

Práctica 4

Refuerzo del cable de un teleférico

Equipo 4

Jorge Fuentes, Tania Hernandez, Anahi Herrera, Gustavo Díaz, Miriam Mata, Alejandro Ramos

5 de noviembre de 2022

Resumen

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 de trabajo específicas que presenta la(s) ventaja(s) (mencionar ventajas). 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. Por ser una estructura poco convencional no se cuenta con un código que norme su diseño y construcción. Un teleférico debe ser visualizado como sistema estructural en el que sus componentes (anclajes, apoyos, cables) tienen comportamientos diferentes pero que funcionan en conjunto. La línea tiene diferentes componentes, como las pilonas, los balancines y 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.

Índice

1. Introducción	3
2. Desarrollo	3
2.1. Nombre y definición de la forma geometría	3
2.1.1. Teleféricos vaivén	3
2.1.2. Cable y sus componentes	3
2.1.3. Alcances	3
2.1.4. Limitaciones	3
2.2. Estado del arte	4
2.3. Pasos del desarrollo de la programación	5
2.4. Resultados de la optimización	9
3. Conclusiones	10
3.1. Jorge Fuentes	10
3.2. Tania Hernandez	10
3.3. Anahi Herrera	10
3.4. Gustavo Díaz	10
3.5. Miriam Mata	10
3.6. Alejandro Ramos	10

1. Introducción

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. 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. 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. Desarrollo

2.1. Nombre y definición de la forma geometría

2.1.1. Teleféricos vaivén

Los teleféricos de vaivén son generalmente bicables y se conocen también como teleféricos pesados o simplemente teleféricos cuando se comparan a telecabinas y telesillas. Son las instalaciones aéreas que permiten mayores vanos superiores a 1 Km[1].

Pueden discurrir a gran altura sobre el suelo, permite altura ilimitada si disponen de cabina de evacuación. La capacidad de transporte de estos teleféricos vaivén ronda según la magnitud de la cabina, la velocidad de marcha y la longitud del recorrido entre 500 y 2000 personas/hora. Las cabinas para este tipo de instalaciones están en constante progresión, tanto en tamaño como en comodidad, seguridad, estética y aerodinámica.

2.1.2. Cable y sus componentes

Los cables de acero están constituidos por alambres de acero, generalmente trenzados en hélice (espiral) formando las unidades que se denominan torones (cordones) los cuales posteriormente son cableados alrededor de un centro que puede ser de acero o de fibra. El número de torones (cordones) en el cable puede variar según las propiedades que se desean obtener[3].

2.1.3. Alcances

- El teleférico funciona con energía eléctrica. Por lo que no emite gases de efecto invernadero ni gases contaminantes como los de los automóviles.
- El teleférico funciona con energía eléctrica. Por lo que no emite gases de efecto invernadero ni gases contaminantes como los de los automóviles.
- Al ser un sistema aéreo no contamina acústicamente.
- Se ha demostrado en estudios que el teleférico puede reducir desde un 15 hasta un 20

El teleférico es una alternativa no tan costosa para mejorar la movilidad urbana de una ciudad. Además de que es un sistema que no contamina con gases o acústicamente.

2.1.4. Limitaciones

Comparte muchas de las tecnologías de los transportes ferroviarios, en especial de los ligeros. Una de las limitaciones que tradicionalmente presentaba este sistema de transporte es la longitud de la línea. Esta no puede ser ilimitada ya que el cable resultaría excesivamente pesado y presentaría problemas de dilatación térmica. Por otro lado, la

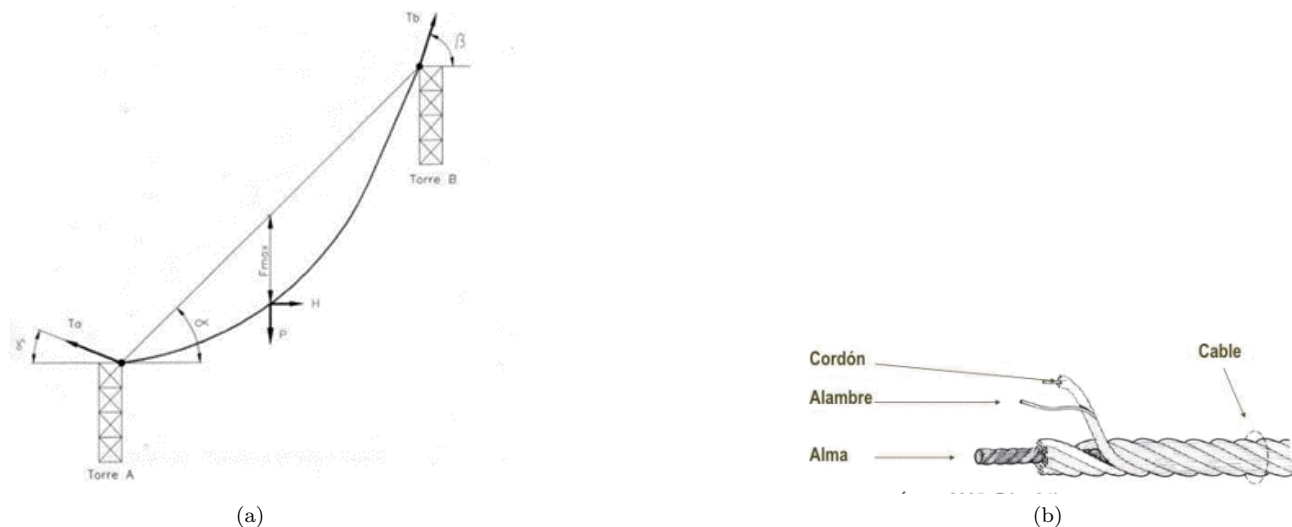


Figura 1: Diseño de un teleférico

capacidad de la instalación depende de la longitud. La solución habitual al problema técnico fue el establecimiento de estaciones de transbordo intermedias, con las consiguientes demoras e incomodidades para los viajeros.

En la configuración original existían dos secciones, que se han unificado. Para ello se ha dispuesto un segundo cable lastre o contra cable que permite un comportamiento mecánico más estable y un mejor guiado de los vehículos. Esto se complementa con un complejo sistema de tensado de los cables, ubicado en la estación inferior. Esta instalación también puede servir de ejemplo para contemplar las últimas novedades en cuanto a vehículos de funicular. Se incorporan las comodidades que presentan los vehículos recientes de otros modos de transporte, como acceso a discapacitados, aire acondicionado, materiales no deslizantes y anti vandálicos, etc. En estos vehículos se ha llevado al extremo el concepto del viaje como atractivo paisajístico en sí mismo, a pesar de que esa dimensión es menor que en los sistemas aéreos.

Otra de las limitaciones que presenta el funicular es la necesidad de que la pendiente de la línea sea aproximadamente constante, dado que los vehículos y las estaciones se adaptan a esa inclinación. Se admite un margen de variación y en parte se puede corregir mediante movimientos de tierra y estructuras, que siempre encarecen la instalación y aumentan el impacto paisajístico. Para disminuir estos problemas y mejorar la comodidad de los pasajeros se están desarrollando vehículos con sistemas hidráulicos que permiten el movimiento de los compartimentos y su adaptación a la pendiente de la línea en cada punto; de este modo el viajero permanece siempre horizontal.

En estos momentos ya es posible la explotación completamente automática, reduciendo los costes de personal, manteniendo y un elevado nivel de seguridad. Se trata de una instalación muy controlada en la que no son previsibles incidencias. En ocasiones puede llegar a funcionar de forma similar al ascensor de un edificio[2].

2.2. Estado del arte

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. Por ser una estructura poco convencional no se cuenta con un código que norme su diseño y construcción. Un teleférico debe ser visualizado como sistema estructural en el que sus componentes (anclajes, apoyos, cables) tienen comportamientos diferentes pero que funcionan en conjunto.

2.3. Pasos del desarrollo de la programación

A continuación, veremos la codificación de la programación en MATLAB.

```

1 %%%% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY OLE SIGMUND, OCTOBER 1999 %%%
2 function new_pr42_f(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<31
9                 passive(ely,elx) = 1;
10            else
11                passive(ely,elx) = 0;
12            end
13        end
14    end
15 end
16 x(find(passive))=0.001;
17 loop = 0; change = 1.;
18 % START ITERATION
19 while change > 0.01
20     loop = loop + 1;
21     xold = x;
22     % FE-ANALYSIS
23     [U]=FE(nelx,nely,x,penal);
24     % OBJECTIVE FUNCTION AND SENSITIVITY ANALYSIS
25     [KE] = lk;
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],i);
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
39     % FILTERING OF SENSITIVITIES
40     [dc] = check(nelx,nely,rmin,x,dc);
41     % DESIGN UPDATE BY THE OPTIMALITY CRITERIA METHOD
42     [x] = OC(nelx,nely,x,volfrac,dc,passive);
43     % PRINT RESULTS
44     change = max(max(abs(x-xold)));
45     disp([' It.: ' sprintf('%4i',loop) ' Obj.: ' sprintf('%10.4f',c) ...
46         ' Vol.: ' sprintf('%6.3f',sum(sum(x))/(nelx*nely)) ...
47         ' ch.: ' sprintf('%6.3f',change) ])
48 % PLOT DENSITIES
49 colormap(gray); imagesc(-x); axis equal; axis tight; axis off; pause(1e-6);
50 end
51 %%%%%%%%%% OPTIMALITY CRITERIA UPDATE %%%%%%%%%%
52 function [xnew]=OC(nelx,nely,x,volfrac,dc,passive)
53 l1 = 0; l2 = 100000; move = 0.2;
54 while (l2-l1 > 1e-4)
55     lmid = 0.5*(l2+l1);
56     xnew = max(0.001,max(x-move,min(1.,min(x+move,x.*sqrt(-dc./lmid)))));
57     xnew(find(passive))=0.001;
58     if sum(sum(xnew)) - volfrac*nelx*nely > 0;
59         l1 = lmid;
60     else
61         l2 = lmid;
62     end
63 end
64 %%%%%%%%%% MESH-INDEPENDENCY FILTER %%%%%%%%%%

```

```

65 function [dcn]=check(nelx,nely,rmin,x,dc)
66 dcn=zeros(nely,nelx);
67 for i = 1:nelx
68     for j = 1:nely
69         sum=0.0;
70         for k = max(i-round(rmin),1): min(i+round(rmin),nelx)
71             for l = max(j-round(rmin),1): min(j+round(rmin),nely)
72                 fac = rmin-sqrt((i-k)^2+(j-l)^2);
73                 sum = sum+max(0,fac);
74                 dcn(j,i) = dcn(j,i) + max(0,fac)*x(l,k)*dc(l,k);
75             end
76         end
77         dcn(j,i) = dcn(j,i)/(x(j,i)*sum);
78     end
79 end
80 %%%%%%%%%%% FE-ANALYSIS %%%%%%%%%%%
81 function [U]=FE(nelx,nely,x,penal)
82 [KE] = lk;
83 K = sparse(2*(nelx+1)*(nely+1), 2*(nelx+1)*(nely+1));
84 F = sparse(2*(nely+1)*(nelx+1),2); U = sparse(2*(nely+1)*(nelx+1),2);
85 for ely = 1:nely
86     for elx = 1:nelx
87         7
88         n1 = (nely+1)*(elx-1)+ely;
89         n2 = (nely+1)* elx +ely;
90         edof = [2*n1-1; 2*n1; 2*n2-1; 2*n2; 2*n2+1; 2*n2+2;2*n1+1; 2*n1+2];
91         K(edof,edof) = K(edof,edof) + x(ely,elx)^penal*KE;
92     end
93 end
94 % DEFINE LOADSAND SUPPORTS(HALF MBB-BEAM)
95 F(40,1) = -1;
96 fixeddofs = 2*(nely+1):2*(nely+1):2*(nelx+1)*(nely+1);
97 alldofs = [1:2*(nely+1)*(nelx+1)];
98 freedofs = setdiff(alldofs,fixeddofs);
99 % SOLVING
100 U(freedofs,:) = K(freedofs,freedofs) \F(freedofs,:);
101 U(fixeddofs,:)= 0;
102 %%%%%%%%%%% ELEMENT STIFFNESS MATRIX %%%%%%%%%%%
103 function [KE]=lk
104 E = 1.;
105 nu = 0.3;
106 k=[ 1/2-nu/6 1/8+nu/8 -1/4-nu/12 -1/8+3*nu/8 ...
107 -1/4+nu/12 -1/8-nu/8 nu/6 1/8-3*nu/8];
108 KE = E/(1-nu^2)* [ k(1) k(2) k(3) k(4) k(5) k(6) k(7) k(8)
109 k(2) k(1) k(8) k(7) k(6) k(5) k(4) k(3)
110 k(3) k(8) k(1) k(6) k(7) k(4) k(5) k(2)
111 k(4) k(7) k(6) k(1) k(8) k(3) k(2) k(5)
112 k(5) k(6) k(7) k(8) k(1) k(2) k(3) k(4)
113 k(6) k(5) k(4) k(3) k(2) k(1) k(8) k(7)
114 k(7) k(4) k(5) k(2) k(3) k(8) k(1) k(6)
115 k(8) k(3) k(2) k(5) k(4) k(7) k(6) k(1)];
116
117 %%%% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY OLE SIGMUND, OCTOBER 1999 %%%
118 function new_pr42_f(nelx,nely,volfrac,penal,rmin);
119 % INITIALIZE
120 x(1:nely,1:nelx) = volfrac;
121 for ely = 1:nely
122     for elx = 1:nelx
123         if ely>21
124             if elx<21
125                 passive(ely,elx) = 1;
126             elseif elx>41
127                 passive(ely,elx)=1;
128             else
129                 passive(ely,elx) = 0;
130             end
131         end
132     end

```

```

133 end
134 x(find(passive))=0.001;
135 loop = 0; change = 1.;
136 % START ITERATION
137 while change > 0.01
138 loop = loop + 1;
139 xold = x;
140 % FE-ANALYSIS
141 [U]=FE(nelx,nely,x,penal);
142 % OBJECTIVE FUNCTION AND SENSITIVITY ANALYSIS
143 [KE] = lk;
144 c = 0.;
145 for ely = 1:nely
146 for elx = 1:nelx
147 n1 = (nely+1)*(elx-1)+ely;
148 n2 = (nely+1)* elx +ely;
149 dc(ely,elx)=0.;
150 for i=1:2
151 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);
152 c = c + x(ely,elx)^penal*Ue'*KE*Ue;
153 dc(ely,elx) = dc(ely,elx)-penal*x(ely,elx)^(penal-1)* Ue'*KE*Ue;
154 end
155 end
156 end
157 % FILTERING OF SENSITIVITIES
158 [dc] = check(nelx,nely,rmin,x,dc);
159 % DESIGN UPDATE BY THE OPTIMALITY CRITERIA MEIHDOD
160 [x] = OC(nelx,nely,x,volfrac,dc,passive);
161 % PRINT RESULTS
162 change = max(max(abs(x-xold)));
163 disp([' It.: ' sprintf('%4i',loop) ' Obj.: ' sprintf('%10.4f',c) ...
164 'Vol.: ' sprintf('%6.3f',sum(sum(x))/(nelx*nely)) ...
165 ' ch.: ' sprintf('%6.3f',change) ])
166 % PLOT DENSITIES
167 colormap(gray); imagesc(-x); axis equal; axis tight; axis off; pause(1e-6);
168 end
169 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% OPTIMALITY CRITERIA UPDATE %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
170 function [xnew]=OC(nelx,nely,x,volfrac,dc,passive)
171 l1 = 0; l2 = 100000; move = 0.2;
172 while (l2-l1 > 1e-4)
173 lmid = 0.5*(l2+l1);
174 xnew = max(0.001,max(x-move,min(1.,min(x+move,x.*sqrt(-dc./lmid)))));
175 xnew(find(passive))=0.001;
176 if sum(sum(xnew)) - volfrac*nelx*nely > 0;
177 l1 = lmid;
178 else
179 l2 = lmid;
180 end
181 end
182 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% MESH-INDEPENDENCY FILTER %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
183 function [dcn]=check(nelx,nely,rmin,x,dc)
184 dcn=zeros(nely,nelx);
185 for i = 1:nelx
186 for j = 1:nely
187 sum=0.0;
188 for k = max(i-round(rmin),1): min(i+round(rmin),nelx)
189 for l = max(j-round(rmin),1): min(j+round(rmin),nely)
190 fac = rmin-sqrt((i-k)^2+(j-l)^2);
191 sum = sum+max(0,fac);
192 dcn(j,i) = dcn(j,i) + max(0,fac)*x(l,k)*dc(l,k);
193 end
194 end
195 dcn(j,i) = dcn(j,i)/(x(j,i)*sum);
196 end
197 end
198 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% FE-ANALYSIS %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
199 function [U]=FE(nelx,nely,x,penal)
200 [KE] = lk;

```

```

201 K = sparse(2*(nelx+1)*(nely+1), 2*(nelx+1)*(nely+1));
202 F = sparse(2*(nely+1)*(nelx+1),2); U = sparse(2*(nely+1)*(nelx+1),2);
203 for ely = 1:nely
204     for elx = 1:nelx
205         n1 = (nely+1)*(elx-1)+ely;
206         n2 = (nely+1)* elx +ely;
207         edof = [2*n1-1; 2*n1; 2*n2-1; 2*n2; 2*n2+1; 2*n2+2;2*n1+1; 2*n1+2];
208         K(edof,edof) = K(edof,edof) + x(ely,elx)^penal*KE;
209     end
210 end
211 % DEFINE LOADSAND SUPPORTS(HALF MBB-BEAM)
212 F(40,1) = -1.; F(9760,2)=1.;
213 fixeddofs = 2*(nely+1):2*(nely+1):2*(nelx+1)*(nely+1);
214 alldofs = [1:2*(nely+1)*(nelx+1)];
215 freedofs = setdiff(alldofs,fixeddofs);
216 % SOLVING
217 U(freedofs,:) = K(freedofs,freedofs) \F(freedofs,:);
218 U(fixeddofs,:)= 0;
219 %%%%%%%%%%ELEMENT STIFFNESS MATRIX %%%%%%%%%%
220 function [KE]=lk
221 E = 1.;
222 nu = 0.3;
223 k=[ 1/2-nu/6 1/8+nu/8 -1/4-nu/12 -1/8+3*nu/8 ...
224 -1/4+nu/12 -1/8-nu/8 nu/6 1/8-3*nu/8];
225 KE = E/(1-nu^2)* [ k(1) k(2) k(3) k(4) k(5) k(6) k(7) k(8)
226 k(2) k(1) k(8) k(7) k(6) k(5) k(4) k(3)
227 k(3) k(8) k(1) k(6) k(7) k(4) k(5) k(2)
228 k(4) k(7) k(6) k(1) k(8) k(3) k(2) k(5)
229 k(5) k(6) k(7) k(8) k(1) k(2) k(3) k(4)
230 k(6) k(5) k(4) k(3) k(2) k(1) k(8) k(7)
231 k(7) k(4) k(5) k(2) k(3) k(8) k(1) k(6)
232 k(8) k(3) k(2) k(5) k(4) k(7) k(6) k(1)];

```


2.4. Resultados de la optimización

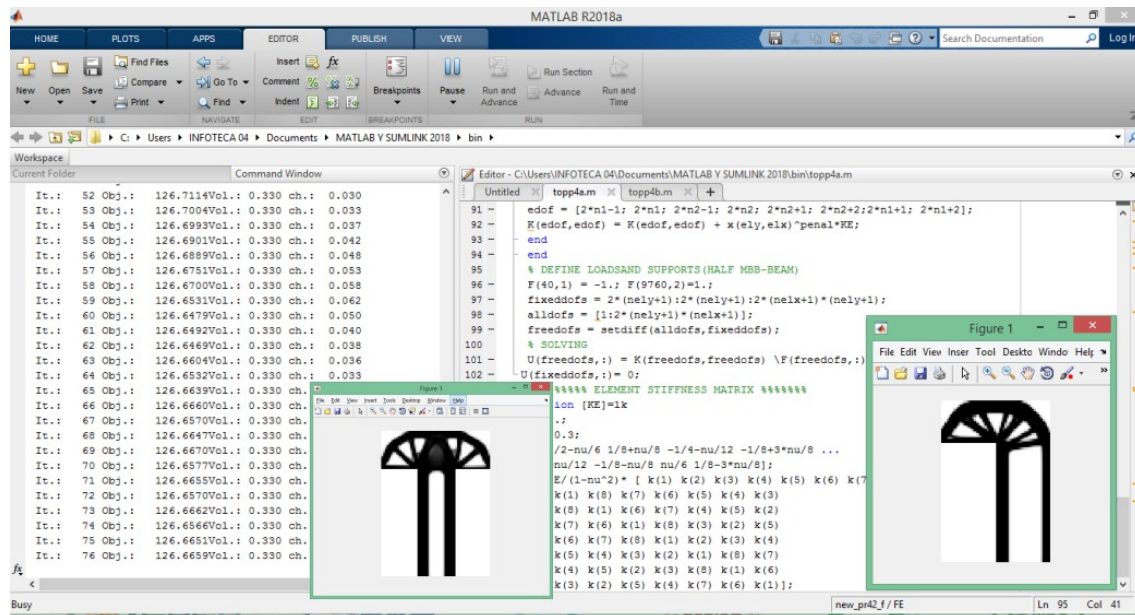
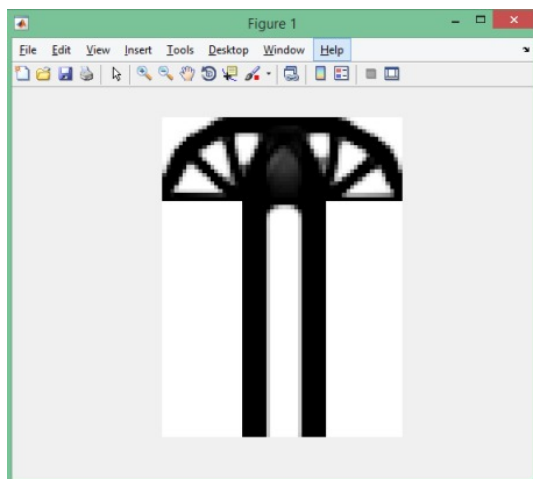
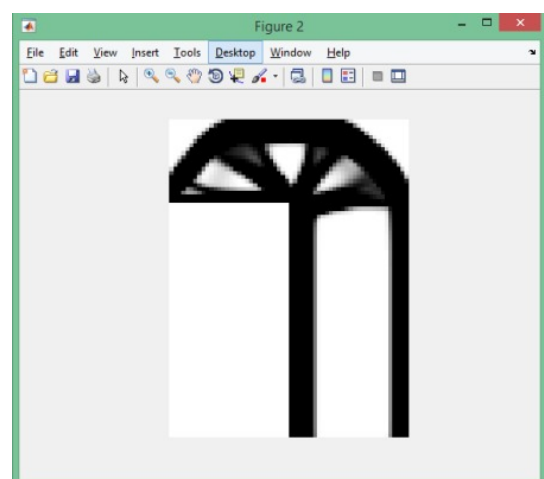


Figura 2: Vista completa del resultado.



(a)



(b)

Figura 3: Vista frontal y lateral de los resultados.

3. Conclusiones

3.1. Jorge Fuentes

En esta ocasión tratando de cumplir el objetivo planteado de presentar una propuesta de análisis de formas y de la programación para la ejecución de la optimización de características de trabajo específicas que presenta las ventajas ahora en esta práctica 4 sobre el refuerzo del cable de un teleférico, aplicando los conocimientos previos sobre nuestro dominio en MATLAB así como los pasos de la programación logramos elaborar una estructura de la base de un refuerzo del cable de un teleférico.

3.2. Tania Hernandez

La práctica realizada consistió en la elaboración sobre el refuerzo del cable de un teleférico, para la cual como en todas las anteriores prácticas, se buscó la información respecto a su forma geométrica, estado del arte, etc. Para así pasarnos al resultado final, el cual es sobre el refuerzo del cable de un teleférico en MATLAB.

3.3. Anahi Herrera

Para esta actividad se realizaron varias búsquedas de información para ver las características que deben de tener los teleféricos y los aspectos que hay que tener en cuenta para poder construir uno, tanto estudio del terreno como la implementación del tipo de cable correcto para este tipo de transporte. Gracias a todas estas búsquedas y a la implementación correcta de los conocimientos adquiridos pudimos llegar a una realización exitosa de la práctica número cuatro del laboratorio.

3.4. Gustavo Díaz

Al nosotros conocer un poco mas sobre el funcionamiento de un panorámico/espectacular es más sencillo poder comprender el cómo están hechos para su correcto funcionamiento dado que al ser una estructura que solo se encuentra en soportado por lo que se podría decir un solo punto todas las fuerzas que se genera por sí solo el panorámico y las que se generan por parte de las inclemencias del tiempo hacen que una estructura tan grande tenga diferentes tipos de soportes interiores o externos que lo ayuden a soportar el peso al nosotros hacer la simulación pudimos ver donde es que se concentran la mayoría de los esfuerzos que recaen sobre la estructura y pudimos ver la manera de mejorarla por medio de la optimización.

3.5. Miriam Mata

En el reporte de laboratorio se muestra lo que se realizamos en esta practica, 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.

3.6. Alejandro Ramos

En esta actividad me pareció muy interesante y me puse a investigar cómo se ponen los cables este proceso de la construcción de un teleférico se llama "tirar un cable". Dado que no se puede empezar con el cable pesado y gordo, se tira un cable fino y ligero primero. Aquello se realiza manualmente, con tornos de cable o mediante helicópteros. Pues, se empalme o anuda un cable más gordo y pesado al cable fino y, como consecuencia, se tira mediante un torno de cable. Este proceso se repite con cables cuyo espesor aumenta hasta que haya el cable final con el diámetro correcto en los conjuntos de poleas de las torres. Y me pareció muy importante el saber sobre el refuerzo de los cables.

Referencias

- [1] V. J. Challis. A discrete level-set topology optimization code written in matlab., December 2010.
- [2] Yamada T. Izui K. Nishiwaki S. Otomori, M. Matlab code for a level set-based topology optimization method using a reaction diffusion equation., March 2015.
- [3] K. Suresh. Parametric analysis of spectacular advertisements subject to the action of the wind. (s.f.). pakbal., January 2021.