



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FIME

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

LABORATORIO DE BIOMECHANICA

PRÁCTICA 2

Diseño del marco de una bicicleta

Docente: Dra. Yadira Moreno Vera

Ing. Isaac Estrada

Día: Martes

Hora: V2

Brigada: 214

Equipo: 2

Nombre	Matricula	Carrera
María de los Angeles Puente Peña	1905238	IMTC
Mauricio Guerrero Hernández	1905306	IMTC
Brayan Uriel Grimaldo Salazar	1908530	IMTC
Karla Gabriela Torres García	1910427	IMTC
Alina Martínez Escobedo	1912818	IMTC
Viviana Nathalie Tienda Téllez	1919910	IMTC

Fecha de entrega: 19-septiembre-2022

OBJETIVO

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

INTRODUCCION

En este presenta trabajo se presenta una propuesta de análisis de formas y de la programación para la ejecución de la optimización de las características de trabajo específicas siguiendo una metodología con el objetivo de realizar el diseño del marco de una bicicleta utilizando programación en Matlab y haciendo uso de optimización vista anteriormente en la práctica pasada, por lo que haciendo uso de la optimización topológica lograr el diseño del marco de una bicicleta, planteando un código y corroborando su funcionalidad, además de reconocer la importancia de la optimización, reconociendo sus resultados y su impacto en los diversos campos que esta puede llegar a lograr.

NOMBRE Y DEFINICIÓN DE LA FORMA GEOMETRICA

Esta práctica consta de realizar el diseño el marco de una bicicleta, considerada como la base de esta, utilizando la programación que Matlab ofrece y la optimización analizada en la práctica anterior. El diseño que tienen los marcos de las bicicletas varía según la utilidad que le daría el usuario.

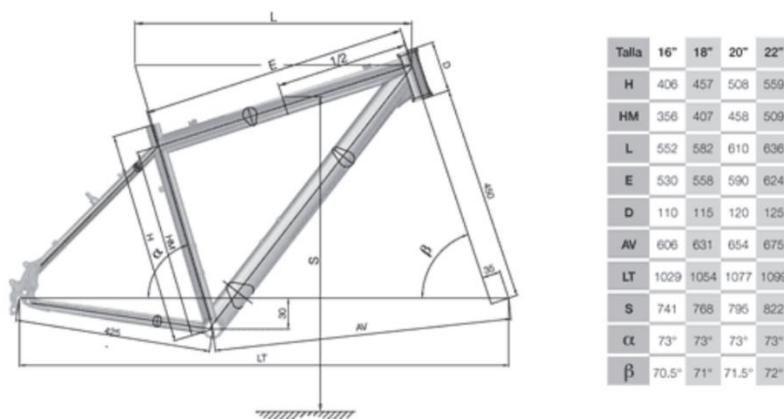
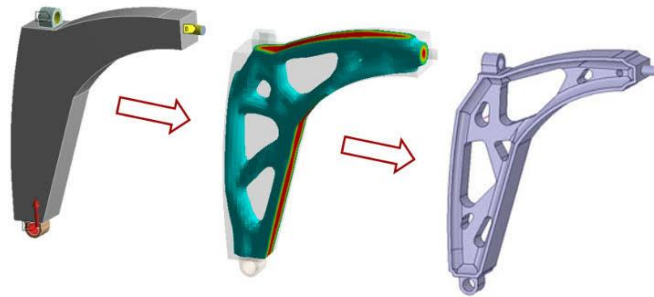


Figura 1: Análisis de la geometría del marco de una bicicleta.

ESTADO DEL ARTE

La optimización topológica es una técnica englobada dentro del campo de análisis estructural. Se basa en el análisis mecánico de un componente o estructura. Su principal objetivo es el aligeramiento estructural manteniendo las funcionalidades mecánicas del componente objetivo. A diferencia de otros tipos de optimización, la optimización topológica ofrece un nuevo concepto de diseño estructural enfocado a aquellas aplicaciones donde el peso del componente es crucial (por ejemplo, la industria aeroespacial).



-Análisis de topología y optimización

Gracias a los nuevos métodos computacionales, es posible llevar la optimización a un nivel más complejo de análisis a nivel estático, dinámico, plástico, modal o de impacto, entre otros, los cuales pueden considerarse durante el proceso de optimización.

El desarrollo de esta metodología tiene un amplio campo de aplicación para las tecnologías de fabricación aditiva, como por ejemplo la fabricación SLM (Selective Laser Melting), debido a las grandes posibilidades en términos de diseño (geometrías muy complejas).

En este caso se desarrollará una herramienta computacional en lenguaje de programación de Matlab por medio de algoritmos que permite la optimización topológica de estructuras, utilizando elementos finitos tetraédicos con un comportamiento mecánico lineal elástico, y con un modelo de parametrización de la densidad SIMP. Para ello, se estudia el estado del conocimiento de la optimización topológica con el propósito de ubicar y referenciar los conceptos desarrollados. Posteriormente, se establece la formulación del elemento finito

tetraédrico y la del problema de optimización que son la base para la formulación del modelo de optimización topológica.

Debido a que en este trabajo se analizara y optimizara la geometría del cuadro o marco de una bicicleta debemos definir a que se refiere.

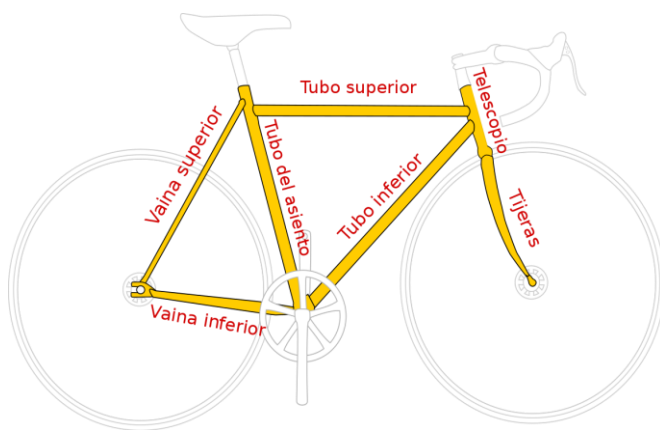
El cuadro de bicicleta es la estructura rígida o semi-rígida que une todos los componentes de la bicicleta. Al cuadro se fija el manillar, la horquilla, el sillín, la rueda trasera, la transmisión y los frenos. En caso de ser una bicicleta eléctrica, también se fija el sistema eléctrico completo o algunas partes de él.

El cuadro se conforma por el tubo superior, tubo inferior, tubo para asiento, vaina superior y vaina inferior unidos por el tubo de sillín.

Los cuadros de bicicleta son de materiales resistentes como el aluminio, el acero, el carbono o el magnesio. Están diseñados para ofrecer al ciclista una geometría de conducción optimizada para el uso que se le va a dar a ese tipo de bicicleta. Así, una bicicleta de carretera tiene una geometría pensada en una posición de pedaleo

aerodinámica. En cambio, una bicicleta de paseo tiene una geometría para que el ciclista se pueda sentir lo más cómodo posible. También existen diferentes tallas de cuadros y geometrías específicas para mujeres y niños. Es importante escoger una geometría y talla de cuadro apropiadas para cada ciclista.

El material del cuadro tiene una relación directa con tres factores importantes: el peso, la resistencia y el precio. Cuanto menos pese el cuadro, menos peso deberá arrastrar el ciclista y, por tanto, menos esfuerzo deberá realizar. Los materiales más ligeros y resistentes son el magnesio y el carbono, pero también son los más caros. El acero, es el material más barato,

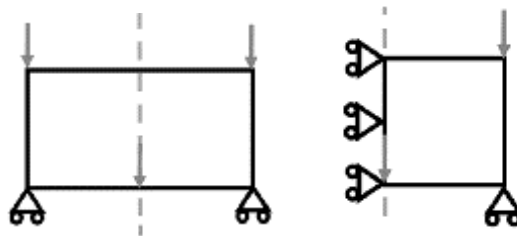


-Marco de una bicicleta

pero también el más pesado. El aluminio es el material más común en los cuadros porque tiene una relación peso-resistencia-coste más equilibrada. De esta forma podemos tener cuadros resistentes y ligeros a un precio razonable.

PROPUESTA DEL DISEÑO GEOMETRICO, ALCANCES Y LIMITACIONES

La propuesta de diseño geométrico para esta práctica se basa en el marco de la rueda de una bicicleta, por lo que a partir del código de programación que se describirá a continuación, se realizará la simulación de la optimización topológica, y de igual manera describiendo el alcance y las limitaciones de la misma propuesta de diseño. De igual manera se planteará la misma sección de la práctica pasada con el soporte para intentar simular las cargas que se ejercen sobre el marco de bicicleta. A la geometría se le agregaron apoyos que corresponden a las ruedas, tanto delantera como la trasera, de igual manera este tenga el apoyo del manubrio y el peso que ejerce las piernas sobre el pedal. La limitación de esto es que existen mas variables que pueden intervenir al momento de querer realizar la optimización topológica, como fenómenos naturales, los materiales de fabricación entre otros. Al tratar de simplificarla se busca que el alcance de este logre asimilarse al comportamiento que se le ejerce hacia una bicicleta, por lo que a continuación en la Figura 1 se podrá observar la propuesta del diseño geométrico.



-Figura 1. Propuesta de la geometría

PASOS DEL DESARROLLO DE PROGRAMACION

Las 99 líneas del programa están divididas en 36 líneas para el programa principal, 12 líneas para la optimización, 16 para el filtro de malla y 35 líneas para el código de elemento finito.

Programa principal (líneas 1-36)

El programa principal (líneas 1-36) empieza distribuyendo el material en partes iguales en el dominio del diseño (línea 4). después de otras inicializaciones, el bucle principal empieza llamando a la subrutina del elemento finito (línea 12) que regresa el desplazamiento del vector U.

Ya que la matriz de rigidez de elemento para el material solido es la misma para todos los elementos, la subrutina es llamada solo una vez (línea 14). Después de esto, un bucle sobre todos los elementos determinara la función objetiva y las sensibilidades (4). Las variables n1 y n2 indican los números de nodos de elementos superiores izquierdo y derecho y son usados para extraer el vector de desplazamiento Ue del desplazamiento global del vector U. El análisis de sensibilidad es seguido al llamar al filtro de malla independiente (línea 26) y al optimizador (línea 28).

El cumplimiento, así como otros parámetros son impresos por las líneas 30-33 y la distribución de densidad resultante se traza (línea 35). El bucle principal se termina si el cambio en las variables de diseño es menos al 1%. De lo contrario se repetirán los pasos anteriores. Y entre las líneas 5 y 6 se hizo un agregado para optimizar la operación

```
for ely = 1:nely
for elx = 1:nelx
if ((elx)^2+(ely-nely)^2) < (0.65*nelx)^2
    passive(ely,elx) = 1;
else
    passive(ely,elx) = 0;
end
end
end
x(find(passive))=0.001;
```

Optimización basada en criterios de optimalidad (líneas 37-48)

Las variables de diseño actualizadas se encuentran en el optimizador (líneas 37-48). Sabiendo que el volumen del material ($\text{sum}(\text{sim}(\text{xnew}))$) es una función decreciente monótona de los multiplicadores de Lagrange (lag), el valor de los multiplicadores de Lagrange que satisface la restricción de volumen se puede encontrar mediante un algoritmo de bifurcación (líneas 40-48). Este algoritmo se inicializa adivinando un valor l_1 inferior y un l_2 superior para el lagrangiano (línea 39). El tamaño de los elementos finitos se define como una vez por 1 unidad. (línea 40).

Filtrado de malla independiente (líneas 49-64)

Las líneas 49-64 representan la implementación de Matlab de (5). Es importante notar que no todos los elementos en el dominio del diseño son buscados con el fin de encontrar los elementos que se encuentran dentro del radio r_{\min} pero solo los que se encuentren dentro de un cuadrado con lados de longitud dos veces redondas (r_{\min}) alrededor del elemento considerado. Al seleccionar menos r_{\min} que uno en la rutina, las sensibilidades filtradas serán iguales a las sensibilidades originales que hacen el filtro inactivo.

Código de elemento finito (líneas 65-99)

El código de elemento finito está escrito en las líneas 65-99. Tenga en cuenta que el solucionador hace uso de las escasas opciones en Matlab. La matriz global rígida se forma por un bucle sobre todos los elementos (líneas 70-77). Como fue en el caso del programa principal, las variables n_1 y n_2 denotan los números de nodos de elementos superior izquierda y derecha y son usados para insertar la matriz de rigidez de los elementos en los lugares correctos en la matriz global. Como se mencionó antes, ambos nodos y elementos son numerados en columnas de izquierda a derecha. Además, cada nodo tiene dos grados de libertad (horizontal y vertical), por lo que se aplica el comando $F(2,1)=1$ (línea 79) considerando solo la carga y el apoyo.

Los soportes se implementan al eliminar los grados de libertad arreglados de las ecuaciones lineales. Matlab puede hacer esto con la línea:

```
84 U(freedofs,:) = K(freedofs,freedofs) \ F(freedofs,:);
```

Donde freedofs indican los grados de libertad que no están restringidos. Mayormente, es más fácil definir los grados de libertad que están arreglados (fixeddofs) por lo que los freedofs son encontrados 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 arreglados. La matriz de rigidez es calculada en las líneas 86-99. La matriz de 8x8 por el cuadrado bi-linear elemento de 4 nodos fue determinado analíticamente usando un software de manipulación simbólica. El módulo de Young y el coeficiente de Poisson no puede ser alterado en las líneas 88 y 89.

RESULTADOS DE LA OPTIMIZACION

En base a la explicación del procedimiento realizado para la programación de la optimización de un marco de bicicleta en Matlab, ahora el siguiente paso a realizar es el corroborar que el código propuesto funcione correctamente. Para la implementación de este código lo único necesario es el copiar el siguiente programa en el editor de Matlab, para posteriormente hacer el análisis de los resultados.

```
%%%% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY OLE SIGMUND, JANUARY 2000
%%%
function top(nelx,nely,volfrac,penal,rmin);
% INITIALIZE
x(1:nely,1:nelx) = volfrac;
loop = 0;
for ely = 1:nely
for elx = 1:nelx
    if ((elx)^2+(ely-nely)^2) < (0.65*nelx)^2
        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);
% 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;
        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) = -penal*x(ely,elx)^(penal-1)*Ue'*KE*Ue;
    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);
% 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)
l1 = 0; l2 = 100000; move = 0.2;
while ((l2-l1)/l2 > 1e-4)
    lmid = 0.5*(l2+l1);
    xnew = max(0.001,max(x-move,min(1.,min(x+move,x.*sqrt(-dc./lmid)))));
    if sum(sum(xnew)) - volfrac*nelx*nely > 0;
        l1 = lmid;
    else
        l2 = lmid;
    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-floor(rmin),1):min(i+floor(rmin),nelx)
            for l = max(j-floor(rmin),1):min(j+floor(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
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),1); U = zeros(2*(nely+1)*(nelx+1),1);
for elx = 1:nelx
    for ely = 1:nely

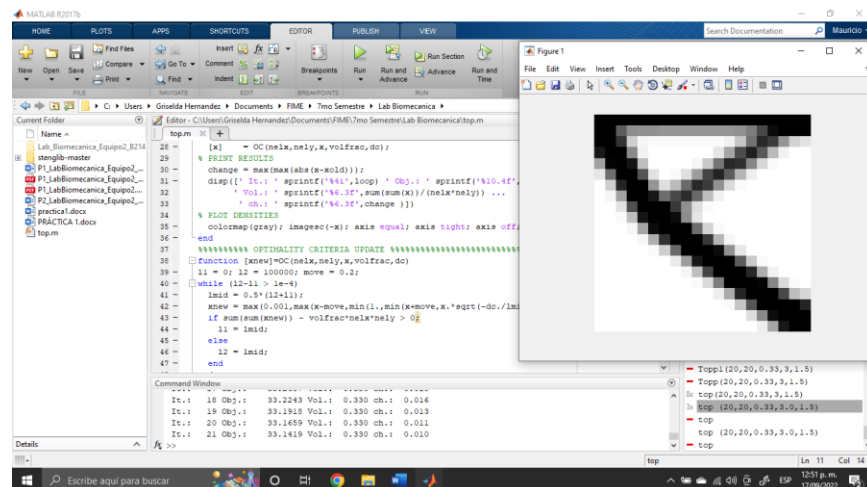
```

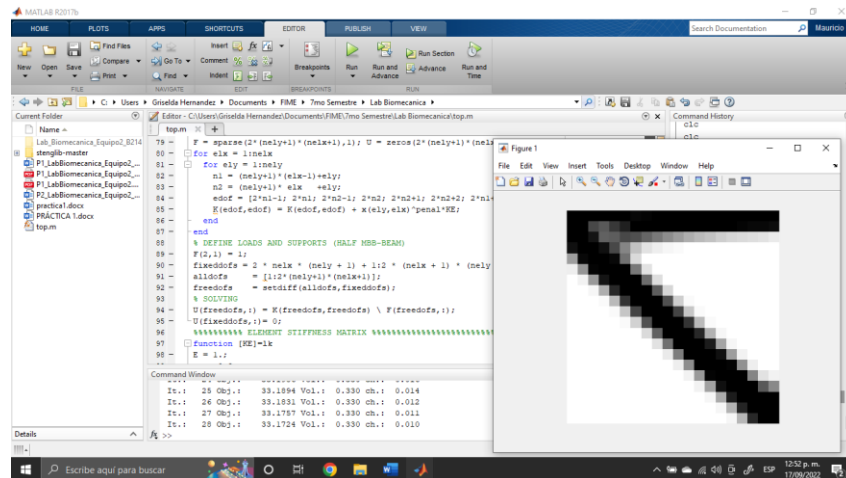
```

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(ely,elx)^penal*KE;
end
end
% DEFINE LOADS AND SUPPORTS (HALF MBB-BEAM)
F(2,1) = 1;
fixeddofs = 2 * nelx * (nely + 1) + 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)];

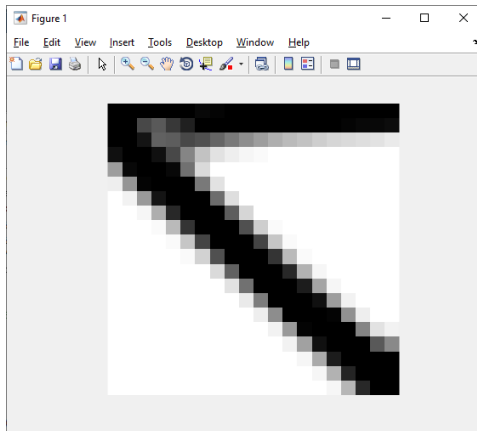
```

-Código de optimización topológica de marco de bicicleta





-Implementación del código en Matlab



-Implementación del código en Matlab

En base al código propuesto, se puede observar que, con respecto a la figura propuesta del marco de bicicleta, se puede observar que efectivamente existe una gran diferencia entre cada una de las formas que se van obteniendo y se puede observar el cómo el marco de la bicicleta se va modificando para tener de esta manera el menor material posible, pero conservando las mismas propiedades que la estructura original.

CONCLUSIONES

Brayan Uriel Grimaldo Salazar:

Al término de esta práctica, logramos el objetivo planteado al inicio que es presentar una propuesta de análisis de formas y de la programación para la ejecución de la optimización, en este caso la utilizamos para el marco de una bicicleta aplicando lo aprendido en el reporte previo, haciendo uso de la optimización topológica, por lo que podemos reconocer la importancia y la aplicación que puede tener la óptimo topológica y como puede tener diferentes aplicaciones en diversos campos.

Es importante recalcar el funcionamiento de la optimización topológica y como sus resultados pueden ser favorables para la continua excelencia de los trabajos, ahorrando gastos y hacerlo más sencillo.

Karla Gabriela Torres García:

Durante la realización de la práctica se estuvo trabajando con conceptos aprendidos en el reporte anterior, como lo es la optimización topológica. El código utilizado en la práctica anterior fue necesario para concretar esta práctica puesto que ahora deberíamos de realizarle mejoras para acoplar la geometría a un marco de bicicleta. Fue interesante investigar acerca de los diferentes cuadros que tienen las bicicletas y los tubos y/o partes que la conforman. También, me sigue pareciendo interesante como es que funciona la optimización topológica, puesto que si los cálculos son realizados correctamente se puede utilizar menos material, pero continuando con un trabajo de buena calidad.

Viviana Nathalie Tienda Tellez:

En esta práctica al igual que en la pasada seguimos investigando y trabajando con el análisis de optimización topológica que son de gran ayuda para el diseño de piezas ya que significan la optimización de estas analizando cuales son las partes de las piezas esenciales y las que reciben la mayor magnitud de fuerzas, y a partir de ahí por consiguiente eliminar partes innecesarias se podría decir, que no interactúan con las fuerzas.

El código que analizamos en esta práctica consistía en la optimización de la estructura de una bicicleta, en la que después de correr el programa nos mostró una gran mejora en la estructura de esta.

Mauricio Guerrero Hernández:

En base a lo visto en esta segunda práctica, se reforzaron los conocimientos vistos en la práctica pasada referente a la optimización topológica, reconociendo nuevamente la importancia de la implementación de las optimizaciones hoy en día dentro de la industria, desde el diseño automotriz, en la industria para mejorar las propiedades de alguna pieza de maquinaria, en el diseño y elaboración de prótesis, entre muchas otras áreas de desarrollo. Este tipo de optimizaciones ayuda sobre todo a ahorrar gastos al momento de elaboración de

las piezas, debido a que es mucho menor el material necesario para las elaboraciones de las piezas. Por otro lado, la elaboración del código resultó mucho más sencilla, debido a que se utilizó el mismo código de la práctica pasada y únicamente fue necesario el realizar ciertos ajustes a el código para poder ajustar nuestra geometría a el marco de la bicicleta y de esta manera cumplir con el objetivo de la práctica.

María de los Ángeles Puente Peña:

Con esta segunda práctica seguimos reforzando nuestros conocimientos sobre la optimización topológica, así como en la práctica pasada, cumpliendo con el objetivo que era ejecutar el análisis y la programación para la ejecución de la optimización en este caso de un marco de una bicicleta, la cual es una parte fundamental que une muchos componentes de la estructura de la misma; al igual este código se creó y ejecuto en el programa de Matlab. Como se había dicho con anterioridad la optimización es muy aplicada en la industria debido a sus ventajas como el reducir costos en el mecanizado y material de la pieza que se busca obtener. Así que gracias a estas actividades es que estamos desarrollando la práctica para este tipo de análisis que en algún momento en el futuro llegaremos a utilizar en algún trabajo o incluso en las prácticas profesionales.

REFERENCIAS

Componentes bicicleta: conoce las partes de una bicicleta. (2020, 19 abril). Las mejores bicicletas eléctricas, componentes, accesorios y equipación de ciclismo. Recuperado 17 de septiembre de 2022, de <https://bikeanalytics.com/componentes-bicicleta/>

PARTES DE UNA BICICLETA Y SUS PRINCIPALES FUNCIONES. (2022, 12 septiembre). Tienda de bicicletas en linea | Bicicletas de Montaña | Tuttobike. Recuperado 17 de septiembre de 2022, de <https://tuttobike.com/blogs/blog/partes-de-una-bicicleta-y-sus-principales-funciones/>

Optimización Topológica / Catec. (s. f.). Recuperado 17 de septiembre de 2022, de <http://www.catec.aero/es/materiales-y-procesos/1%C3%ADnea-de-investigaci%C3%B3n/optimizaci%C3%B3n-topol%C3%B3gica>