



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



SEMESTRE AGOSTO-DICIEMBRE 2022

LABORATORIO DE BIOMECÁNICA

PRÁCTICA 3

PROFESORA: M.C. YADIRA MORENO VERA

INTEGRANTES EQUIPO #3	MATRÍCULA
Diana Elisa Acosta Rodríguez	1914714
Joaquin Abdiel Coronado Vázquez	1924388
Brenda Giselle Hinojosa	1910669
Gloria Rosalía Domínguez Azueta	1913999
Andrea Anette Celestino Castillo	1925924
Ana Paulina Pérez Salazar	1865049
Javier Cisneros Saldivar	1856682

BRIGADA: 204 AULA: 12BMC DÍA: MARTES HORA: V1

San Nicolás de los Garza, N.L. a 19 de septiembre de 2022.

ÍNDICE

Objetivo	1
Marco teórico	1
Contenido.....	1
Geometría.....	1
Estado del arte.....	2
Procedimiento de la programación	3
Desarrollo de la programación en sus diferentes vistas.	3
Conclusiones.....	10
Bibliografía.....	13

Práctica 3: Diseño de la estructura de un panorámico

1. Objetivo

Desarrollar una propuesta de análisis de formas y programación para la ejecución de la optimización topológica de un diseño estructural de un panorámico.

2. Contenido

1) Geometría

Para esta práctica se realizará el diseño de la estructura de un panorámico, el cual debe de cumplir con cierto tipo de requisitos para poderse utilizar y no sufra de algún tipo de problema al ser instalado, es importante saber que los panorámicos deben de soportar grandes ráfagas de viento a las cuales son expuestos; por este motivo es necesario que tenga una estructura rígida la cual sea capaz de soportar estas cantidades de fuerza que emplea el aire contra él.

Se debe estar consciente de todos los factores que pueden llegar a afectar al panorámico y todos los soportes u/o estructuras que se requieran para su correcta instalación. En el presente documento vamos a poder abordar el espacio de diseño de dos dimensiones, estas serán tanto las cargas como los apoyos.

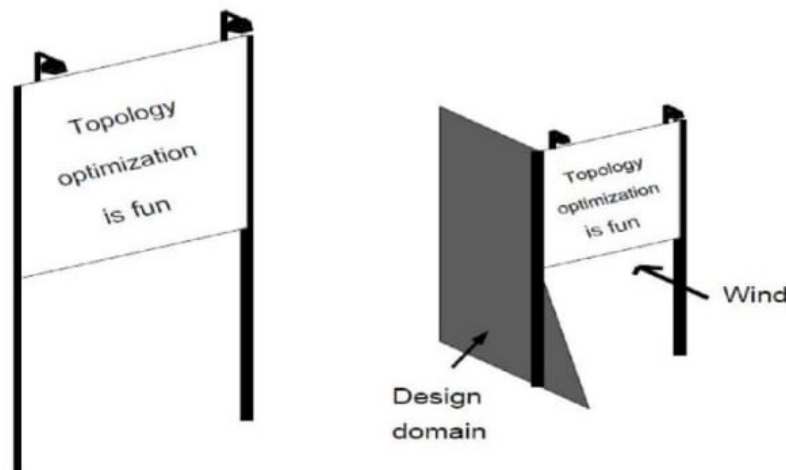


Figura 1. Propuesta de diseño.

2) Estado del arte

Un espectacular es un anuncio publicitario de gran formato, normalmente se utiliza para la publicidad gráfica de cualquier ámbito, son de diversos tamaños y se colocan en puntos estratégicos de una ciudad para su mayor visibilidad.

Una estructura panorámica es el soporte sobre el cual se posicionará un anuncio publicitario, ya sea de una cara o de tres caras.

Estas estructuras usualmente se encuentran en medio de diversos paisajes urbanos y sostienen diseños publicitarios con el objetivo de promocionar un producto, servicio o transmitir un mensaje.

¿Qué materiales se emplean en la creación de carteles para espectaculares?

Existen diversos materiales que las agencias especializadas en la creación y diseño para estas estructuras. Usualmente los postes panorámicos están contruidos de metal y acero para que sean lo suficientemente resistentes al clima, lluvias y cualquier otro fenómeno de la naturaleza.

Acero inoxidable

Los aceros inoxidables se clasifican en cinco grupos básicos atendiendo a su estructura metalúrgica y a su composición química llamados martensíticos, ferríticos, austeníticos, austenítico/ferríticos (dúplex) y de endurecimiento por precipitación.

La característica más importante del comportamiento tenso-deformacional del acero inoxidable radica en la no linealidad de su relación tensión-deformación, cosa que introduce dificultad en el dimensionamiento de estas estructuras al no disponer de funciones lineales para representar su comportamiento.

Los aceros inoxidables también poseen la propiedad de resistir ciertos ambientes corrosivos, manteniendo su resistencia mecánica, lo que se logra por la adición principalmente de cromo. El cromo forma en la superficie una película de óxido de cromo, que protege al acero de los agentes corrosivos.

Con todo esto visto de las estructuras, especialmente de los panorámicos se realizarán pruebas de optimización topológica.

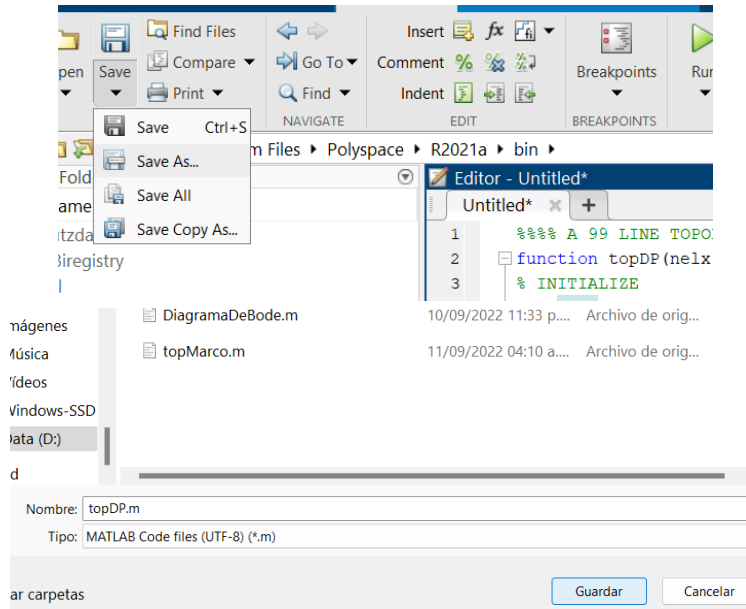


Figura 3. Guardar script como archivo *.m*.

Dadas las nuevas consideraciones y el espacio de diseño, colocamos la matriz de valores para generar nuestra imagen del panorámico y al final utilizamos la topología “*topDP(60,80,0.2,3.0,1.5)*”.

Donde:

60: Es el valor de *nelx*, número de elementos finitos en la dirección horizontal.

80: Es el valor *nely*, número de elementos finitos en la dirección vertical

0.2: Es el valor *volfrac*, fracción de volumen que se espera sea del 20% del espacio de diseño.

3.0: Es el valor *penal*, penalización de densidades intermedias. Colocando un valor alto de 3.0 para exigir que sea en blanco y negro, teniendo elementos finitos llenos o vacíos.

1.5: Es el valor *rmin*, se introduce el valor de radio del filtro recomendado que hace el diseño de malla independiente.

Ahora, para el empotramiento diagonal, se hace uso de los elementos pasivos. Para ello, hay una sección que nos permite determinar espacios en blanco dentro del espacio de diseño. Y analizando la situación, dicho espacio está conformado por la conjunción de 2 figuras geométricas: un triángulo y un rectángulo.

Así que, con esta información, le indicamos al código lo anterior modificando las siguientes líneas utilizando la sentencia *if* y el comando *passive(ely,elx)*:

Código original

```
1 - 1 %%% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY OLE SIGMUND, OCTOBER 1999 %%%
2 - 2 function top(nelx,nely,volfrac,penal,rmin);
3 - 3 % INITIALIZE
4 - 4 x(1:nely,1:nelx) = volfrac;
5 - 5 loop = 0;
6 - 6 change = 1.;
7 - 7 % START ITERATION
8 - 8 while change > 0.01
9 - 9     loop = loop + 1;
10 - 10 xold = x;
```

Código modificado

```
1 %%% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY OLE:
2 function topDP(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 elx - 20 < (ely/2)
8 passive(ely,elx)=0;
9 else
10 passive(ely,elx)=1;
11 end
12 end
13 end
14 x(find(passive))= 0.001;
15 loop = 0;
16 change = 1.;
17 % START ITERATION
18 while change > 0.01
19 loop = loop + 1;
20 xold = x;
```

Las variables $n1$ y $n2$ denotan arriba a la izquierda y a la derecha números de nodo de elementos en números de nodo globales y son utilizados para extraer el vector de desplazamiento del elemento Ue del vector de desplazamiento global U . Y debido a las condiciones solicitadas para el panorámico, se hacen modificaciones en el análisis de sensibilidad a las siguientes líneas agregando un ciclo **for** $i = 1:5$:

Código original

```

13 - 13 %OBJECTIVE FUNCTION AND SENSITIVITY ANALYSIS
14 - 14 [KE] = lk;
15 - 15 c = 0.;
16 - 16 for ely = 1:nely
17 - 17     for elx = 1:nelx
18 - 18         n1 = (nely+1)*(elx-1)+ely;
19 - 19         n2 = (nely+1)*elx+ely;
20 - 20         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);
21 - 21         c = c + x(ely,elx)^penal*Ue'*KE*Ue;
22 - 22         dc(ely,elx) = -penal*x(ely,elx)^(penal-1)* Ue'*KE*Ue;
23 - 23     end
24 - 24 end

```

Código modificado

```

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

```

Así mismo, se hace una modificación en el apartado de actualización del *diseño por el método de criterios de optimalidad*.

Código original

```

26 - 26 [dc] = check(nelx,nely,rmin,x,dc);
27 - 27 % DESIGN UPDATE BY THE OPTIMALITY CRITERIA METHOD
28 - 28 [x] = OC(nelx,nely,x,volfrac,dc);
29 - 29 % PRINT RESULTS

```

Código modificado

```

39 - [dc] = check(nelx,nely,rmin,x,dc);
40 - % DESIGN UPDATE BY THE OPTIMALITY CRITERIA METHOD
41 - [x] = OC(nelx,nely,x,volfrac,dc,passive);
42 - % PRINT RESULTS

```


Y por último nos encontramos con *fuerzas múltiples*. Haciendo un análisis del caso, sabemos que en el panorámico existen 5 puntos que recibirán las cargas distribuidas generadas por las ráfagas de viento. Además de poseer un soporte fijo en el suelo.

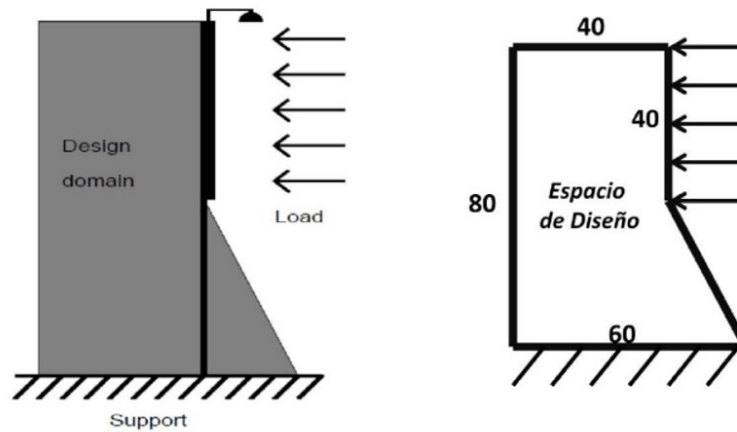


Figura 4. Requisitos para tomar en cuenta en diseño.

De modo, que modificamos las líneas del código perteneciente al apartado de cargas y soportes. Para cambiar el anclaje del diseño a otra posición adaptándola a nuestro caso, se modifica la línea con la función *fixeddofs*. Que implementa los grados de libertad que son fijos.

Los soportes se implementan eliminando los grados de libertad fijos de las ecuaciones lineales. Para ello se encuentra la función: *freedofs* que indica los grados de libertad que no tienen restricciones.

Finalmente, al código también se agregan las 5 cargas (fuerzas).

Código original

```

79 - 78 % DEFINE LOADS AND SUPPORTS (HALF MBB-BEAM)
80 - 79 F(2,1) = -1;
81 - 80 fixeddofs = union([1:2:2*(nely+1)], [2*(nelx+1)*(nely+1)]);
82 - 81 alldofs = [1:2*(nely+1)*(nelx+1)];
83 - 82 freedofs = setdiff(alldofs, fixeddofs);
84 - 83 % SOLVING

```

Código modificado

```
93 % DEFINE LOADS AND SUPPORTS (HALF MBB-BEAM)
94 - F(2*(nelx)*(nely+1)+2,1)=1;
95 - F(2*(nelx)*(nely+1)+20,1)=1;
96 - F(2*(nelx)*(nely+1)+40,1)=1;
97 - F(2*(nelx)*(nely+1)+60,1)=1;
98 - F(2*(nelx)*(nely+1)+80,1)=1;
99 - fixeddofs = 2*(nely+1):2*(nely+1):2*(nelx+1)*(nely+1);
100 - alldofs = [1:2*(nely+1)*(nelx+1)];
101 - freedofs = setdiff(alldofs,fixeddofs);
102 % SOLVING
```

Usando la topología “topDP(60,80,0.2,3.0,1.5)” resulta:

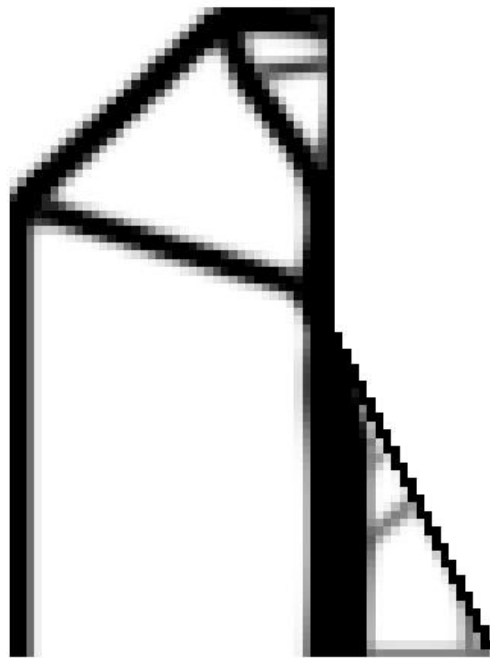


Figura 5. Resultado de optimización topológica de un panorámico.

Diagrama de flujo:

[Practica N°3 "Diseño de la estructura de un panorámico"](#)

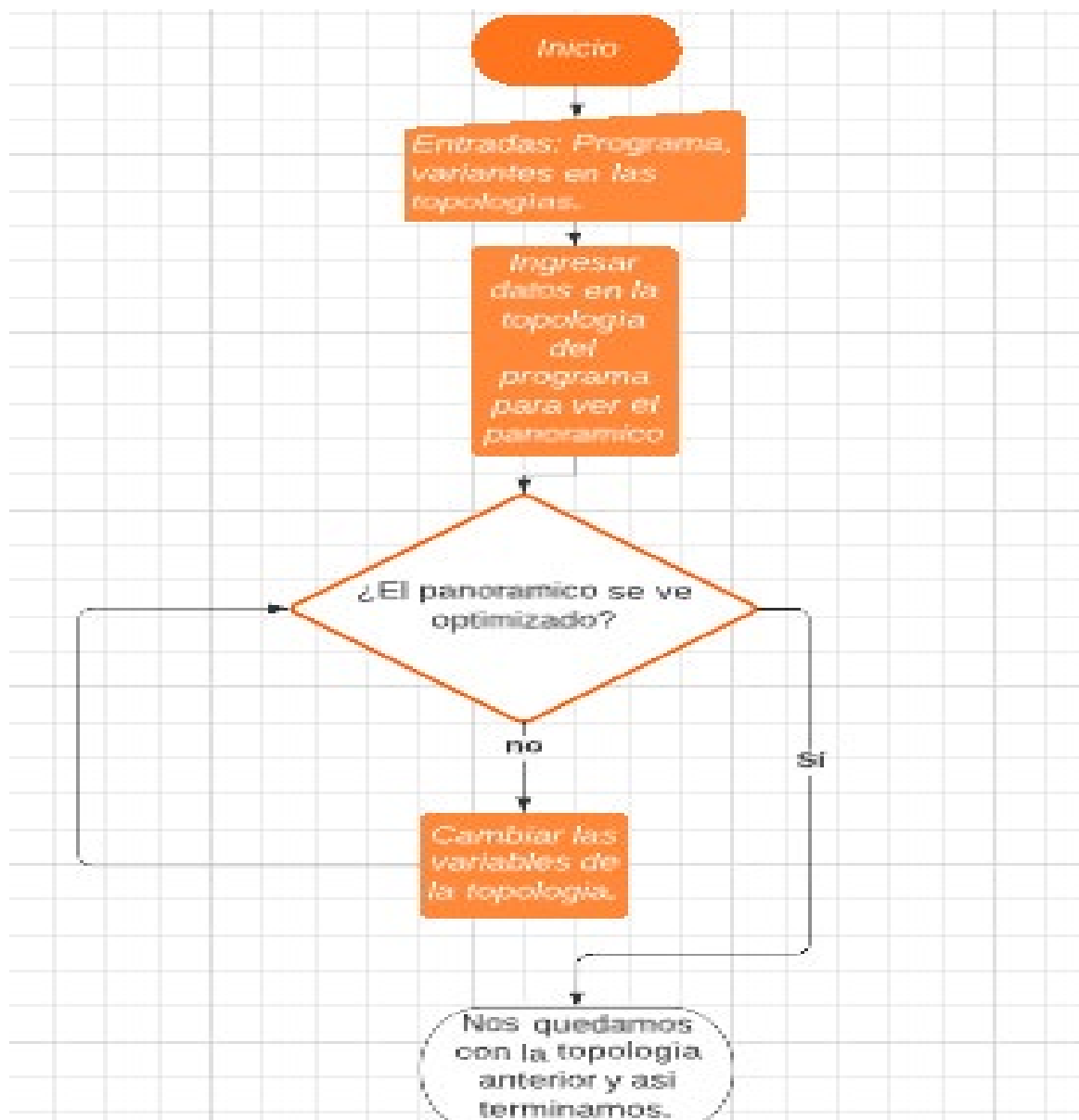


Figura 6. Diagrama de flujo para optimización del diseño.

Resultados de la optimización

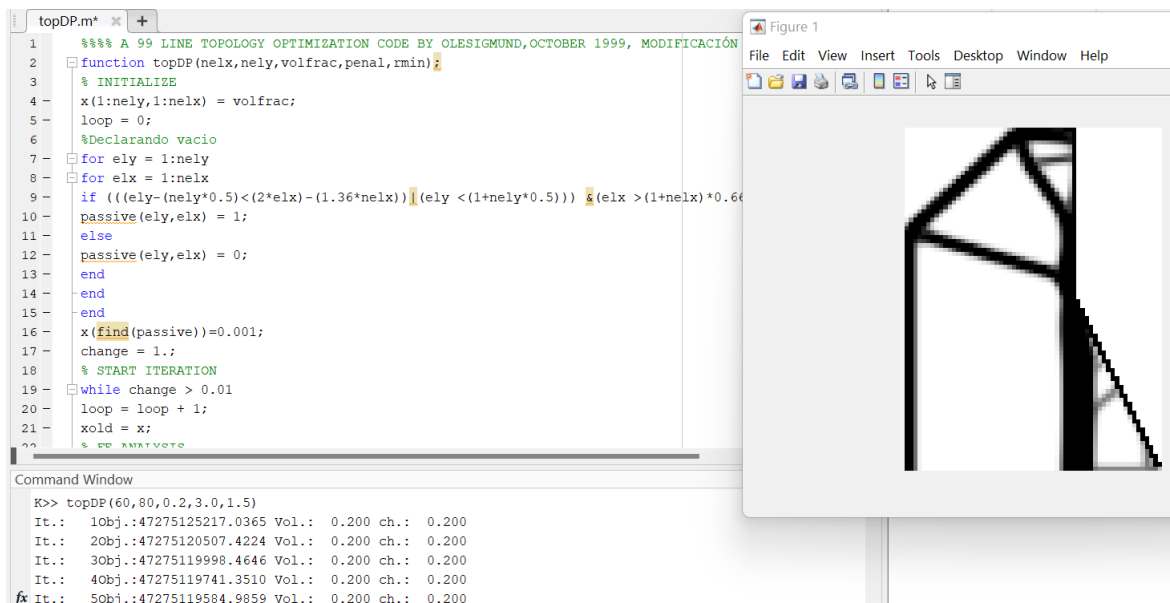


Figura 6. Resultado obtenido de la optimización topológica del panorámico.

Para el resultado obtenido a través de la optimización, se creó la implementación y solución del análisis del problema propuesto el cual les pone un problema en la vida real debido a las altas ráfagas de viento ya que se debe obtener una estructura muy rígida para poder soportar fuerzas y altas ráfagas de viento, por ello se utiliza en esta práctica la estructura de un panorámico el cual implica evaluar en 2 dimensiones el diseño generativo de una estructura y por ende se obtiene el resultado que se muestra en la imagen.

5) Conclusiones

Diana Elisa Acosta Rodríguez:

En esta ocasión, se nos ha puesto un caso a solucionar, en base a los conocimientos adquiridos de las 2 prácticas realizadas anteriormente. Solo que, en esta ocasión se ha llevado a cabo la optimización topológica de una pieza más compleja, y este es el panorámico. Aunque solo fue tratado en 2 planos, la dificultad se debe, al espacio de diseño, así como a las fuerzas múltiples y los espacios en blanco que se tenían que considerar. Sin embargo, esta práctica, ha permitido una mejor conceptualización de los términos y comandos que se deben de utilizar y cómo utilizarlos dentro del

software de Matlab. Al final, se logró llegar a un resultado de optimización satisfactoria sobre el panorámico solicitado.

Joaquín Abdiel Coronado Vázquez:

Para esta tercera práctica se vio una estructura un poco más difícil de realizar, debido ya que consistía en una construcción en una estructura panorámica el cual quería implementar un problema de la vida real, con esto quería tener un diseño generativo a través del análisis implementación y solución del problema. realizando Matlab a través de la realización topológica vimos la solución de la estructura panorámica ya que nos ayuda mucho el código que se utilizaron en prácticas anteriores, de que con esto nos ayuda a tener un avance acerca de lo que es el código para la optimización topológica de la estructura en 2 dimensiones mejor conocida como estructura panorámica.

Brenda Giselle Hinojosa:

Para esta tercer practica vimos una estructura un poco más complicada, la cual consistía en una estructura de un panorámico, para esto vimos un poco de como estas estructuras eran construidas y mediante que material. Así mismo, como en prácticas pasadas, se utilizó Matlab para poder realizar la optimización topológica siendo la estructura analizada de manera estática, viendo como con pequeñas modificaciones en el código afecta toda la estructura; por ello la optimización topológica nos ayuda a obtener las estructuras de una manera más eficiente y siendo estas mejores para utilizar.

Gloria Rosalía Domínguez Azueta:

Durante esta práctica aplicamos los conocimientos de las anteriores prácticas, pero está vez fue un diseño estructural de un panorámico, con el análisis de esta pieza observe las variaciones de la optimización obtenida, aplicando diversas cargas y esfuerzos las cuales fueron agregadas en la modificación del código de 99 líneas, cumpliendo de está manera con loas condiciones necesarias para el diseño, debido a la cantidad de esfuerzos analizados, la optimización llevo más tiempo en realizarse. Pese a las dificultades, el resultado de la optimización topológica fue el esperado, además, aprecie como parte de las modificaciones realizadas tanto en el código como

en el comando utilizado para la optimización, afectan al diseño final optimizado dentro de Matlab, aún hay algunas cosas que pulir y se que con la práctica podremos optimizar piezas mucho más complejas.

Andrea Anette Celestino Castillo:

Para concluir con la practica elaborada podemos hacer mención de que esta fue muy sencilla de elaborar debido a que ya nos estamos familiarizando más con el software de Matlab y la elaboración del código es más sencilla. Asimismo, creo que estas prácticas nos ayudan a tener una mejor visión o idea a cerca de ciertos diseños que podemos emplear. Pero en general con esta práctica creo que ha quedado comprendido lo que es la optimalización topológica y el análisis de esta debido a la estructura diseñada, asimismo como en prácticas anteriores pudimos observar que cualquier pequeña modificación en el código elaborado puede afectar de gran manera la estructura.

Ana Paulina Pérez Salazar:

La realización de esta práctica fue aún más compleja que las anteriores debido a que esta geometría se centra en algo más elaborado y llevado a la realidad, sin embargo, con la experiencia que se ha ido desarrollando a lo largo de este semestre durante esta clase y laboratorio se obtuvieron los resultados esperados de una manera óptima, ya que hemos aprendido y comprendido todo lo que conllevan estos tipos de análisis dentro de matlab y en general.

Javier Cisneros Saldivar:

En esta práctica se vio otro ejemplo más de la optimización, la verdad fue más difícil para nosotros realizar este panorámico ya que no entendíamos muy bien el concepto de la geometría y el cómo optimizarlo, cabe destacar que estos temas van de la mano con el diseño generativo ya que es lo que estamos realizando con el programa MATLAB, optimizar las estructuras de la mejor manera posible.

Bibliografía

- Hernandez, M. (2022, 3 marzo). *¿Cuánto cuesta construir la estructura de un panorámico?* BluCactus Mexico. Recuperado 19 de septiembre de 2022, de <https://www.blucactus.com.mx/cuanto-cuesta-estructura-panoramico/>
- Carlos Alberto Meza Valencia. (3 octubre 2012). Optimización topológica en el diseño de elementos estructurales mecánicos. 5 septiembre 2022, De Universidad Autónoma de occidente Base de datos.
- Real Saladrigas, E. (2001). *Aportaciones al estudio del comportamiento a flexión de estructuras de acero inoxidable*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- 99 Line Topology Optimization Code – O. Sigmund, Department of Solid Mechanics, Building 404, Technical University of Denmark, DK-2800 Lyngby, Denmark.

Anexo

Código en Matlab para el diseño de un panorámico.

```
%%% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY
OLESIGMUND,OCTOBER 1999, MODIFICACIÓN PARA DISEÑO DE UN
PANORÁMICO%%%
function topDP(nelx,nely,volfrac,penal,rmin);
% INITIALIZE
x(1:nely,1:nelx) = volfrac;
loop = 0;
for ely = 1:nely
for elx = 1:nelx
if ((ely-(nely*0.5)<(2*elx)-(1.36*nelx)) | (ely
<(1+nely*0.5))) & (elx >(1+nelx)*0.6666))
passive(ely,elx) = 1;
else
passive(ely,elx) = 0;
end
end
end
x(find(passive))==0.001;
change = 1.;
```

```

% START ITERATION
while change > 0.01
loop = loop + 1;
xold = x;
% FE-ANALYSIS
[U]=FE(nelx,nely,x,penal);
%13 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; %19
dc(ely,elx) = 0.;
for i = 1:5
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);
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(nelx,nely,rmin,x,dc);
%27 DESIGN UPDATE BY THE OPTIMALITY CRITERIA METHOD
[x] = OC(nelx,nely,x,volfrac,dc,passive);
%29 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
%40 %%%%%%%%%% 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*nex*nely > 0;
l1 = lmid;
else
l2 = lmid;
end
end
%%%%%%%%%% MESH-INDEPENDENCY FILTER %%%%%%%%%%%
function [dcn]=check(nex,nely,rmin,x,dc)
dcn=zeros(nely,nex);
for i = 1:nex
for j = 1:nely
sum=0.0;
for k = max(i-round(rmin),1):min(i+round(rmin),nex)
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
%65 %%%%%%%%%%% FE-ANALYSIS %%%%%%%%%%%
function [U]=FE(nex,nely,x,penal)
[KE] = lk;
K = sparse(2*(nex+1)*(nely+1), 2*(nex+1)*(nely+1));
F = sparse(2*(nely+1)*(nex+1),5); U
=zeros(2*(nely+1)*(nex+1),5);
for ely = 1:nely
for elx = 1:nex
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(2*nex*(nely+1)+2,1) = 1;
F(2*nex*(nely+1)+(nely/4),2) = 1;
F(2*nex*(nely+1)+(nely/2),3) = 1;
F(2*nex*(nely+1)+(nely),4) = 1;
F(2*nex*(nely+1)+(nely*1.2),5) = 1;
fixeddofs = 2*(nely+1):2*(nely+1):2*(nex+1)*(nely+1);
alldofs = [1:2*(nely+1)*(nex+1)];
freedofs = setdiff(alldofs,fixeddofs);
% SOLVING 127
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)];

```