

# Practica 2:

Jesús Martínez García      Samuel Gerardo Cuéllar Dávila  
Karime Montserrat Cantú Ramírez      Adrian Isaac Gomez Ocon  
Joselyn Zacarías Chávez      Seini Armando Ramos Durán

19 de septiembre de 2022

## 1. Introducción

Este trabajo se centra en el diseño y análisis del componente más importante de una bicicleta: su cuadro, ya que todos los elementos que componen una bicicleta van unidos a él, entendiendo las diferentes partes que conectan y cuál es su función dentro del diseño.

Mediante el empleo de materiales metálicos, establecidos estándares en la producción de cuadros de bicicleta, se pretende diseñar un cuadro ligero, duradero y de altas cualidades, destinada a un usuario estándar. En este caso el aluminio, se hablará de sus características y del por qué éste material es mejor que otros para este tipo de aplicaciones. El presente proyecto contempla diversas disciplinas en el ámbito de la Ingeniería Mecánica: pre-diseño y estudio de diseños mediante análisis y un código para la creación de éste.

Una vez diseñado realizamos el análisis de optimización topológica para así conocer cómo es que el diseño pudiera ser mejorado para utilizar una menor cantidad de material de una forma más eficiente.

## 2. Desarrollo

Primero vamos a considerar solo la carga y el apoyo. Para esto editaremos líneas 80 y 81 del código de matlab:

- 80 F (2,1)=1;
- 81 ficeddofs=2 \* nelx \* (nely + 1) + 1:2 \* (nelx + 1) \* (nely + 1)

Guarde el código en el mismo directorio. Luego ejecute Matlab con:

- top(20,20,0.33,3.0,1.5)

El resultado debe ser similar a la figura 3. El dominio de diseño se discretiza 20 veces en 20 elementos finitos. Tal vez piense que la magnitud de la fuerza no es realista y que el módulo de Young debe ser corregido en la línea 89. Comúnmente  $E=2 \cdot 10^N / m^2$

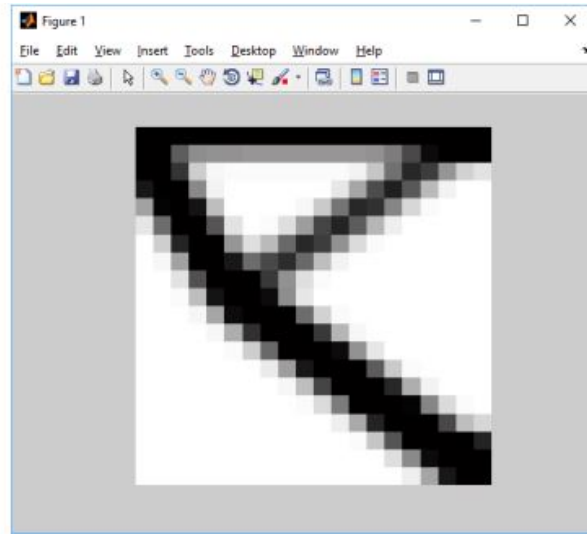


Figura 1: Resultado de la primera optimización

También el tamaño de los elementos finitos se define como 1 vez por 1 unidad. Estos valores se tienen que cambiar para obtener valores correctos de optimización, pero no siempre es necesario cambiarlos ya que son solo correcciones de las escalas. Sin embargo, si se quieren corregir, se puede modificar la línea 41 para mantener la precisión mientras se resuelven las ecuaciones:

- 41 while  $((l2-l1)/l2 \gg 1e-4)$

## 2.1. Evolución de las bicicletas

El primer prototipo de bicicleta que se conoce se remonta a finales del siglo XV. Se trata de unos dibujos en papel hechos por Leonardo Da Vinci, en el cual ya incluía una cadena de transmisión para pasar la fuerza realizada por los pies a la rueda trasera. A partir de este prototipo nacen las demás variantes que se conocen hasta llegar a la bicicleta actual.

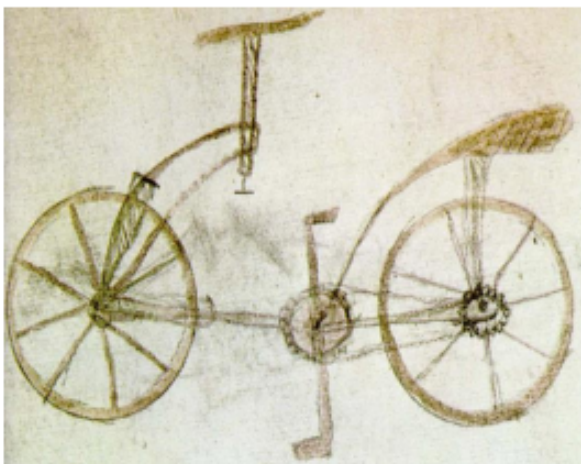


Figura 2: Marcos de bicicleta

En 1816, el inventor Karl Dreis construye una bicicleta sin pedales, cadenas ni frenos. El avance se tenía que realizar con los pies, al igual que el frenado. En cambio, dispone de manillar para dirigir la trazada que se quería realizar. Esta bicicleta se pensaba que iba a revolucionar el mercado de ese momento, pero no fue así y solo fue un prototipo más para seguir avanzando en la evolución de las bicicletas.

## 2.2. Componentes de la bicicleta

Una bicicleta es una composición de varios elementos. Su elemento principal es el cuadro, pero tiene muchos más elementos de los que cada uno tiene su papel importante dentro del funcionamiento de la misma. Para entender el funcionamiento de una bicicleta se van a nombrar los componentes más importantes:

- Cuadro. Componente que se va a estudiar en el trabajo. Es la pieza a la cual van unidas el resto de las partes y el que soporta la mayoría del peso del ciclista. Su geometría es muy importante a la hora de elegir una bicicleta, ya que va a influir directamente en el comportamiento que va a tener nuestra bicicleta y sus prestaciones para el usuario. Está formado por diferentes tubos de determinadas longitudes y secciones.
- Horquilla. Su función consta de unir la rueda delantera a nuestro cuadro y amortiguarla. Es el principal cambio respecto a los avances tecnológicos que ha habido, en lo que a las bicicletas de montaña se refiere. Su función es que la amortiguación se adapte al terreno, por lo que las irregularidades no afecten en gran medida al ciclista y al comportamiento de la bicicleta. Hay diferentes tipos de suspensiones, en un mercado en el que la competencia cada vez es mayor.

Las características a tener en cuenta en la elección de una suspensión, principalmente son los tipos de suspensión, el recorrido que tienen y las opciones de bloqueo que nos permita.

## 2.3. Componentes del cuadro

Los componentes y principales tubos que forman parte del cuadro de bicicleta de modo general son los siguientes:

- Telescopio. Barra unida al tubo superior e inferior sobre el que gira el manillar, es decir, realiza la función de eje. Es de alta resistencia, debido a que aguanta gran parte de la fuerza a la que se somete el manillar.
- Vaina inferior. Se encargan de unir el eje de la rueda trasera con la caja de pedalier.
- Vaina superior. Se refiere al tubo que se encarga de enlazar el eje de la rueda trasera con el tubo del asiento.
- Tubo del asiento. Tubo que forma dos triángulos en el cuadro y las partes inferiores con las superiores. En la unión inferior se aloja la caja de pedalier y en la superior el sillín de la bicicleta.
- Tubo inferior. Une el telescopio con la caja de pedalier.
- Tubo superior. Une el telescopio con el tubo del asiento. Este tubo puede llegar a ser prescindible en el cuadro y hay en el mercado ya varios ejemplos que no lo incluyen.

## 2.4. El aluminio como material

El aluminio desde los años 80 se emplea con mucha frecuencia en la fabricación de los cuadros de bicicletas. Es el material más empleado en la industria con diferencia al resto. La bicicleta de aluminio como de acero son las más comunes que podemos encontrar en todo el mundo.

La elección de llevar una bicicleta de este material depende de qué actividad de realizará con ella, aunque como previamente se dice que son las más comunes y usadas, también se le puede dar provecho dependiendo al uso que se le dará. Por ejemplo, las bicicletas de aluminio son las más recomendadas para el ciclismo de montaña o para caminos menos rectos y con mayor obstáculos, debido a su ligereza.

*El cuadro de aluminio en una bicicleta, la hace más ligera pero resistente a impactos por suelos irregulares.*



Figura 3: Cuadro de Aluminio

- **Mayor durabilidad:** Existen materiales más ligeros como los cuadros de carbono o aleaciones de distintos materiales. Sin embargo, un cuadro de aluminio ofrece mayor resistencia en terrenos irregulares. Por ello, los ciclistas de free ride como de descenso (downhill) o enduro eligen bicis de aluminio.
- **Evita oxidación:** Con una bicicleta de cuadro y componentes de aluminio evitarás la oxidación que en una bicicleta de acero suele pasar con el tiempo.
- **Mejor rigidez:** Un cuadro de aluminio no es tan rígido como de acero. Pero gracias las innovaciones en la tecnología de los materiales, en la construcción del cuadro y en los componentes evitan las vibraciones.

Sus características principales son su resistencia a la fatiga y rotura, que aún siendo menor que el acero, cumple los requisitos. La densidad material es menor, pero tiene en su contra que al tener que fabricar los tubos con un diámetro mayor que los de acero para cumplir con la resistencia a la rotura y con esto reducir la fatiga, el peso final del cuadro respecto a uno de acero no es tan diferente. Esto supone también un mayor gasto de material, que supone unos costes superiores de fabricación.

Actualmente existen cuadros de aluminio hidroformados, los cuales los convierten en cuadros estéticos y modernos. Este hace una bicicleta más aerodinámica y ligera. De hecho, la mayoría de los cuadros de las bicicletas están constituidas con el tipo de aluminio 6061 y 7005.

Hay bicicletas de gama media y alta que ofrecen cuadros de aluminio de 6061 y 7005. Para determinar cuál bicicleta es mejor se debe considerar el peso más ligero y el tipo de soldadura que se ofrezca. *Entre menos soldadura y un cuadro en pieza única se garantiza más durabilidad.*

### 3. Código

```

%%%% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY OLESIGMUND, OCTOBER 1999 %%%
function topl(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, passive);
    % PRINT RESULTS
    change = max(max(abs(x-xold)));
    disp(['It.: ' sprintf('%4i',loop) 'Obj.: ' sprintf('%10.4f',c) ...
        '_Vol.: ' sprintf('%6.3f',sum(sum(x))/(nelx*nely)) ...
        '_ch.: ' sprintf('%6.3f',change )])
    % PLOT DENSITIES
    colormap(gray); imagesc(-x); axis equal; axis tight; axis off; pause(1e-6);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% OPTIMALITY CRITERIA UPDATE %%%%%%%%%%%%%%
function [xnew]=OC(nelx , nely , x, volfrac , dc, passive)
l1 = 0; l2 = 100000; move = 0.2;
while ((l2-l1)/l2 > 1e-4)
    lmid = 0.5*(l2+l1);
    xnew(find(passive))=0.001;
    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-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),1); U=sparse(2*(nely+1)*(nelx+1),1);
for ely = 1:nely
    for elx = 1:nelx
        n1 = (nely+1)*(elx-1)+ely;
        n2 = (nely+1)* elx +ely;
        edof = [2*n1-1; 2*n1; 2*n2-1; 2*n2; 2*n2+1;2*n2+2;2*n1+1; 2*n1+2];
        K(edof,edof) = K(edof,edof) + x(ely,elx)^penal*KE;
    end
end
end
% DEFINE LOADSAND 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 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)];

```

## 4. Resultados

Despues de ejecutar el código visto anteriormente con los parámetros  $\text{top}(20,20,0.33,3.0,1.5)$ , los resultados que se tuvieron con el filtro activado fueron los siguientes:

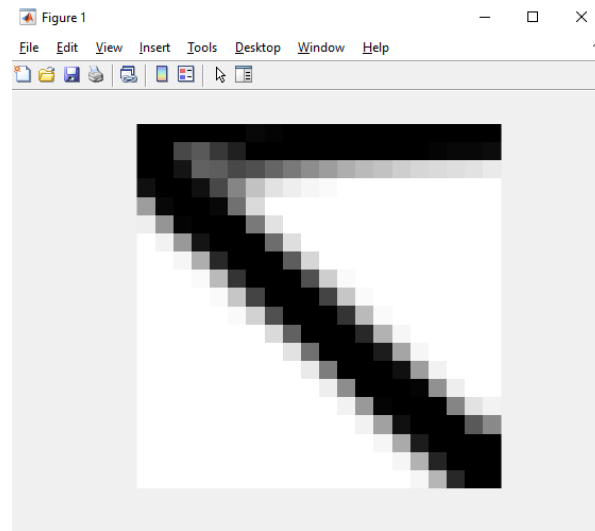


Figura 4: Resultado

## 5. Conclusiones

### **Adrián Isaac Gómez Ocón 1992343:**

Esta practica nos fue de gran ayuda para entender como aplicar la optimización topológica en un caso real y a entender como implementar el código a el diseño que realizamos. Me pareció interesante aprender como es que esta optimización puede ser aplicada en una gran variedad de situaciones yendo desde cosas básicas como nuestro caso hasta estructuras y casos mucho más complejos. Me pareció interesante ver como la tarea de optimización se realiza fácilmente en computadora utilizando un código simple, mientras que a nosotros nos tomaría una gran cantidad de tiempo realizar todos los cálculos y análisis por nuestra cuenta.

### **Samuel Gerardo Cuéllar Dávila 1992262:**

De entender como funciona un código de optimización topológica se procede a poner en un caso real la optimización, el caso es de una bicicleta. Se aplicó esta optimización para un caso mucho más practico y común, por lo que empezar a poner en practica este código con casos cada vez mas reales hace que consigamos conectar lo que necesitamos aprender con la manera de ponerlo en práctica, por lo que resulta aún mas interesante.

### **Jesús Martínez García 1991837:**

Pues en esta práctica pudimos ver un poco más las aplicaciones del código de la práctica anterior. El poder realizar este tipo de optimizaciones para, en este caso, un diaño de un marco de bicicleta hace que el código sea bastante útil y diverso. Creo que está práctica fue un poco más complicada que la anterior pero siento que se logró el objetivo.

### **Karime Montsserrat Cantú Ramírez 1675807:**

Esta práctica estuvo interesante, puesto que previamente nunca había investigando sobre la bicicleta, y del tipo de cuadro que ésta debe tener. Desde su diseño hasta llevarlo más allá, de revisarlo en lo digital. Creo que es importante llevar este tipo de actividades, ya que nosimplemental el desarrollo cognitivo sobre cómo empezar el diseño de algo en epecífico, y de ahí partir sobre su material.

### **Seini Armando Ramos Durán 1991948:**

Es fundamental ir estableciendo los conocimientos basicos para comprender poco a poco los fundamentos establecidos, por lo cual creo que la practica cumple con su objetivo principal, de forma que esta relacionada con la práctica anterior, teniendo en cuenta esto resulta mas sencillo entender lo que viene siendo la parte del codigo, solo que ahora con un contexto diferente, tratando de realizar un cuadro de bicicleta, en pocas palabras, me resulta muy interesante ver todo el proceso del codigo para realizar algo que a pura vista puede parecer muy sencillo.

**Joselyn Zacarías Chávez 1992173:** Con el desarrollo de la práctica hemos podido estructurar mejor los conocimientos básicos que necesitamos para el desarrollo de la próximas prácticias. De igual forma, gracias a esta práctica ahora conocemos un poco más sobre la bicicleta, la evolución y lo que conllevo a ella, ayudandonos a tener una idea más concisa de lo que se va a diseñar y posteriormente desarrollar.



## Referencias

- [1] Jeferson Wladimir Catucuago Cuzco and William Marcelo Túquerres Tabango. Diseño y construcción del marco y basculante para una bicicleta eléctrica por medio de la técnica de optimización estructural topológica. B.S. thesis, 2021.
- [2] David Felipe Fonseca Pulido and Julio Cesar Parra Salazar. Diseño de un marco en madera para bicicleta de ruta. B.S. thesis, Fundación Universidad de América, 2019.
- [3] José David Gonzales Sánchez. Diseño y construcción de un marco prototipo de una bicicleta urbana. B.S. thesis, 2018.