

Práctica 4

Refuerzo del cable de un teleférico

1845056 Aurora Nahomy Martínez Pérez
1854324 Kevin Orlando Huerta Jaramillo
1896681 Jovanny Daniel Alvarado Ramírez
1909876 Fernando Herrera Garza
1991876 Bernardo Gil Villarreal

28 de octubre de 2022

1. Objetivo

El estudiante deberá presentar una propuesta de análisis de formas y de la programación de la ejecución de la optimización utilizando múltiples cargas y las implicaciones que las conlleva considerando las características de trabajo específicas que esta presenta.

2. Introducción

En la presente práctica se busca realizar un diseño de un refuerzo del cable de un teleférico utilizando la optimización topológica para hacer este diseño. Los teleféricos se enfrentan a distintas o diferentes cargas como las cargas de viento y como tensiones que estas puedan presentar. Esto se realizará a través de una simulación en matlab.

3. Marco Teórico

Los sistemas de teleférico requieren como mínimo dos estaciones. Una estación se construye en el punto de inicio del teleférico y la otra en su punto final. En cuanto a los aspectos técnicos de un teleférico, el motor, los frenos de servicio o el panel de mando no se sitúan en el vehículo sino directamente en la estación.

Cada estación es un ejemplar único gracias a su integración individual con la naturaleza y a las diferentes características del terreno y de la propia instalación. Por este motivo, existen diferentes tipos de estación, como por ejemplo las estaciones largas o cortas, la estación intermedia y la estación HCL.

Dependiendo de las necesidades específicas del proyecto, la motriz se puede ubicar tanto en la estación inferior o superior, en configuración enterrada o aérea, en las variantes motriz fija o motriz tensora. Un grupo motor clásico está formado al menos por un motor, un freno de servicio, un freno de emergencia y el reductor de velocidad. El DirectDrive es una creación propia y exclusiva de LEITNER, y es el único sistema de accionamiento de teleférico sin reductor de velocidad. Su eje de salida está conectado directamente a la polea. La ausencia de un complejo reductor comporta ventajas notables en el funcionamiento. Direct Drive permite una operación silenciosa con una reducción del sonido de alrededor 15 Decibelios respecto a los sistemas tradicionales. Además, requiere mantenimiento mínimo y costes de ejercicio muy bajos.

Ningún otro elemento como la morfología del terreno es capaz de influir tan claramente en las características de la línea de un teleférico. En consecuencia, es importante el desarrollo de todos los aspectos de los componentes y su

correcto funcionamiento, los cuales ofrecen a los pasajeros el máximo confort y seguridad. La línea tiene diferentes componentes, como las pilonas, los balancines y el cable.

[3]

3.1. Las pilonas

Las pilonas Las pilonas deben soportar el peso del vehículo con los pasajeros y, por este motivo, su construcción es robusta. Los vehículos pueden circular por ambos lados de la pila. Las pilonas individuales están formadas por una combinación de tubos de acero de diferente longitud, diámetro y espesor de la pared. En función de la morfología del terreno, las pilonas se transportarán hasta el área de la obra en helicóptero y se montarán allí. Las pilonas especiales son pilonas con una altura de más de 30 metros, construidas como pilonas tubulares divididas o como soportes en celosía.

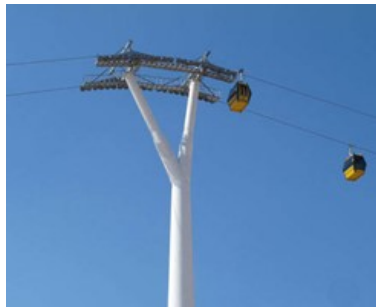


Figura 1: Pilona

3.2. Los balancines

Los balancines sirven para dirigir el cable portante a lo largo de la línea. Cada balancín está compuesto por una disposición de poleas. El número de poleas depende del peso que el cable debe transportar. Cada polea está compuesta por un cuerpo base, el anillo giratorio y la rueda con bridas.



Figura 2: Balancines

3.3. El cable

El cable da nombre a todos los sistemas de transporte por cable, los teleféricos. Los cables de acero están compuestos de hilos de cable que se retuercen alrededor del núcleo del cable. Empresas especializadas fabrican los cables y los montan en el lugar.

4. Metodología

4.1. Estado de arte

4.1.1. Selección de cable

Cada aplicación tiene que superar desafíos específicos. Un factor crítico de éxito es utilizar el cable correcto.

- TEUFELBERGER

Dispone de los conocimientos técnicos necesarios sobre cada tipo de teleférico por lo que puede ofrecer el cable adecuado. La estructura de un cable decide sobre su calidad. La sección y el acabado superficial del cable de acero son indicadores de la alta calidad de nuestros cables de acero.

- SOLITEC®

Las propiedades por las que se destaca nuestra tecnología SOLITEC® son su gran durabilidad y máxima flexibilidad. El cable SOLITEC® de TEUFELBERGER se utiliza como cable tractor y portante en teleféricos monocable de circuito continuo y como cable tractor / de desplazamiento en teleféricos multicable de circuito continuo, teleféricos de vaivén y funiculares.

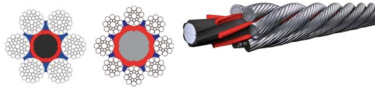


Figura 3: Estructura del cable SOLITEC®

- STRESSLESS / DATA La tecnología STRESSLESS tiene una gran importancia por su función portante en teleféricos de vaivén y teleféricos multicables de circuito continuo. Esta innovadora tecnología puede utilizarse tanto con una función exclusivamente portante o en su versión DATA con cable de fibra óptica integrado.



Figura 4: Estructura del cable STRESSLESS

[1]

4.1.2. Método de elementos finitos

El método de elementos finitos abarca en proponer que un número infinito de variables desconocidas, sean sustituidas por un número limitado de elementos de comportamiento bien definido. Esas divisiones pueden tener diferentes formas, tales como triangular, cuadrangular, y otras, basándose del tamaño y tipo del dicho problema a resolver. Como dicho número de elementos es limitado, son llamados elementos finitos. Los elementos finitos están conectados entre sí por dichos puntos, que a estos se les llamaran nodo o puntos nodales. La precisión de los métodos de los elementos finitos depende de la cantidad de los elementos y nodos y del tamaño de las mallas, entonces podemos decir que cuanto menor sea el tamaño y mayor el número de elementos en una malla, más precisa serán los dichos resultados del análisis propuesto.

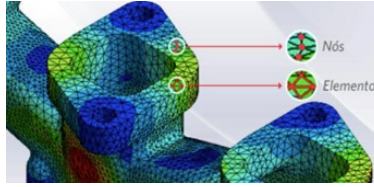


Figura 5: Muestra del FEM

[2]

4.2. Propuesta

Como se mencionó, en esta práctica se realizará el diseño y la optimización de un cable de teleférico y se sugiere un refuerzo que pueda sostener 2 teleféricos a la vez, como se ve en la figura 1.

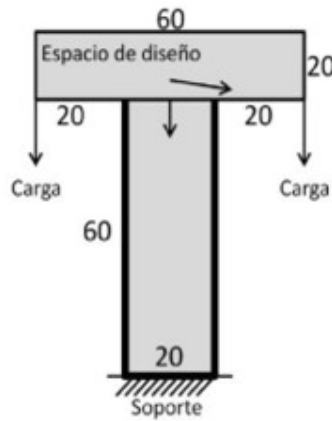


Figura 6: Propuesta

Como vemos, tenemos que aplicar 2 cargas al refuerzo y se necesitará hacer el uso de espacios en blanco como en la práctica anterior.

5. Desarrollo

Para realizar el procedimiento necesario, utilizaremos el código implementado en la práctica 3, haciéndole algunos ajustes en partes del código para que se pueda diseñar bien la forma deseada.

Código de la práctica 3

```

1  %%% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY OLESGRUND, OCTOBER 1999 %%%
2  function Practica3(nelx,nely,volfrac,penal,rmin)
3  % INITIALIZE
4  x(1:nely,1:nelx) = volfrac;
5  loop = 0;
6  change = 1.;
7  %Se declara el espacio en blanco
8  for ely = 1:nely
9      for elx = 1:nelx
10         if ((ely-(nely*0.5)<(2*elx)-(1.36*nelx)) && (ely < (1+nely*0.5))) && (elx > (1+nelx)*0.6666))
11             passive(ely,elx) = 1;
12         else
13             passive(ely,elx) = 0;
14         end
15     end
16 end
17 x(find(passive))=0.001;
18 change = 1.;

```

Código modificado para la práctica 4

```

1  %%% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY OLE SIGMUND, OCTOBER 1999 %%%
2  function Practica4(nelx,nely,volfrac,penal,rmin);
3  % INITIALIZE
4  x(1:nely,1:nelx) = volfrac;
5  for ely = 1:nely
6  for elx = 1:nelx
7  if ely>21
8  if elx<21
9  passive(ely,elx) = 1;
10 elseif elx>41
11 passive(ely,elx)=1;
12 else
13 passive(ely,elx) = 0;
14 end
15 end
16 end
17 end
18 x(find(passive))==0.001;
19 loop = 0; change = 1.;

```

Código de la práctica 3

```

25 %13 OBJECTIVE FUNCTION AND SENSITIVITY ANALYSIS
26 [KE] = 1k;
27 c = 0.;
28 for ely = 1:nely
29 for elx = 1:nelx
30 n1 = (nely+1)*(elx-1)+ely;
31 n2 = (nely+1)* elx +ely; %19
32 dc(ely,elx) = 0.;
33 for i = 1:5
34 Ue = U([2*n1-1;2*n1; 2*n2-1;2*n2; 2*n2+1; 2*n2+2;
35 2*n1+1;2*n1+2],1);
36 c = c + x(ely,elx)^penal*Ue'*KE*Ue;
37 dc(ely,elx) = dc(ely,elx)-penal*x(ely,elx)^(penal-1)*Ue'*KE*Ue;
38 end
39 end
40 end

```

Código modificado para la práctica 4

```

24 % OBJECTIVE FUNCTION AND SENSITIVITY ANALYSIS
25 [KE] = 1k;
26 c = 0.;
27 for ely = 1:nely
28 for elx = 1:nelx
29 n1 = (nely+1)*(elx-1)+ely;
30 n2 = (nely+1)* elx +ely;
31 dc(ely,elx)=0.;
32 for i=1:2
33 Ue = U([2*n1-1;2*n1; 2*n2-1;2*n2; 2*n2+1; 2*n2+2; 2*n1+1;2*n1+2],1);
34 c = c + x(ely,elx)^penal*Ue'*KE*Ue;
35 dc(ely,elx) = dc(ely,elx)-penal*x(ely,elx)^(penal-1)* Ue'*KE*Ue;
36 end
37 end
38 end

```

Código de la práctica 3

```

96 % DEFINE LOADSAND SUPPORTS (HALF MBB-BEAM)
97 F(2*nelx*(nely+1)+2,1) = 1;
98 F(2*nelx*(nely+1)+(nely/4),2) = 1;
99 F(2*nelx*(nely+1)+(nely/2),3) = 1;
100 F(2*nelx*(nely+1)+(nely),4) = 1;
101 F(2*nelx*(nely+1)+(nely*1.2),5) = 1;
102 fixeddofs = 2*(nely+1):2*(nely+1):2*(nelx+1)*(nely+1);
103 alldofs = [1:2*(nely+1)*(nelx+1)];
104 freedofs = setdiff(alldofs,fixeddofs);
105 % SOLVING 127
106 U(freedofs,:) = K(freedofs,freedofs) \F(freedofs,:);
107 U(fixeddofs,:) = 0;

```

Código modificado para la práctica 4

```
95 % DEFINE LOADSAND SUPPORTS (HALF MBB-BEAM)
96 F(40,1) = -1.; F(9760,2)=1.;
97 fixeddofs = 2*(nely+1):2*(nely+1):2*(nelx+1)*(nely+1);
98 alldofs = [1:2*(nely+1)*(nelx+1)];
99 freedofs = setdiff(alldofs,fixeddofs);
100 % SOLVING
101 U(freedofs,:) = K(freedofs,freedofs) \ F(freedofs,:);
102 U(fixeddofs,:) = 0;
```

En esta última parte, es donde se asignan las cargas correspondientes, y como en la práctica 3 tenemos más cargas, las tuvimos que reducir y ajustar para esta práctica 4.

5.1. Código final implementado

```
%%% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY OLE SIGMUND, OCTOBER 1999 %%%
function Practica4(nelx,nely,volfrac,penal,rmin);
% INITIALIZE
x(1:nely,1:nelx) = volfrac;
for ely = 1:nely
    for elx = 1:nelx
        if ely>21
            if elx<21
                passive(ely,elx) = 1;
            elseif elx>41
                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(nelx,nely,x,penal);
    % OBJECTIVE FUNCTION AND SENSITIVITY ANALYSIS
    [KE] = lk;
    c = 0.;
    for ely = 1:nely
        for elx = 1:nelx
            n1 = (nely+1)*(elx-1)+ely;
            n2 = (nely+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
```

```

end
end
% FILTERING OF SENSITIVITIES
[dc] = check(nelx,nely,rmin,x,dc);
% DESIGN UPDATE BY THE OPTIMALITY CRITERIA METHOD
[x] = OC(nelx,nely,x,volfrac,dc,passive);
% PRINT RESULTS
change = max(max(abs(x-xold)));
disp([' It.: ' sprintf('%4i',loop) ' Obj.: ' sprintf('%10.4f',c) ...
      ' Vol.: ' sprintf('%6.3f',sum(sum(x))/(nelx*nely)) ...
      ' 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(nelx,nely,x,volfrac,dc,passive)
l1 = 0; l2 = 100000; move = 0.2;
while (l2-l1 > 1e-4)
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*nelx*nely > 0;
l1 = lmid;
else
l2 = lmid;
end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% MESH-INDEPENDENCY FILTER %%%%%%%%%%%%%%
function [dcn]=check(nelx,nely,rmin,x,dc)
dcn=zeros(nely,nelx);
for i = 1:nelx
for j = 1:nely
sum=0.0;
for k = max(i-round(rmin),1): min(i+round(rmin),nelx)
for l = max(j-round(rmin),1): min(j+round(rmin), nely)
fac = rmin-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
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% FE-ANALYSIS %%%%%%%%%%%%%%
function [U]=FE(nelx,nely,x,penal)
[KE] = lk;
K = sparse(2*(nelx+1)*(nely+1), 2*(nelx+1)*(nely+1));
F = sparse(2*(nely+1)*(nelx+1),2); U = sparse(2*(nely+1)*(nelx+1),2);
for ely = 1:nely
for elx = 1:nelx
n1 = (nely+1)*(elx-1)+ely;
n2 = (nely+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 LOADSAND SUPPORTS(HALF MBB-BEAM)
F(40,1) = -1.; F(9760,2)=1.;
fixeddofs = 2*(nely+1):2*(nely+1):2*(nelx+1)*(nely+1);
alldofs = [1:2*(nely+1)*(nelx+1)];
freedofs = setdiff(alldofs,fixeddofs);
% SOLVING
U(freedofs,:) = K(freedofs,freedofs) \F(freedofs,:);
U(fixeddofs,:)= 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(6) k(5) k(4) k(3)
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)];

```

6. Resultado

Inicio de la optimización

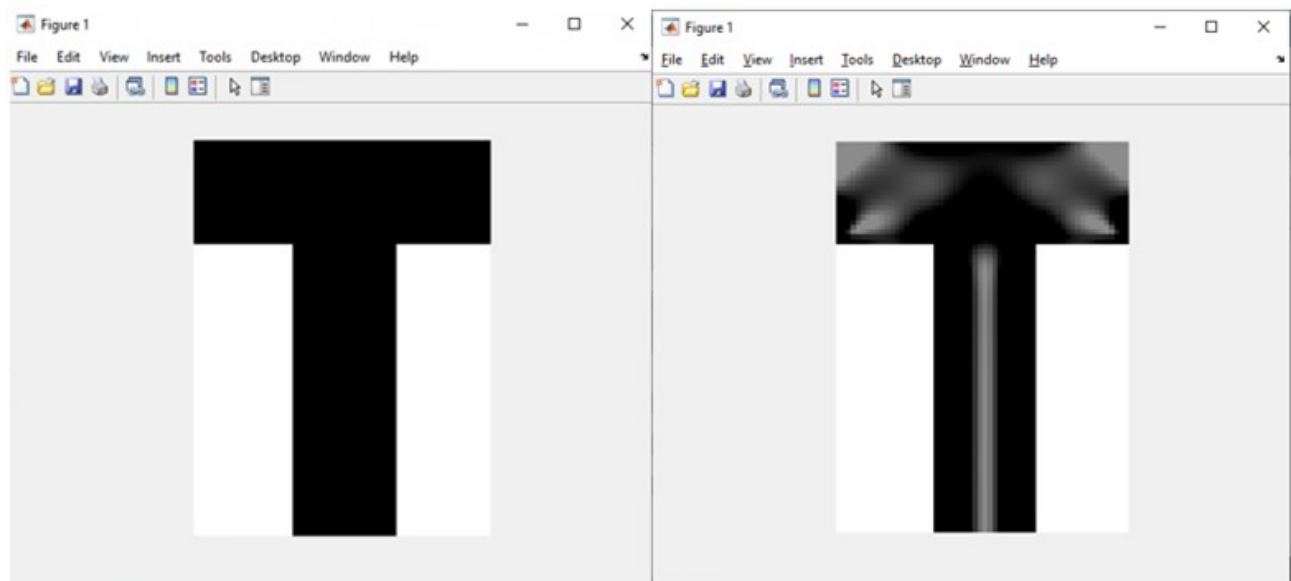


Figura 7: Resultado inicial

Optimización completa

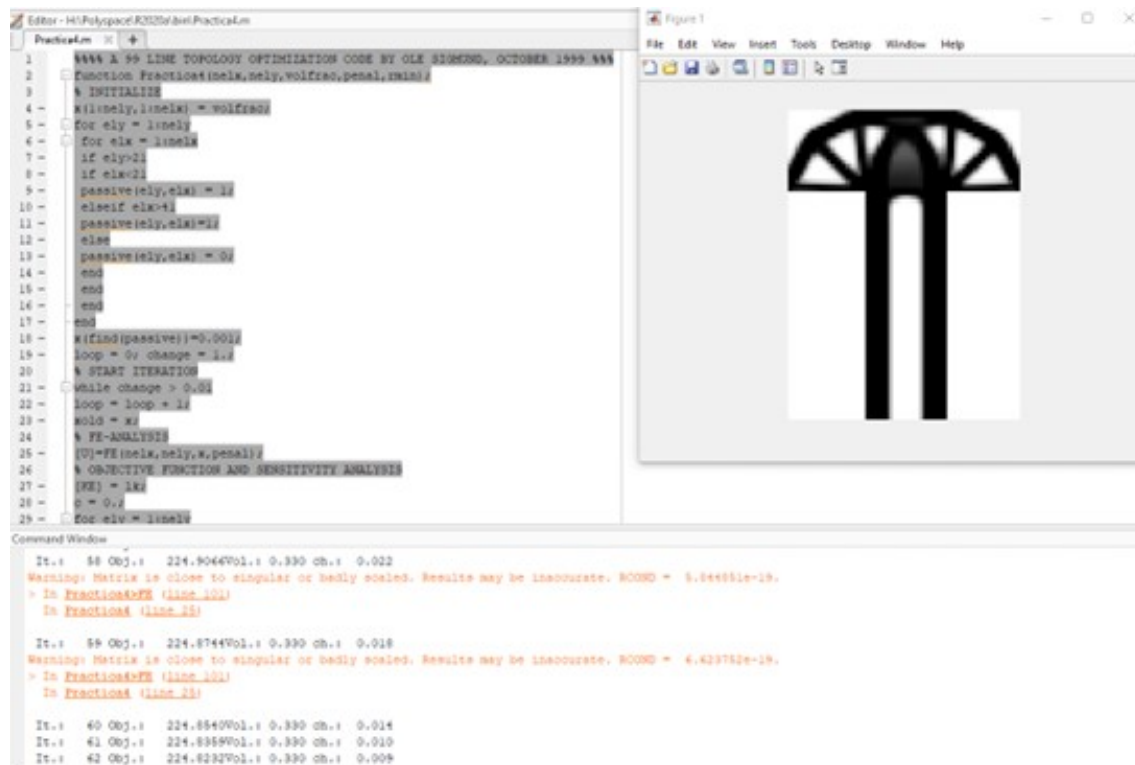


Figura 8: Resultado final

7. Conclusiones

■ Bernardo Gil Villarreal 1991876

Gracias a la realización de esta práctica se puede observar que en los resultados de los casos propuestos se tiene una geometría muy similar entre ellos. En el caso de dos cargas, este como las fuerzas son aplicadas en opuestos simétricos la forma de pieza es simétrica en el eje Y. También teniendo en cuenta el punto clave de en realidad en que consiste un teleférico y sus respectivos componentes ya que nos podemos basar de ellos a fuerzas y las cargas que de estas se componen, por otro lado, empezando con lo que hicimos podemos concluir que aunque se crea que algo no se toma en cuenta dentro de un sistema de esfuerzos por ser un espacio en blanco, esto no debe ser así, debemos darle la importancia para el diseño óptimo del diagrama.

■ Jovanny Daniel Alvarado Ramírez 1896681

Se trabajo de nuevo en base a una propuesta que contenía diversas especificaciones que cumplir en el nuevo proceso de optimización que en este caso consistía en el reforzamiento de un cable. De acuerdo con el cable escogido, obtuvimos los resultados esperados y puedo concluir concretamente en que es posible generar nuevas y mejores geometrías de elementos físicos estructurales de mayor importancia como lo son este tipo de cables. De igual manera, menciono que dados los recursos a nuestro alcance la optimización en Matlab es buena y algo tardada; aunque el proceso fue sencillo dado que solo fue necesario modificar un poco el código de programación que ya teníamos.

■ Aurora Nahomy Martínez Pérez 1845056

Con esta práctica, vimos más elementos que podemos aplicar para la realización de la optimización topológica, como los elementos pasivos, que nos permiten hacer algunas estructuras con diferentes partes, modificando algunas secciones específicas de nuestro código, también tomando en cuenta las cargas que necesitamos aplicar

a la estructura y demás aspectos relacionados a la optimizacion. La utilización de Matlab con el código de optimizacion topologica, resultó sencilla, solamente conociendo las partes del código que necesitamos cambiar.

- Kevin Orlando Huerta Jaramillo 1854324

Al igual que en las prácticas anteriores se utilizó el código que nos permite realizar la optimización topológica de el componente, que en este caso es el soporte del teleférico, el cual está sometido a fuerzas como el viento y al peso de las cabinas, las cuales deben ser consideradas en el diseño para que pueda aguantar estas cargas con una nueva distribución de material, para poder reducir su masa y asegurar que cumpla con el factor de seguridad adecuado para las cargas a las que va a estar sometido.

- Fernando Herrera Garza 1909876

De nuevo se utilizo el código de 99 para la optimización topológica con una estructura diferente, y nos vamos dando cuenta de las otras aplicaciones que se podrían realizar para la optimización de vigas, piezas mecánicas, etc., esto tomando en cuenta los tiempos que se tarda Matlab en realizar el proceso de optimización, que como vemos, cada vez va aumentando mas y mas, por la definición de los elementos pasivos, que consumen más tiempo y recursos de nuestro equipo de computo.

Referencias

- [1] Pere Sabaté Carreras and Facultativo de Minas. Ntp 155: Cables de acero.
- [2] E Fernández Durán, Enrique Gonzalo Jiménez Gómez, and Isabel Solano Martínez. Una aproximación a la conceptualización de espacio topológico. In *Relación Secundaria Universidad: XX Encuentros de didáctica de las ciencias experimentales*, pages 765–773. Gráficas Báez, 2002.
- [3] Antonio Miravete and Emilio Larrodé. *Transportadores y elevadores*. Reverte, 1996.