evaluación de la carga incierta en la topología óptima y la validación en un ejemplo de ingeniería a gran escala.

Presentaron el problema de diseño de torres de teleféricos desarrollando el caso de carga y las condiciones de contorno respaldadas por datos basados en una estructura existente y proporcionados por un socio de la industria. La topología similar a una celosía resultante concuerda con las condiciones de carga y las características del modelo.

El diseño del pilón del teleférico está construido de manera que la góndola pueda pasar mientras el área en el suelo está fija. Se desarrolló un caso de carga como el peor de los casos a partir de varias situaciones de carga de un pilón. Las fuerzas y los momentos se aplicaron a 25 nodos en el área superior del modelo. La estructura tipo Truss proporciona la rigidez necesaria para la fracción de volumen especificada

2.3. Propuesta de diseño de la geometría, alcances y limitaciones

Analizando los elementos concretos del teleférico, un elemento de fundamental importancia en el diseño deben ser los cables y su sistema de transmisión, estos deben ser lo suficientemente resistentes para soportar las cargas generadas al transportar la cabina. Por lo anterior, aquí la propuesta de diseño es prácticamente un refuerzo de cable de teleférico cuyo propósito de análisis para este caso es el de realizar una optimización topológica.



Figura 2: Refuerzo de apoyo del teleférico

Para este caso se sugiere un refuerzo bajo las condiciones del espacio de diseño. Dicho refuerzo es planteado para que la estructura sea capaz de transportar dos teleféricos al mismo tiempo, por lo que implica considerar las cargas de ambos teleféricos.

Dentro de los alcances se tienen en esta práctica se encuentra el poder definir un diseño que soporte correctamente el cable de 2 teleféricos, todo esto por medio de la optimización topológica. Sin embargo se tiene como limitación que no se conoce concretamente la carga que se puede generar en en estos refuerzos ya que varía dependiendo de la ubicación del teleférico, tamaño, peso, etc.



Figura 3: *Diseño del apoyo*

2.4. Pasos del desarrollo de la programación

1. Ejecutar Matlab, puede ser el software en línea o directamente instalado en su computadora.
2. Crear un nuevo script y guardarlo el archivo.

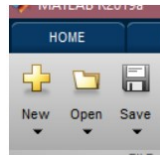


Figura 4: *Nuevo script*

3. Una vez creado el script teclear el código de la programación, en esta práctica se utilizó el código de optimización topológica de 99 líneas escrito en Matlab, elaborado por el autor Ole sigmud (2001).
4. Se establecen las condiciones iniciales en el código del programa.

Programa principal (líneas 1-36):

En esta parte se comienza distribuyendo el material uniformemente en el dominio del diseño (línea 4). Después de ciertas inicializaciones, el ciclo principal inicia con la llamada a la subrutina de elemento finito (línea 12) la cual regresa el vector de desplazamiento U . La subrutina de matriz de rigidez del elemento es solo llamada una vez (línea 14) al tratarse de un material sólido. Después de ello, un ciclo sobre todos los elementos determina la función objetivo y las sensibilidades (líneas 16-24). El análisis de sensibilidad es seguido por una llamada al filtro de independencia de malla (línea 26) y el optimizador de criterios óptimos (línea 28). El cumplimiento actual, así como otros parámetros son impresos (líneas 30-33) y la distribución de densidad resultante de grafica (línea 35). El ciclo principal se termina si el cambio en las variables de diseño (línea 30) es menos del 1 %, de lo contrario los pasos de arriba se vuelven a repetir.

Optimizador basado en criterios de optimización (líneas 37-48)

El optimizador encuentra las variables de diseño actualizadas (líneas 37-48). Ya que el volumen material ($\text{sum}(\text{sum}(\text{xnew}))$) es una función monótonamente decreciente del multiplicador de Lagrange (retraso), el valor del multiplicador lagrangiano que satisface la restricción de volumen puede encontrarse por un algoritmo de bisección (líneas 40- 48). El algoritmo de bisección se inicializa adivinando unos límites l_1 inferior y l_2 superior para el multiplicador lagrangiano (línea 39). El intervalo que limita el multiplicador lagrangiano se reduce repetidamente a la mitad hasta que su tamaño es menos que los criterios de convergencia (línea 40)

Filtrado de independencia de malla (líneas 49-64)

El filtro de independencia de malla funciona al modificar los elementos sensitivos (líneas 49-64).

Código de elemento finito (líneas 65-99)

El código de elemento finito se escribe en las líneas 65-99. La matriz de rigidez global está formada por un bucle sobre todos los elementos (líneas 70-77). Como sucedía en los principales programas, las variables n1 y n2 indican el número de nodos de elementos de la parte superior izquierda y derecha en números de nodos globales y son usados para insertar la matriz de rigidez del elemento en los lugares correctos en la matriz de rigidez global.

```

%% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE %%%
function top3(nlx,nly,volfrac,penal,rmin);
nlx=60;
nly=60;
volfrac=0.33;
penal=3.0;
rmin=1.5;
% INITIALIZE
x(l:nly,1:nlx) = volfrac;
for ely = 1:nly
    for elx = 1:nlx
        if ely>1
            if elx<1
                passive(ely,elx) = 1;
            elseif elx>1
                passive(ely,elx)=1;
            else
                passive(ely,elx) = 0;
            end
        end
    end
end
x(find(passive))=0.001;
loop = 0; change = 1.;
% START ITERATION
while change > 0.01
    loop = loop + 1;
    xold = x;
    % FE-ANALYSIS
    [U]=FE(nlx,nly,x,penal);
    % OBJECTIVE FUNCTION AND SENSITIVITY ANALYSIS
    [KE] = lk;
    c = 0.;
    for ely = 1:nly
        for elx = 1:nlx
            n1 = (nly+1)*(elx-1)+ely;
            n2 = (nly+1)* elx +ely;
            dc(ely,elx)=0.;
            for i=1:2
                Ue = U([2*n1-1;2*n1; 2*n2-1;2*n2; 2*n2+1; 2*n2+2; 2*n1+1;2*n1+2],i);
                c = c + x(ely,elx)*penal*Ue'*KE*Ue;
                dc(ely,elx) = dc(ely,elx)-penal*x(ely,elx)^(penal-1)* Ue'*KE*Ue;
            end
        end
    end
    %25 FILTERING OF SENSITIVITIES
    [dc] = check(nlx,nly,rmin,x,dc);
    %27 DESIGN UPDATE BY THE OPTIMALITY CRITERIA METHOD
    [x] = OC(nlx,nly,x,volfrac,dc,passive);
    %29 PRINT RESULTS
    change = max(max(abs(x-xold)));
    disp([' It.: ' sprintf('%4',loop) ' Chg.: ' sprintf('%10.4f',c) ...
        ' Vol.: ' sprintf('%6.3f',sum(sum(x))/(nlx*nly)) ...
        ' ch.: ' sprintf('%6.3f',change) ]);
    % PLOT DENSITIES
    colormap(gray); imagesc(-x); axis equal; axis tight; axis off; pause(1e-6);
end

%% OPTIMALITY CRITERIA UPDATE %%%%%%%%%
function [xnew]=OC(nlx,nly,x,volfrac,dc,passive)
l1 = 0; l2 = 10000; move = 0.2;
while (l2-l1 > 1e-6)
    lmid = 0.5*(l2+l1);
    xnew = max(0.001,max(x-move,min(1.,min(x+move,x.*sqrt(-dc./lmid))));
    xnew(find(passive)) = 0.001;
    if sum(sum(xnew)) - volfrac*nlx*nly > 0;
        l1 = lmid;
    else
        l2 = lmid;
    end
end
% MESH-INDEPENDENCY FILTER %%%%%%%%%
function [dcn]=check(nlx,nly,xold,x,dc)
dcmove(nlx,nly);
for i = 1:nlx
    for j = 1:nly
        sum=0.0;
        for k = max(i-round(rmin),1):min(i+round(rmin),nlx)
            for l = max(j-round(rmin),1):min(j+round(rmin), nly)
                fac = min(sqrt((i-k)^2+(j-l)^2));
                sum = sum*max(0,fac);
                dcn(j,i) = dcn(j,i) + max(0,fac)*x(l,k)*dc(l,k);
            end
        end
        dcn(j,i) = dcn(j,i)/(x(j,i)*sum);
    end
end
%5 FE-ANALYSIS %%%%%%%%%
function [U]=FE(nlx,nly,x,penal)
[KE] = lk;
K = sparse(2*(nlx+1)*(nly+1), 2*(nlx+1)*(nly+1));
F = sparse(2*(nly+1)*(nlx+1),5); U = zeros(2*(nly+1)*(nlx+1),5);
for ely = 1:nly
    for elx = 1:nlx
        n1 = (nly+1)*(elx-1)+ely;
        n2 = (nly+1)* elx +ely;
        edof = [2*n1-1; 2*n1; 2*n2-1; 2*n2; 2*n2+1;2*n2+2;2*n1+1; 2*n1+2];
        K(edof,edof) = K(edof,edof) + x(ely,elx)*penal*KE;
    end
end
% DEFINE LOADS AND SUPPORTS (HALF MBB-BEAM)
F(40,1) = -1.; F(9*60,2)=1.;
ifreedomfs = 2*(nly+1)+2*(nly+1)+2*(nlx+1)*(nly+1);
allidofs = [1;2*(nly+1)*(nlx+1)];
freedomfs = setdiff(allidofs,ifreedomfs);
% SOLVING 127
U(freedomfs,:) = K\K(freedomfs,freedomfs) \F(freedomfs,:);
U(ifreedomfs,:)= 0;
% ELEMENT STIFFNESS MATRIX %%%%%%%%%
function [KE]=lk
E = 1.;
nu = 0.3;
k=[ 1/2-nu/6 1/8*nu/8 -1/4-nu/12 -1/8+3*nu/8 ...
    -1/4*nu/12 -1/8*nu/8 nu/6 1/8-3*nu/8];
KE = E/(1-nu^2)*( k(1) k(2) k(3) k(4) k(5) k(6) k(7) k(8)
    k(2) k(1) k(8) k(7) k(5) k(4) k(3) k(6)
    k(3) k(8) k(1) k(6) k(7) k(4) k(5) k(2)
    k(4) k(7) k(6) k(1) k(8) k(3) k(2) k(5)
    k(5) k(6) k(7) k(8) k(1) k(2) k(3) k(4)
    k(6) k(5) k(4) k(3) k(2) k(1) k(8) k(7)
    k(7) k(4) k(5) k(2) k(3) k(8) k(1) k(6)
    k(8) k(3) k(2) k(5) k(4) k(7) k(6) k(1));

```

Figura 5: Código

En este caso se utilizó el mismo código que la práctica pasada solo que cambiando ciertos parámetros que nos permitieron obtener los resultados obtenidos.

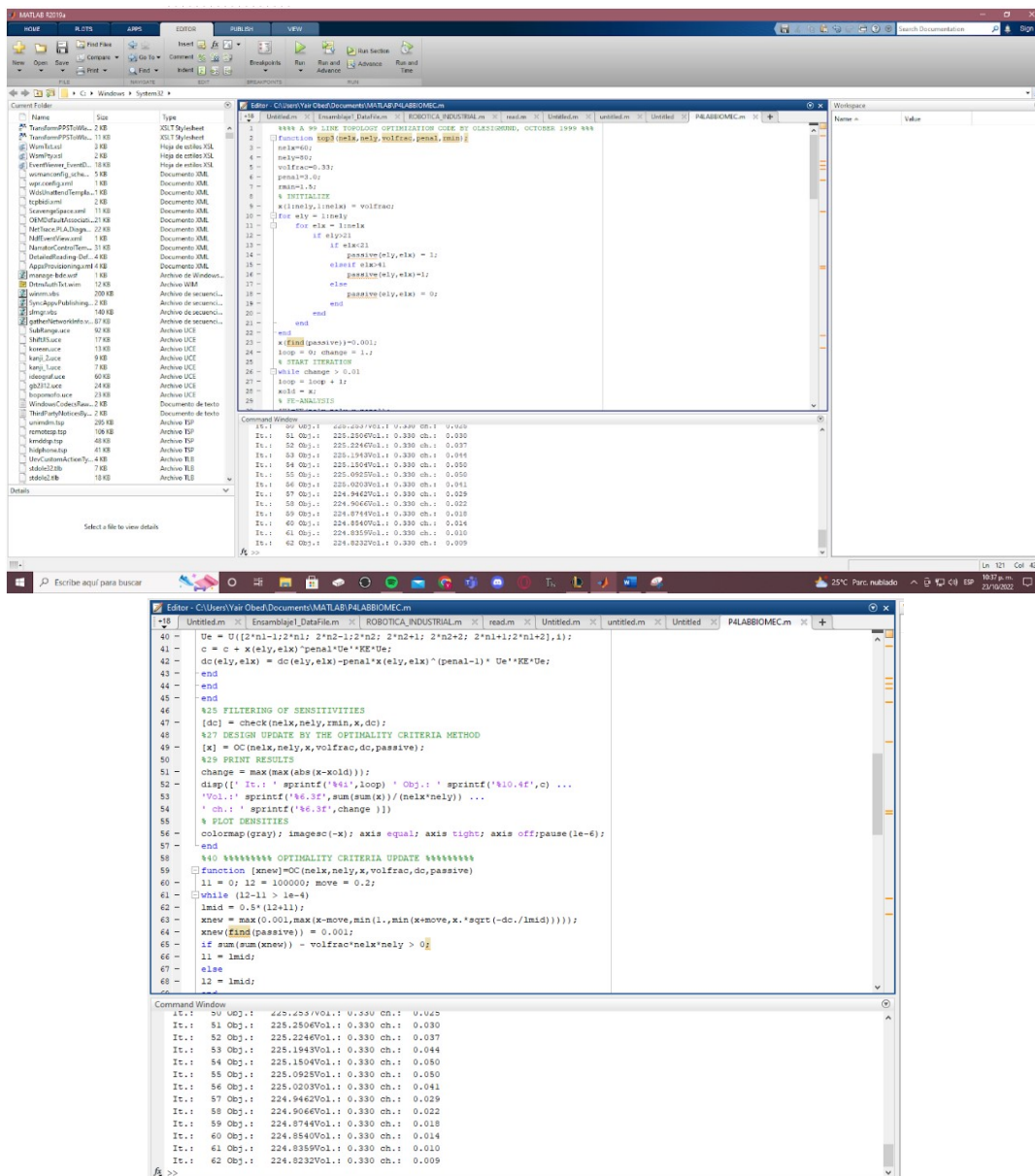
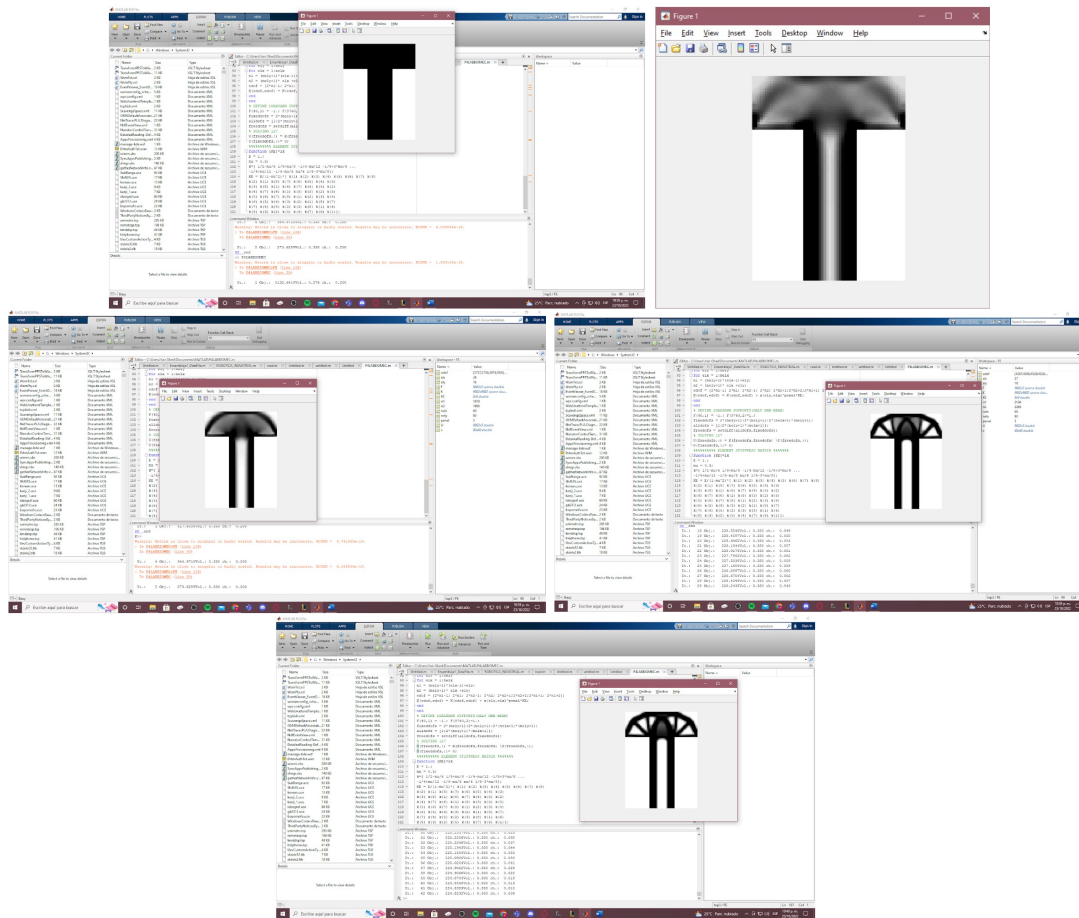


Figura 6: *Código en Matlab*

5. Guardar nuestro script con la extensión (.m) correspondiente a matlab y compilar

2.5. Resultados de la optimización

Para obtener la pieza optimizada se realizaron varias simulaciones corriendo el código en Matlab se obtuvieron los siguientes resultados.



Después de haber corrido el código en Matlab se obtuvo la siguiente imagen que nos muestra la optimización deseada.

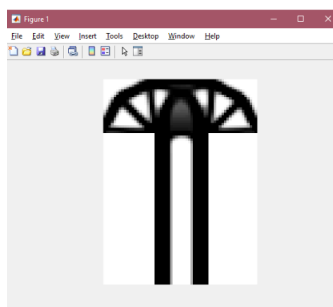


Figura 7: Resultado de la optimización

3. Conclusiones de cada autor

■ Emanuel Salas de Leon 1854873

Esta práctica fue la aplicación directa de todo lo aprendido en las prácticas anteriores, pues en esta práctica el objetivo fue diseñar un teleférico, este tipo de medio de transporte está comúnmente expuesto a muchas fuerzas externas. Es por esta razón que para el diseño de este se consideraron todas estas fuerzas a la hora de generar el diseño final, de tal forma que al final se obtuvo una geometría particular para soportar dichas fuerzas. Se realizó la optimización conforme a las cargas consideradas y se obtuvo el diseño final optimizado, que cumpliera con las normas de seguridad al transportar tales cargas.

■ Jason Méndez Muñoz 1889560

Durante esta actividad pusimos en practica los conocimiento que hemos desarrollado a lo largo de este laboratorio acerca de la optimización topológica usando el software de Matlab, esta vez en el diseño de un sistema de teleférico. Para ello nos plantemos el modelo de los soportes del teleférico y las fuerzas a las que estos estarían sometidos, para después, usando el código de Matlab obtener el diseño más optimo posible, que garantice la integridad de la estructura mientras al mismo tiempo sea lo más ligero posible.

■ Jesús Mario Duarte Salinas 1907630

Para realizar esta práctica fue necesario utilizar el mismo procedimiento que hemos utilizado en las prácticas anteriores, pues se buscó nuevamente hacer una optimización topológica pero en este caso fue con respecto a un teleférico. Para ello volvimos a utilizar el código de 99 líneas y le realizamos ciertas modificaciones que nos permitieron obtener los resultados del diseño esperado. Además, hay que tomar en cuenta que el refuerzo de apoyo del teleférico esta en constantes fuerzas externas que podrían afectar el rendimiento de este, para ello se tendría que tomar esto en cuenta por si se utiliza realmente.

■ Lorena Alejandra Campos Carrasco 1909279

Al realizar esta actividad se volvió a ver la optimización topológica, que bien sabemos es un método para poder optimizar el diseño de un elemento o estructura dada. En esta actividad se vio la optimización topológica de un teleférico, esto fue posible gracias al software de Matlab donde se escribió un código de 99 líneas, el cual nos permitió hacer la optimización. Como ya se sabe el método de optimización topológica se centra en encontrar la topología óptima de un producto o estructura. El objetivo es minimizar el peso del producto o estructura pero que siga cumpliendo los mismos criterios y especificaciones. Lo cual fue posible, como se observó en las imágenes en la cual se puede observar el soporte del teleférico completamente optimizado en el resultado.

■ Yair Obed Morales Ortiz 1992266

Al realizar esta práctica puedo concluir que, nos tocó investigar y aprender mucho acerca de los teleféricos, analizamos su parte teórica para saber de qué se trataba la práctica, investigamos sus partes que lo conforman, su función, capacidad, etc. Aprendimos a utilizar el software de programación numérico Matlab para poder adaptar el código de 99 líneas a la optimización del teleférico, viendo el proceso de desarrollo de los resultados. Desarrollamos la optimización del teleférico sometiendo a cargas, lo cual es bueno debido a que suelen transportar gente y siendo probado a más cargas les brindará la máxima seguridad a las personas que se transporten en él. Por último para entender el contexto del teleférico investigamos un estado del arte que nos ayudó a entender qué otros proyectos relacionados se ha involucrado este producto.

Referencias

- [1] Armijos Curipoma, M. S. and Ramírez Moreno, R. O. (2009). Diseño de un teleférico turístico de 2000 metros de longitud ubicado en la colonia de los llanganates de la parroquia río negro, cantón baños, provincia de tungurahua. B.S. thesis, QUITO/EPN/2009.
- [2] Hofer, P., S. F. W. E. (2021). *Topology Optimization of a Cableway Pylon with Assessment of Uncertain Loading*. PhD thesis, Technical University of Munich.
- [3] Quintana Cubas, D. L. and Carrasco Román, J. (2018). Diseño de un teleférico para mejorar la transitabilidad entre la punta de san juan y el puerto tahuishco, moyobamba-2018.