



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FIME

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

Práctica #4 Refuerzo del cable de un teleférico

Manuel Exiquio Barrera Suárez 1992101

Ernesto Axel Moreno Garcia 1992038

Juan Ángel Hernández Antonio 1992154

Alberto Alan Ramírez Velázquez 1802607

24 de octubre del 2022

1.- Objetivo.

El estudiante deberá presentar una propuesta de análisis de formas y de la programación para la ejecución de la optimización (descripción funcional) de características para la ejecución de la optimización (descripción funcional) de características de trabajo específicas que presenta la(s) ventaja(s) (mencionar ventajas).

2.- Marco Teórico.

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.

Ventajas del cable teleférico:

- Alta resistencia de tensión, lo que resulta en el desempeño de cables de rendimiento superior (= alta carga de rotura para el diámetro de cable establecido).
- Excelente ductilidad del alambre, lo cual resulta en propiedades de torsión de la cuerda óptimas a la fatiga.
- Alambre adecuado para usos compactos y no compactos.
- Gran utilidad y confiabilidad de rendimiento.

Aplicaciones:

- Deporte y ocio.
- Alambre para vías de cuerda aérea.
- Alambres para cables para remolques de esquís (elevadores de persona).
- Alambres para cables para elevadores de sillas y elevadores de góndola.
- Alambre para cables de transporte para funiculares.
- Alambre para teleféricos para transporte de personas.
- Alambre para cable para transporte de material (grúas de cuerda/vías de cuerda para fletes).

3.- Desarrollo.

1) Nombre y definición de la forma GEOMETRÍA

Consideramos en primer término un cable estirado entre dos puntos fijos, con una sola carga aplicada en su punto medio. Bajo la acción de la carga, el cable adopta una forma simétrica triangular, y a cada apoyo llega la mitad de la carga, por tracción simple a lo largo de ambas mitades del cable. La forma triangular adoptada por el cable se caracteriza por la flecha, distancia vertical entre los soportes y el punto más bajo del cable. Sin flecha, el cable no podría sostener la carga, pues las fuerzas de tracción serían horizontales, y ninguna fuerza horizontal puede equilibrar cargas verticales.

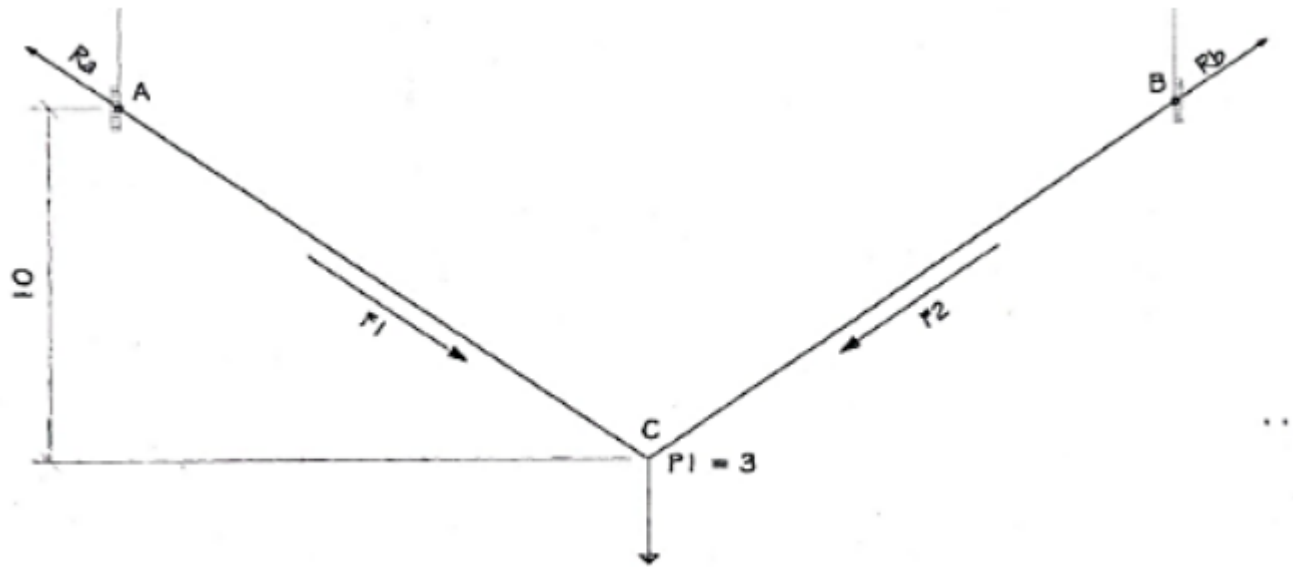


Figura 3 Cable de un teleférico.

En los apoyos, el tiro oblicuo del cable puede descomponerse en dos fuerzas: una vertical igual a la mitad de la carga y otra horizontal dirigida hacia el otro apoyo. Si no hubiera apoyos fijos, los extremos del cable, por efecto de la componente horizontal del tiro, se moverían, tendiendo a cerrarse. Puede observarse que esa fuerza horizontal es inversamente proporcional a la flecha, es decir, que a medida que ésta disminuye (el cable tiende a adquirir la posición horizontal) aumenta las solicitaciones de tracción en el mismo.

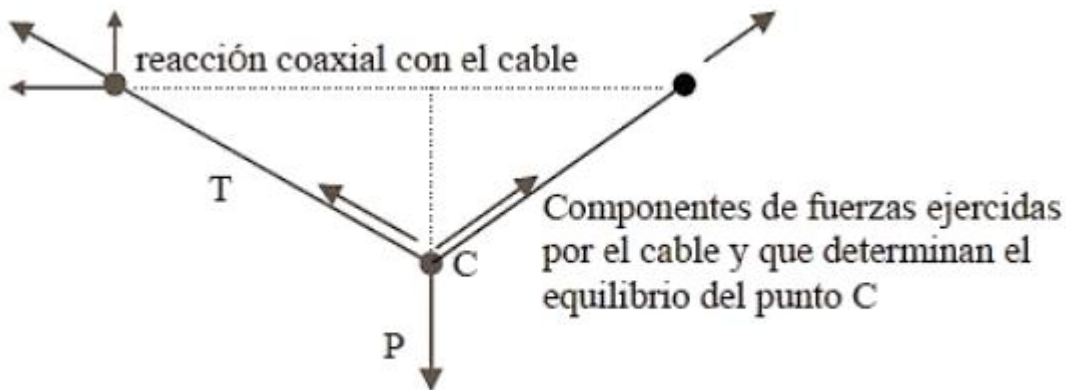


Figura 4 Cable de un teleférico.

Si se le agrega al cable otra carga, por ejemplo, en uno de los tramos, éste cambia su forma y se acomoda para transferir dicha carga por medio de tramos rectos de distintas inclinaciones. Los dos apoyos desarrollan reacciones verticales distintas (asimetría de carga), pero igual reacción horizontal, pues el cable debe estar en equilibrio en esa dirección, ya que la sumatoria de fuerzas en dirección X y la sumatoria de fuerzas en dirección Y.

A medida que aumenta el número de cargas, el polígono funicular toma un número creciente de lados más pequeños que se aproxima a una curva uniforme, hasta llegar a un número infinito de cargas infinitamente pequeñas, en que el polígono se convertirá en una curva funicular. Para un cable con carga uniformemente repartida en proyección horizontal, la curva es una parábola; si las cargas se distribuyen a lo largo del cable, y no horizontalmente, la curva funicular es una catenaria, la forma natural que adopta un cable de sección constante sometido a su propio peso.

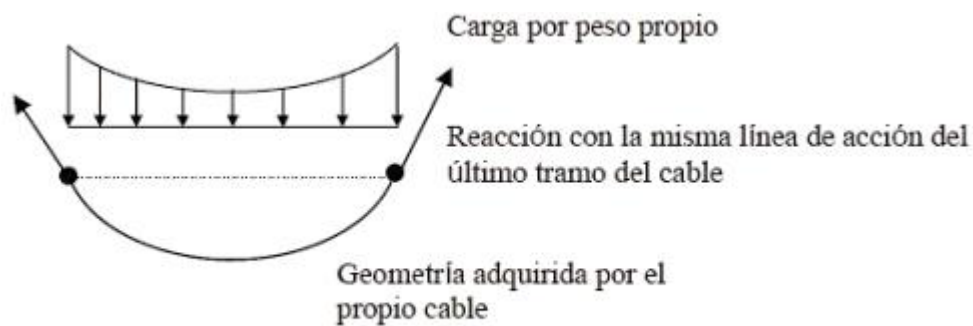


Figura 5 Curva funicular.

Si se invierte la forma funicular que toma un cable cargado se obtiene la forma ideal de un arco que, sometido a ese esquema de cargas, desarrolla sólo tensiones de compresión. La forma ideal de un arco capaz de resistir cargas determinadas por un estado de compresión simple puede hallarse siempre con la forma del polígono funicular correspondiente, invertido.

Por lo general, la forma de un arco de cualquier material apto para resistir compresiones se elige de modo que corresponda al polígono funicular de la carga debida al peso propio, pero cuando actúan otras cargas, como las llamadas sobrecargas variables (nieve, viento, sismo, etc.), se desarrolla un estado de tensiones distinto de la compresión simple.

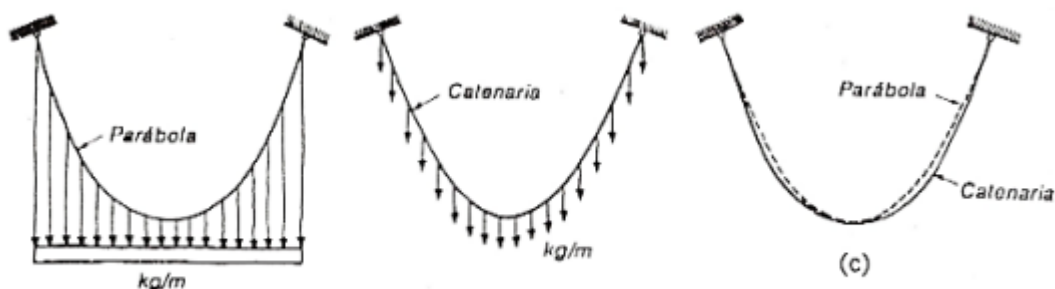


Figura 6 Curvas funiculares.

2) Estado de arte

Se consideran instalaciones de transporte de personas por cable y son utilizadas, principalmente, en estaciones turísticas de alta montaña, en instalaciones de transporte urbano y en instalaciones deportivas.

A continuación, se define brevemente cada una de ellas:

- Funiculares: instalaciones cuyos vehículos son arrastrados por uno o más cables a lo largo de raíles que pueden descansar sobre el suelo o reposar sobre estructuras fijas.
- Teleférico: instalaciones cuyos vehículos van suspendidos y son propulsados por uno o más cables. Esta categoría incluye las telecabinas y los telesillas.
- Telesquíes: instalaciones en las que los pasajeros, debidamente equipados, son arrastrados por una pista preparada al efecto.

Las primeras civilizaciones que hicieron uso del transporte por cable fueron las orientales (China, Japón e India) y la antigua civilización inca de Perú. En Europa no aparece este tipo de transporte hasta la Edad Media, a principios del siglo XVI, empleándose para la construcción de castillos y fortificaciones. En aquella época el cable estaba fabricado por cuerdas de cáñamo y para su funcionamiento se utilizaba la tracción animal o humana.

A partir del año 1500 comienza a utilizarse el cable de acero y desde el siglo XVI al XIX se va perfeccionando su trenzado de hilos, contribuyendo al desarrollo del transporte por cable, principalmente para su uso en las minas de carbón. A partir de los años 30 del siglo XX proliferan los teleféricos con fines turísticos en lugares de montaña, sustituyendo en muchos casos a los funiculares y los trenes cremallera.

Sin embargo, es en las décadas de los 60 y los 70 cuando se produce el mayor desarrollo de este tipo de transporte, impulsado principalmente por el auge del esquí y otros deportes de montaña. Desde entonces hasta ahora los teleféricos han experimentado una gran evolución, construyéndose, hoy en día, instalaciones cada vez más modernas. En su diseño, además de garantizar el buen funcionamiento y la seguridad, se da gran importancia a la innovación, la estética y la comodidad.

3) Propuesta de diseño de la geometría, alcances y limitaciones

Son los elementos principales de la instalación y se encargan de transmitir el movimiento y soportar las cargas mecánicas. Existen 3 tipos de cables según las especificaciones de la instalación:

- Cable portante: soporta la carga.
- Cable tractor: transmite la fuerza para el movimiento.
- Cable transportador: combina ambas funciones (soporta la carga y transmite el movimiento) en un solo cable.

El modelo de instalación con el que se llevan a cabo todos los cálculos del programa cuenta con un único cable transportador que, en función del tipo de carga a la que se vea sometido, tomará la configuración de catenaria o la de un cable sometido a cargas puntuales.

A continuación, se muestran las dos posibles configuraciones del cable: catenaria, cuando el cable soporta únicamente su peso propio; cable sometido a cargas puntuales, para el caso de las cabinas con o sin personas en su interior.

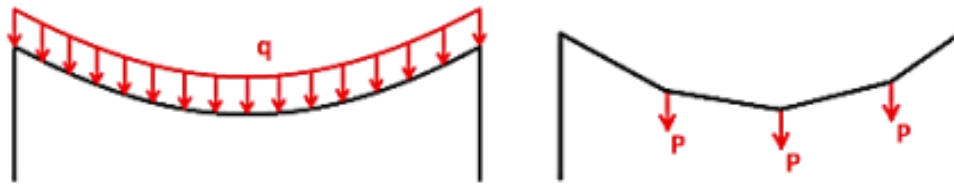


Figura 7 Configuraciones de cables.

Los cables destinados a los sistemas de transporte por cable deben cumplir una serie de requisitos, entre los cuales se encuentran la capacidad de resistir las cargas y minimizar la elongación, de manera que se pueda prolongar su vida útil en condiciones de máxima seguridad.

Para garantizar estas condiciones, los cables de teleférico se componen de las siguientes partes:

- Alambres de acero: son los elementos encargados de resistir los esfuerzos de tracción aportando, además, flexibilidad lateral al cable.
- Cordones: son el núcleo alrededor del cual están dispuestos helicoidalmente los alambres y que, a su vez, se enrollan alrededor del alma formando el cable.
- Alma: es el soporte del conjunto, generalmente de carácter metálico, cuya función es impedir que se pierda la forma helicoidal de los cordones en condiciones de carga máxima.

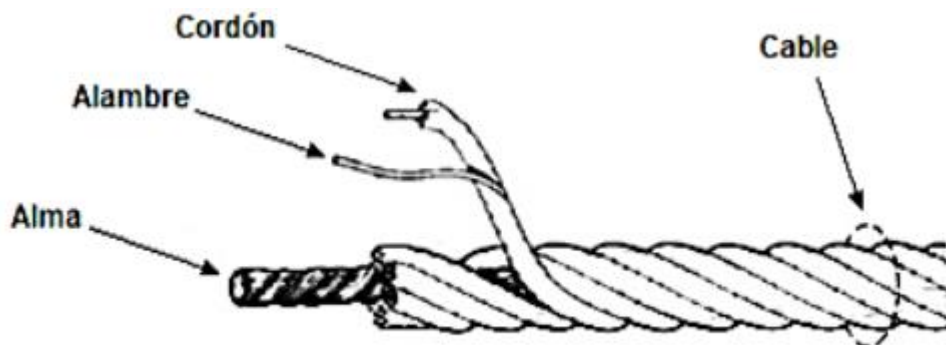


Figura 8 Partes de cables.

Para la comprobación del correcto pre-dimensionamiento de la instalación se emplea un único cable transportador de la empresa argentina IPH, específico para transporte por cable y, en concreto, para telecabinas.

Uno de los datos a introducir es el diámetro del cable, que se elige mediante un desplegable en el que aparecen los diámetros normalizados para ese tipo de cable. Una vez seleccionado el mismo, el propio programa aporta su masa aproximada y su carga mínima de rotura.

Por último, se ha de considerar el hecho de que la longitud real del cable difiere en cierta medida de la longitud teórica, es decir, la que el cable tendría si su configuración fuera la de una recta entre los apoyos. Esta relación se conoce con el nombre de ratio y se trata de un valor adimensional.

$$\text{Ratio} = \frac{\text{Longitud real del cable}}{\text{Longitud teórica del cable}}$$

4) Pasos del desarrollo de la programación

- Figura 1

```
[KE] = 1k;
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
% 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(l.,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
end
%%% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY OLE SIGMUND, OCTOBER 1999 %%%
function new_pr42_f(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<31
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
```

```

##### 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;
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)];

```


- Figura 2

```
##### A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY OLE SIGMUND, OCTOBER 1999 #####
function new_pr42_f(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] = 1k;
    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
    % 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
end
```



```

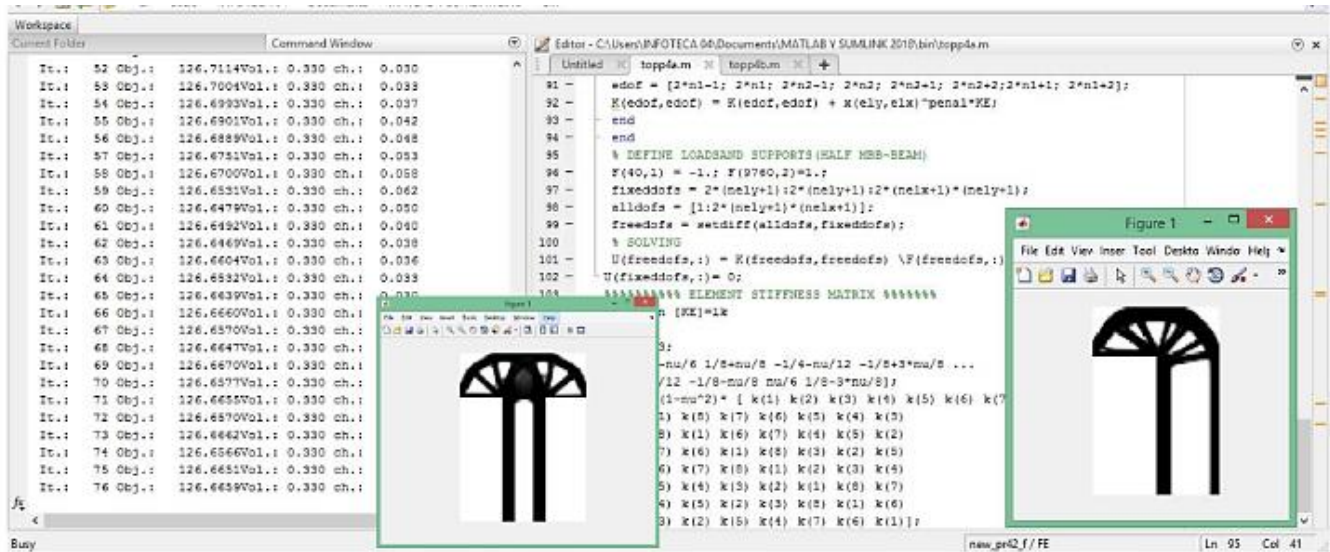
end
##### MESH-INDEPENDENCY FILTER #####
function [dcn]=check(nelx,nely,rmin,x,dc)
dcn=zeros(nely,nelx);
for i = 1:nelx
for j = 1:nely
sum=0.0;
for k = max(i-round(rmin),1): min(i+round(rmin),nelx)
for l = max(j-round(rmin),1): min(j+round(rmin), nely)
fac = rmin-sqrt((i-k)^2+(j-l)^2);
sum = sum+max(0,fac);
dcn(j,i) = dcn(j,i) + max(0,fac)*x(l,k)*dc(l,k);
end
end
icn(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)];

```

5) Resultados de la optimización



6) Conclusiones.

Alberto Alan Ramírez Velázquez 1802607

En este reporte de laboratorio mostramos lo que se realizó a través de la práctica, esto usando Matlab, observamos que el tiempo para la realización de ésta fue mayor a la anteriores por el proceso que tuvo que llevar el software para optimizar los esfuerzos, además de ver los espacios en blanco que son elementos pasivos que necesitan ser tomados en cuenta para el diagrama. 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. 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.

Ernesto Axel Moreno García 1992038

En conclusión con esta cuarta práctica en donde pudimos investigar e implementar la optimización topológica de un refuerzo del cable de un teleférico en donde se analizó la geometría, así como lo que se ocupa para que pueda soportar el peso y la fuerza de los distintos elementos que pueden ejercer sobre él, por otro lado en cuanto a la programación del código de optimización lo implementamos en MATLAB como en anteriores ocasiones, donde notamos que transcurrió un tiempo mayor que para que terminará todo el proceso de optimización pero que una vez que se finalizó fue de gran utilidad para tener un mejor entendimiento de esta práctica. Finalmente observamos 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 importancia para que el diseño sea el óptimo.

Manuel Exiquio Barrera Suárez 1992101

Durante el transcurso de la actividad fuimos capaces de contemplar cómo iba avanzando la forma del diseño en cuestión a lo que teníamos contemplado. Una muestra más de que la optimización topológica y su utilidad en la elaboración de productos su versatilidad, también fuimos capaces de comprender las enormes capacidades que tiene el software de Matlab.

Juan Ángel Hernández Antonio 1992154

Al igual que en la última práctica realizada conforme íbamos realizando la práctica, íbamos notando como todo empezaba a dar forma el diseño a lo que teníamos en mente la optimización topológica tiene una aplicación directa en cualquier desarrollo de productos, el código que se utilizó puede tener más aplicaciones en otros diseños estructurales ya que cuenta con gran versatilidad, lo implementamos en MATLAB con ello pudimos complementar los conocimientos adquiridos en la clase visualmente.

Bibliografía

1. 99 Line Topology Optimization Code – O. Sigmund, Department of Solid Mechanics, Building 404, Technical University of Denmark, DK-2800 Lyngby, Denmark.
2. Lucía, C. (2020, diciembre 16). *La optimización topológica en la impresión 3D*. 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/optimizacion-topologica-10012017/>
Optimización Topológica. (s/f). Catec.aero. Recuperado el 17 de octubre de 2022, de <http://www.catec.aero/es/materiales-y-procesos/1%C3%ADnea-de-investigaci%C3%B3n/optimizaci%C3%B3n-topol%C3%B3gica>