

# **Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.**

## **Laboratorio de Biomecánica**

### **Práctica 4. Refuerzo del cable de un teleférico**

<b>1992212</b>	<b>Jose Eduardo Mendoza Ziga</b>	<b>IMTC</b>
<b>1992298</b>	<b>Manuel Antonio Ulloa Méndez</b>	<b>IMTC</b>
<b>1733433</b>	<b>Raúl Alejandro Tamez González</b>	<b>IMTC</b>
<b>1992043</b>	<b>Eduardo Villarreal Gámez</b>	<b>IMTC</b>
<b>1818785</b>	<b>Oiram Colunga Bernal</b>	<b>IMTC</b>
<b>1822072</b>	<b>Brandon Arturo Solano Arias</b>	<b>IMTC</b>
<b>1916426</b>	<b>Daniel Alberto Acosta Banda</b>	<b>IMTC</b>
<b>Maestro:</b>	<b>Dra. Yadira Moreno Vera</b>	
<b>Hora:</b>	<b>V1</b>	
<b>Grupo:</b>	<b>204</b>	

*Fecha de entrega 18 de octubre, 2022  
Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza*

## **1.- Objetivo**

El estudiante deberá utilizar múltiples cargas y en base a estas realizar un estudio que tome múltiples cargas y que tome en consideración cuales son las implicaciones que esto conlleva.

## 2.- Marco teórico

### 2.1. Teleférico.

El teleférico es un sistema de transporte no tripulado aéreo constituido por cabinas colgadas de una serie de cables que se encargan de hacer avanzar a las unidades a través de las estaciones. Cuando las cabinas van por tierra se denomina funicular <sup>1</sup>.

El sistema de cada teleférico está compuesto por uno o más cables (dependiendo del tipo). El primer cable está fijo y sirve para sostener las cabinas, el segundo está conectado a un motor (ubicado en la estación) y hace mover las cabinas.

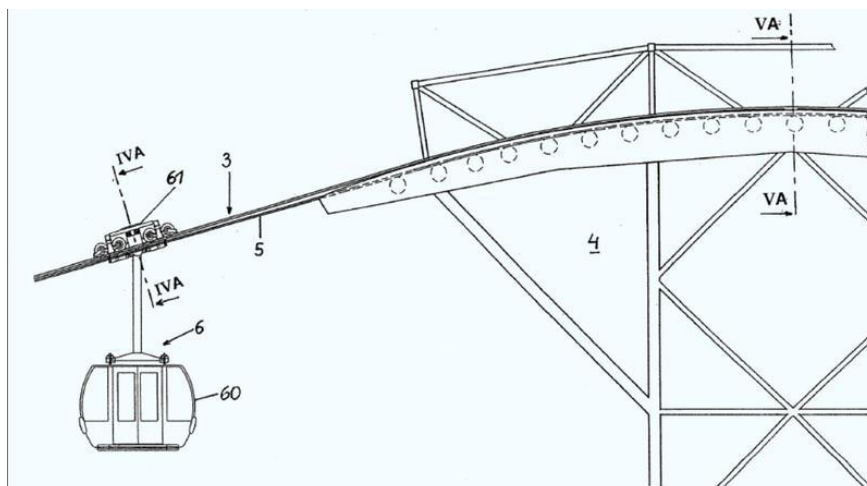
Algunos teleféricos usan dos cabinas por tramo (trayecto entre estación y estación) a fin de crear un contrapeso. Otros sistemas más complejos tienen varias cabinas suspendidas simultáneamente en cada dirección.

El teleférico es un medio de transporte que consiste en cabinas con capacidad para llevar un grupo de personas. Estas cabinas viajan suspendidas en el aire transportadas por uno o varios cables. La mayoría de estos medios de transporte son accionados por energía eléctrica. Este transporte se usa en zonas con grandes diferencias de altura, donde el acceso por carretera o ferrocarril resulta difícil.

En un principio la razón para diseñar el teleférico fue tener una cabina colgante que sirviera de puente entre un lugar de difícil acceso y el ferrocarril.

Los sistemas de teleférico requieren como mínimo dos estaciones. Una estación se construye en el punto de inicio del teleférico y el otro 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.

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.



*Figura 1. Principio de teleférico.*

## 2.2 Historia

En América del Sur se habla sobre un dispositivo similar a un teleférico, que habría existido desde aproximadamente 1563 sobre un desfiladero en el camino de Mérida a Bogotá, que consistía en una canasta que colgaba de una cuerda de soporte con una polea y una cuerda de tracción que los ocupantes de la canasta podían jalar por sí mismos. Se dice que estuvo en funcionamiento a finales del siglo XIX<sup>2</sup>.

El primer diseño europeo de un artefacto similar fue del erudito croata Fausto Verancio<sup>3</sup> y el primero operativo fue construido en 1644 por Adam Wiebe en Dánzig.<sup>4</sup> Se movía con caballos y se usaba para mover tierra sobre el río para construir defensas.<sup>5</sup> Se le considera el primer ascensor de cable conocido en la historia europea y precede a la invención del cable de acero. No se sabe cuánto tiempo se utilizó, pero, en cualquier caso, pasarían otros 230 años antes de que Alemania obtuviera el segundo ascensor de cable, esta nueva versión equipada con cable de hierro.

Otros sistemas para la minería fueron desarrollados en la década de 1860 por Hodgson y Andrew Smith Hallidie, perfeccionados en 1867 para transportar también personas.

En 1894, un teleférico de pasajeros que cubría 160 metros entre dos torres de 25 metros de altura (accesibles por ascensores eléctricos) se mostró para la "Exposición Industrial y Artesanal de Milán",<sup>8</sup> fue construido por los ingenieros Giulio Ceretti y Vincenzo Tanfani.<sup>9</sup> En 1937, la fábrica Ceretti Tanfani del mismo nombre construyó un teleférico que cubría 75 kilómetros en Eritrea, el teleférico Massaua-Asmara, y todavía construye teleféricos en Italia a día de hoy.<sup>10</sup>

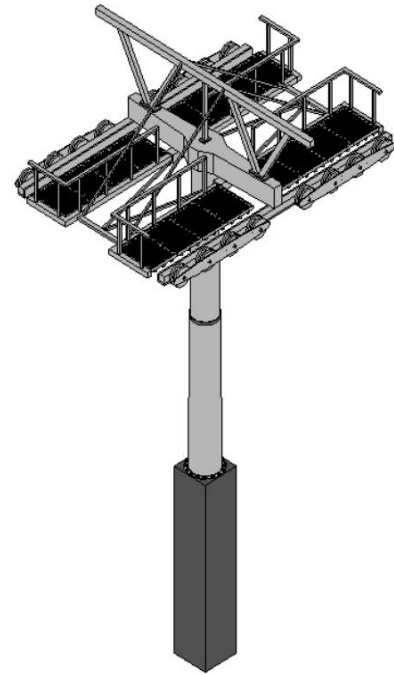
En 1898, se presentó al público en general en Zúrich una maqueta denominada Luftkabelbahn (teleférico) como atracción turística. La construcción, conocida como el ferrocarril de montaña del futuro, era una mezcla de funicular y teleférico. Se calculó para una luz de un kilómetro. La cabina, asegurada con hasta 20 cables y diseñada para transportar a 12 personas, debería haber recorrido esta distancia en siete minutos, según las ideas del diseñador. Para superar distancias más largas se proporcionaron estaciones de conexión. Se suponía que los frenos de acción automática, que eran comunes para los teleféricos en ese momento, evitarían una caída en caso de que se rompiera el cable de remolque. El sistema "Margesin", llamado así por el inventor y propietario de la patente,<sup>11</sup> nunca se implementó.

## 2.3 Elementos de un teleférico.

- **Pilonas.**

Las pilonas o bolardos son obstáculos que se colocan en el suelo sirviendo para delimitar vías de circulación y espacios de aparcamiento, gestionar el acceso a lugares públicos o privados, o simplemente para proteger espacios que no son autorizados al paso de vehículos.

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 2. Representación gráfica de pilonas.*

- **Balancines.**

En mecánica, el balancín es un elemento de máquina que transmite movimiento de un elemento a otro de un mecanismo, pivotando en un eje intermedio a su longitud como palanca de primer grado.

Es una palanca oscilante que transmite un movimiento radial desde el lóbulo de una leva, convirtiéndolo en el movimiento lineal de una válvula de asiento. Uno de sus extremos sube y baja empujado por un lóbulo giratorio del árbol de levas (ya sea directamente o mediante un empujador y una varilla de empuje), mientras que el otro extremo actúa sobre el vástago de la válvula. Cuando el lóbulo del árbol de levas levanta el brazo exterior, el brazo interior presiona el vástago de la válvula, abriéndola. A continuación, el brazo exterior regresa a su anterior posición debido a la rotación del árbol de levas, y entonces el interior se eleva, permitiendo que el muelle de la válvula la cierre<sup>3</sup>.



*Figura 3. Balancines*

- **Las estaciones.**

Los sistemas de teleférico requieren como mínimo dos estaciones. Una estación se construye en el punto de inicio del teleférico y el otro 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.



*Figura 4. Estación, punto de inicio del teleférico.*

- **El grupo motor.**

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. DirectDrive permite una operación silenciosa con una reducción del sonido de alrededor



*Figura 5. Grupo motor, ubicable en estación inferior o superior.*

15 Decibelios respecto a los sistemas tradicionales. Además, requiere mantenimiento mínimo y costes de ejercicio muy bajos.

- **La línea.**

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.



*Figura 6. Línea de un teleférico.*

- **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.

## **2.4. El sistema de control del teleférico.**

El sistema de control del teleférico supervisa la seguridad de la instalación y de los pasajeros. En la interfaz de usuario del sistema de control del teleférico, el maquinista puede ver en tiempo real todos los datos y la información necesarios para el funcionamiento del teleférico y permite al maquinista regular el servicio requerido.

## **2.5. Electrónica de potencia.**

La interacción perfecta entre el motor, el inverter y la mecánica de una instalación es un elemento esencial para obtener un alto confort de viaje. La electrónica de potencia proporciona un movimiento suave y fiable del cable en todas las condiciones de funcionamiento y peso. A través de la electrónica de potencia se controla la velocidad del vehículo y el comportamiento de la instalación en el momento de arranque y detención. Los servicios de algunos kW hasta la gran potencia del ámbito de 2-4



megavatios se adaptarán a los requisitos del sistema mecánico a través de algoritmos de regulación de forma precisa y con fuerza.

## **2.6. Los vehículos.**

Los vehículos son parte de la instalación de un teleférico, la parte que los pasajeros experimentan con más intensidad. La gama de vehículos va desde la silla biplaza para los telesillas de pinza fija o la silla de ocho asientos para desembragables y hasta cabinas para funiculares con capacidad para 200 pasajeros.

- **La silla**

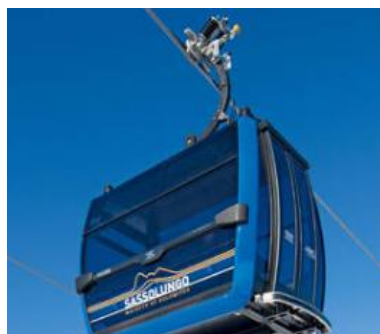
Los asientos, independientemente de si se trata de un acoplamiento permanente o desembragable, ofrecen una excelente comodidad. Se pueden equipar con un amplio asiento, respaldo, reposapiés y una barra de seguridad para ofrecer una posición de sentado, un confort y una seguridad óptimos. Los asientos están disponibles con o sin asientos con calefacción, con una capa térmica estándar o con una cómoda tapicería confort. La capacidad del vehículo oscila entre 2 y 8 personas. Las sillas de 4 a 8 plazas se pueden ofrecer con o sin cúpulas protectoras.



*Figura 7. Silla, acoplamiento permanente o desembragable.*

- **Las cabinas.**

Las cabinas de los teleféricos desembragables tienen una capacidad de transporte de 4 a 35 pasajeros y están disponibles en diferentes diseños. Todas las cabinas están



*Figura 7. Cabina de un teleférico.*



compuestas por una construcción portante de aluminio. La cabina está acristalada entre los perfiles, lo que proporciona una sensación de espacio única y unas vistas panorámicas espectaculares. La forma exterior de las cabinas permite una resistencia al viento exterior muy baja. Se puede elegir el acolchado de los asientos.

- **La pinza.**

Hay dos tipos de pinzas que se pueden adaptar a las necesidades específicas del sistema correspondiente: la pinza fija y la desembragable. Las pinzas desembragables solo tienen un componente móvil, la mordaza de la pinza. La apertura y el cierre de la pinza se realiza de forma directa sin levas, articulaciones o sistemas de palanca. Cuando no está en funcionamiento, la pinza está cerrada. Las pinzas fijas se han estado utilizando durante décadas y se consideran muy eficaces y seguras. Esta pinza está compuesta por dos partes principales forjadas las cuales se fijan de forma permanente al cable.



*Figura 8. Pinzas, adaptables a necesidades específicas.*

### **3.- Desarrollo**

#### **3.1. Propuesta de diseño de la geometría, alcances y limitaciones.**

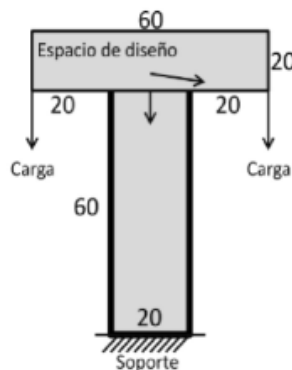
Como bien se planteó en los elementos concretos del teleférico, un elemento de fundamental importancia en el diseño deben ser los cables y su sistema de transmisión, estos deben ser lo suficientemente resistentes para soportar las cargas generadas al transportar la cabina. Por lo anterior, aquí la propuesta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

En la figura 9 se presenta de manera gráfica la disposición del refuerzo de apoyo del teleférico.



*Figura 9. Descripción gráfica del refuerzo de apoyo de teleférico.*

Para este caso se sugiere un refuerzo bajo las condiciones del espacio de diseño detalladas en la figura 10. 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 ampos teleféricos.



*Figura 10. Espacio de diseño definido*

### 3.2. Pasos del desarrollo de la programación.

Por practicidad, se vuelve a dar uso al “código de optimización topológica de 99 líneas escrito en Matlab” por el autor Ole Sigmund (2001). Nuevamente se hacen las modificaciones necesarias para las condiciones establecidas. Para recordar un poco, el código en esencia se compone de las siguientes partes: 36 líneas para el programa principal, 12 líneas para el optimizador basado en criterios, 16 líneas para un filtro de independencia de malla y 35 líneas para el código de elemento finito. Estas se definen nuevamente y a detalle a continuación.

❖ 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 l1 inferior y l2 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.

Como se mencionó anteriormente, tanto los nodos como los elementos son columnas numeradas sabiamente de izquierda a derecha. Es más, cada nodo tiene dos grados de libertad (horizontal y vertical), así el comando  $F(2,1) = -1$ . (línea 79) aplica una fuerza vertical unitaria en la esquina superior izquierda. Los apoyos se implementan eliminando grados fijos de libertad de las ecuaciones lineales. Matlab lo puede hacer con la línea:

$$84U(\text{freedofs},:) = K(\text{freedofs},\text{freedofs}) \setminus \\ F(\text{freedofs},:);$$

Donde “freedofs” indican, los grados de libertad que no están restringidos. En general, es más fácil definir los grados de libertad que son fijos (fixeddofs) a partir de que los freedofs se encuentran automáticamente usando el operador de Matlab “setdiff” que encuentra los grados de libertad libres como la diferencia entre todos los grados de libertad y los grados de libertad fijos (línea 82). La matriz de rigidez se calcula en las líneas 86-99. El módulo de Young (E) y la ratio de Poisson (nu) pueden modificarse en las líneas 88 y 89.

Aunque como bien se mencionó, para para esta práctica en específico, se tuvieron que realizar algunas modificaciones al código base para la propuesta de diseño anteriormente planteada.

### 3.3. Código para la simulación.

```

% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE
% PRACTICA4(60,80,0.33,3.0,1.5)

function PRACT4 (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.;
        end
        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

```

```

% 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('%6.3
% 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;

%***** 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 elv = 1:nely

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(elv,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)

```

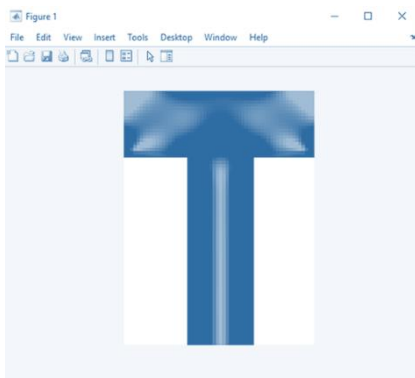
```

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;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
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)];

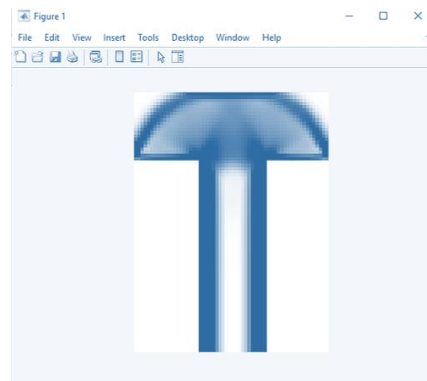
```

### 3.3. Resultados de la optimización.

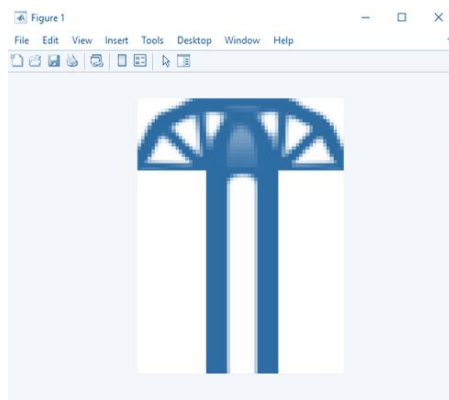
Los resultados obtenidos de las simulaciones de acuerdo diferentes iteraciones se muestran en las figuras 11,12 y 13 respectivamente.



**Figura 11. Resultado iteración capturada (1).**



**Figura 13. Resultado iteración capturada (2).**



**Figura 11. Resultado iteración capturada (3).**

## **4.- Conclusiones.**

### **Eduardo Villarreal Gámez – 1992043:**

Nuevamente me resultó nuevamente bastante impresionante el hecho de que pudiéramos utilizar el mismo código de 99 líneas del autor Ole Sigmund de nueva cuenta, como se vio reflejado en la realización de la práctica, realizando para ello algunas modificaciones en el código base para el espacio de trabajo detallado. Para concluir, se pudo observar los resultados obtenidos durante diferentes iteraciones con parámetros distintos en la simulación, en estas se pudo observar claramente la disminución de masa en el refuerzo con el paso de las iteraciones, de modo que se consigue el objetivo base de realizar una optimización topológica del mismo. Por el conocimiento adquirido durante la práctica, sobre todo lo del marco teórico, puedo mencionar que me encuentro bastante satisfecho con los resultados obtenidos.

### **José Eduardo Mendoza Ziga - 1992212:**

En esta práctica se realizó una investigación sobre lo que es un teleférico, se tomó en cuenta la historia, partes y operación, además se analizó su diseño para saber en qué partes es donde se concentra la mayor carga de esfuerzos para así poder realizar lo que se solicita, en la realización podemos concluir que se cumplió el objetivo en el cual se utilizaron diferentes cargas para realizar un estudio, el cuál en base a múltiples cargas se desarrolló análisis sobre esto.

### **Raúl Alejandro Tamez González - 1733433:**

En esta práctica vimos los componentes de un teleférico y cuáles son sus funciones, así como un poco del contexto sobre la existencia de estos métodos de transporte. Tras entender cómo es que estos operan y tener una idea de su funcionamiento, podemos dimensionar los esfuerzos de los que están sometidos y como el diseño estructural de estos es mi gran importancia para poder hacer de este método de transporte uno seguro y confiable el cual sea funcional para los usuarios. A la par de lo que estamos viendo en la materia de Biomecánica podemos relacionarlo directo a la teoría que se nos enseña en esta, imaginando que para un correcto análisis de la estructura de estos estimularlo es fundamental, así como también usar el método de elementos en el post y diseño generativo para poder estimar los esfuerzos y hacer lo más seguro y confiable.



**Daniel Alberto Acosta Banda – 1916426:**

Como se pudo observar el diseño de un teleférico requiere de varias partes complejas las cuales deben balancear y distribuir el peso de los pasajeros de manera que no exista el riesgo del colapso total, con esto en mente podemos entender que este tipo de diseños son esenciales en la ingeniería y el diseño, y es por ello que es importante aprender a trabajar con ellos, por ejemplo, se pueden utilizar ciertos conceptos visto aquí y aplicarlos en el diseño de vías de producción.

**Oiram Colunga Bernal - 181785:**

En esta práctica nos tocó investigar sobre lo que con lleva hacer un teleférico como sus partes sus funciones, los tipos de teleféricos que hay y como cambian en complejidad, también investigamos su historia y operación, todo esto es muy importante para poder entender mejor este aparato de transporte, pero también hay que recalcar que el diseño es de lo más importante ya que es fundamental para el balance de las fuerzas y el correcto funcionamiento de este.

**Brandon Arturo Solano Arias – 1822072:**

En esta práctica se investigó acerca del diseño y funcionamiento de un teleférico y sus diversas aplicaciones y capacidades. Además de eso se analizaron las cargas a las que puede ser sometido y su comportamiento ya que un teleférico puede variar su capacidad de carga de 4 a 35 pasajeros.

**Manuel Antonio Ulloa Méndez. 1992298.**

Al realizar esta práctica del laboratorio, logramos entender las distintas formas en que se pueden emplear desarrollos tecnológicos CAD para el procesamiento de datos de estructuras, en este caso logramos ver los esfuerzos y deformaciones que presentaba una geometría, la cual con forme vimos en estudios pasados mecánica vectorial y resistencia de materiales. Los esfuerzos alteran linealmente a las deformaciones ya que mientras aumenta el grado del esfuerzo en la geometría, esta va presentado zonas críticas donde se presentaría una ruptura o deformación permanente. Finalmente, gracias a la interfaz CAD logramos darnos cuenta de cómo funciona un sistema de colores que nos indican el grado de esfuerzo aplicado en ciertas áreas y así ver cuáles son las más afectadas, esto en base a un mallado por nodos que os permite calcular la interacciones de la fuerza en la geometría

## 5.- Referencias Bibliográficas.

1. Miravete, Antonio (2004). Transportadores y elevadores (2 edición). Reverte. p. 448. ISBN 8492134917. «pag. 251 ».
2. Die Erfind Der Drahtseilbahnen: Eine Studie Aus Der Entwicklungsgeschichte ... (en inglés). University of California. 1908. Consultado el 20 de septiembre de 2022.
3. Goodnight, Kirk T. VanGelder (2017). Automotive Engine Repair. Jones & Bartlett Learning. pp. 429 de 694. ISBN 9781284101980. Consultado el 18 de julio de 2020.
4. L.A. Schmidt, Structural design by systematic synthesis, Proceedings of the Second ASCE Conference on Electronic Computation, 105–122, Pittsburgh, USA (1960).
5. S. Hernández, Métodos de Diseño Óptimo de Estructuras, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid (1990).
6. F. Navarrina y M. Casteleiro, A general methodological analysis for optimum design, Int. J. Num. Meth. Engrg., 31, 85–111 (1991).
7. F. Navarrina, S. López, I. Colominas, E. Bendito y M. Casteleiro, High order shape design sensitivity: A unified approach. Comp. Meth. Appl. Mech. Engrg., 188, 681–696 (2000).
8. M. P. Bendsøe y N. Kikuchi, generating optimal topologies in structural design using a homogenization method, Comp. Meth. Appl. Mech. Engrg., 71, 197–224 (1988).
9. E. Ramm, S. Schwarz y R. Kemmler, Advances in structural optimization including nonlinear mechanics, Proceedings of the European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2000) (CD-ROM, ISBN: 84-89925-70-4), European Community on Computational Methods in Applied Sciences, Barcelona (2000).
10. M. P. Bendsøe, Optimization of structural topology, shape, and material, Springer-Verlag, Heidelberg (1995).
11. I. Muiños, Optimización Topológica de Estructuras: Una Formulación de Elementos Finitos para la Minimización del Peso con Restricciones en Tensión, Proyecto Técnico, ETSICCP, Universidad de A Coruña (2001).

12. M. P. Bendsøe, Variable-topology optimization: status and challenges, Proceedings of the European Conference on Computational Mechanics ECCM'99, W. Wunderlich (Ed.), TUM, Munich (1999).
13. I. Muiños, I. Colominas, F. Navarrina y M. Casteleiro, Una formulación de mínimo peso con restricciones en tensión para la optimización topológica de estructuras, Métodos Numéricos en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (ISBN: 84-89925-91-7), E. Oñate, F. Zárte, G. Ayala, S. Botello y M.A. Moreles (Eds.), CIMNE, Barcelona, 399–408 (2001).