

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

LABORATORIO DE BIOMECÁNICA
PRÁCTICA 5: Optimización de una prótesis de pie

ING. YADIRA MORENO VERA

ING. ISAAC ESTRADA

Luis Alejandro Salaís Meza	José Juan García Martínez	Daniel García Rodarte	Raymundo López Mata	Gerardo Antonio Contreras Sandate
1877483	1911641	1912044	1923217	1860063
IMTC	IMTC	IMTC	IMTC	IMTC

BRIGADA: 509

AGOSTO – DICIEMBRE 2022

SALÓN 12BMC

VIERNES N5

Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León a 11 de noviembre de 2022

PRÁCTICA 5: Optimización de una prótesis de pie

OBJETIVO

El estudiante deberá presentar una propuesta de análisis de formas y la programación para la ejecución de la optimización de características de trabajo específicas.

INTRODUCCIÓN

En esta tercer práctica se realizará el diseño y optimización de la estructura de un panorámico mediante un programa de simulación y diseño como SolidWorks o utilizando el código de 99 líneas que se aplica en el programa de Matlab.

Existen diversas herramientas del campo ingenieril que permiten realizar acciones específicas dentro del campo, desde el análisis de circuitos electrónicos, como la programación de códigos para impresión 3D o maquinado por CNC. Una de las herramientas más importantes dentro de este campo, es aquella que incluye todo lo relacionado con la generación de modelos digitales en 3D, así como la generación

Dentro de esta práctica se explicará el nombre y definición de la forma geométrica, la cual es la estructura de un panorámico, el estado del arte, el procedimiento de la programación, la implementación de dicha programación adjuntando imágenes de las diferentes vistas del análisis y por último las conclusiones sobre la práctica.

MARCO TEÓRICO

Estado del arte

La locomoción proviene del fenómeno físico conocido como movimiento. Así, el movimiento siempre significa un cambio de posición en el espacio. Es el movimiento que permite que el sujeto (ya sea una persona o una máquina) se desplace y, además de adquirir otra posición, cambie de lugar. Es una posibilidad que sólo tienen los seres vivos y algunas máquinas o aparatos creados por el ser



Ilustración 1. Locomoción

humano que, de todas maneras, deben contar con algún método de propulsión como motores o energía.

El conocimiento de la locomoción humana normal es la base del tratamiento sistemático y del manejo de la marcha patológica, especialmente cuando se usan prótesis y ortesis.

El caminar o andar de una persona, se define como la repetición de una serie de movimientos simultáneos, que desplazan el cuerpo sobre una línea de progresión deseada. Y al mismo tiempo mantienen una postura estable, soportando el peso corporal.

La movilidad libre de las articulaciones y el trabajo que desempeñan los músculos es importante para el éxito de esta tarea. Estos últimos deben actuar en el momento preciso y con la intensidad necesaria. La falta de ciertas acciones durante la marcha debe ser sustituida por otras, con el fin de mantener la estabilidad y la progresión deseada.

Ciclo de la marcha

El ciclo de la marcha comienza cuando el pie contacta con el suelo y termina con el siguiente contacto con el suelo del mismo pie. Los dos mayores componentes del ciclo de la marcha son: la fase de apoyo y la fase de balanceo (Ilustración 2). Una pierna está en fase de apoyo cuando está en contacto con el suelo y está en fase de balanceo cuando no contacta con el suelo.

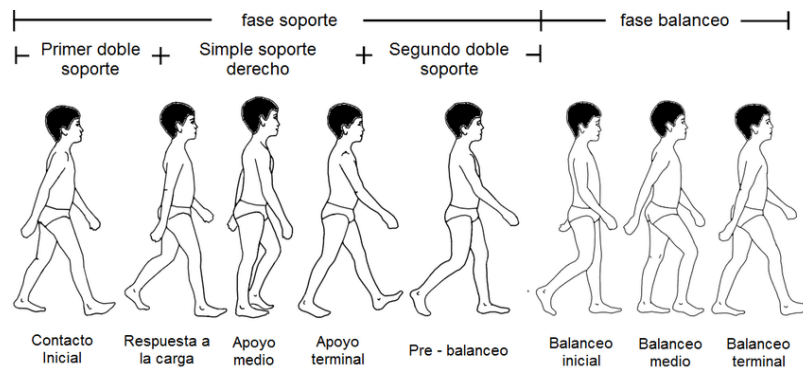


Ilustración 2. Ciclo de marcha

La longitud del paso completo es la distancia lineal entre los sucesivos puntos de contacto del talón del mismo pie. Longitud del paso es la distancia lineal en el plano de progresión entre los puntos de contacto de un pie y el otro pie (Ilustración 3).

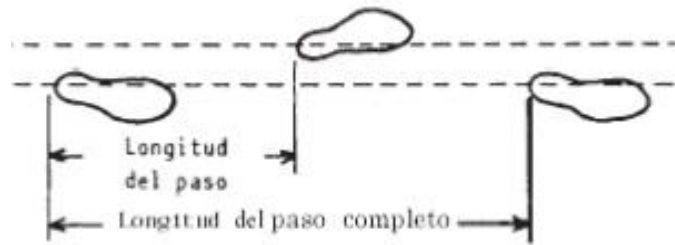


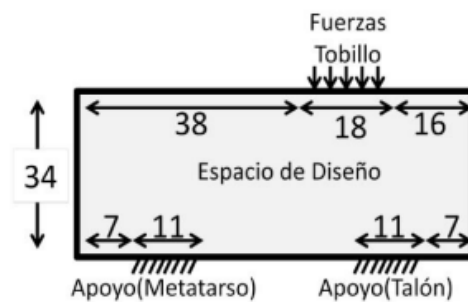
Ilustración 3. Longitud de paso

DESARROLLO

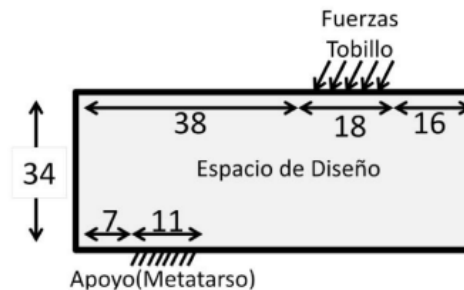
Propuesta de diseño

Para la realización de esta práctica se analizará el comportamiento de un solo pie dentro de las 3 fases de la marcha humana:

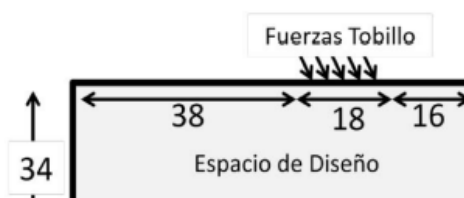
- ❖ **Normal** (El talón y área metatarsial son los apoyos, la fuerza se aplica sobre el tobillo con una fuerza de 500N)



- ❖ **Despegue** (El área metatarsial es el apoyo, la fuerza de 500N se aplica sobre el tobillo con un ángulo de 30°)



- ❖ **Apoyo** (El área del talón es el apoyo, la fuerza de 500N se aplica sobre el tobillo con un ángulo de 60°)



Pasos de desarrollo y programación

Código de la primer optimización

```

##### A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY OLESIGMUND, OCTOBER 1999 #####
function topp(nelx,nely,volfrac,penal,rmin);
% INITIALIZE
x(1:nely,1:nelx) = volfrac;
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.;
        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],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
% 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)
ll = 0; l2 = 100000; move = 0.2;

```

```

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),5); U =sparse(2*(nely+1)*(nelx+1),5);
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
% DEFINE LOADSAND SUPPORTS(HALF MBB-BEAM)
F(3222,1) = -1;
F(3782,2) = -1;
F(2662,3) = -1;
F(2942,4) = -1;
F(3502,5) = -1;
fixeddofs = union([560:2*(nely+1):1260],[3920:2*(nely+1):4620]);
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;

```

Código de la segunda optimización

```
%%% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY OLESIGMUND, OCTOBER 1999 %%%
function topp(nelx,nely,volfrac,penal,rmin);
% INITIALIZE
x(1:nely,1:nelx) = volfrac;
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.;
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],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
% 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
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function [xnew]=OC(nelx,nely,x,volfrac,dc)
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)))));
if sum(sum(xnew)) - volfrac*nelx*nely > 0;
l1 = lmid;
else
l2 = lmid;
end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
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(1,k)*dc(1,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),5); U =sparse(2*(nely+1)*(nelx+1),5);
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
% DEFINE LOADSAND SUPPORTS (HALF MBB-BEAM)
F(3222,1) = -1;
F(3782,2) = -1;
F(2662,3) = -1;
F(2942,4) = -1;
F(3502,5) = -1;
fixeddofs = [3920:2*(nely+1):4620];
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)];

```


Código de la tercer optimización

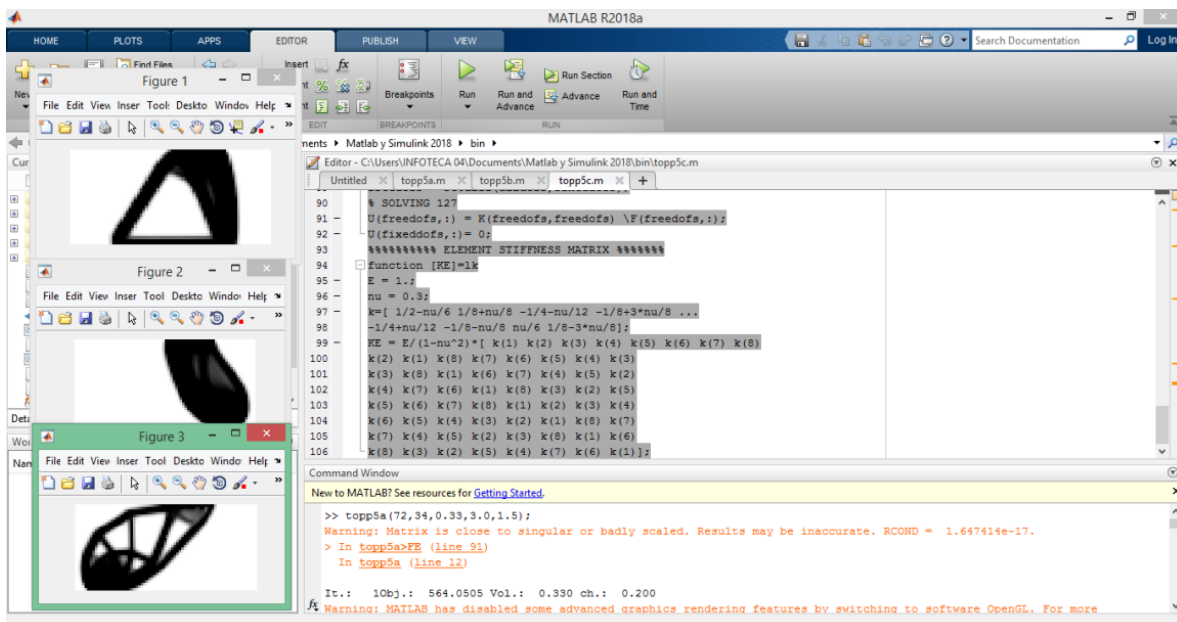
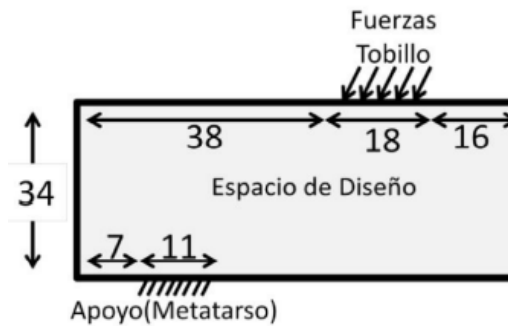
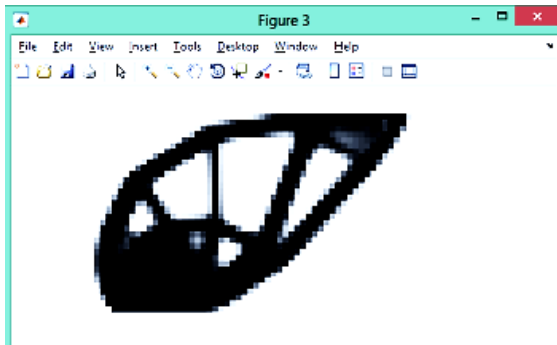
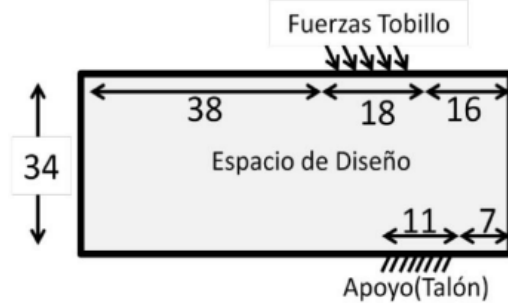
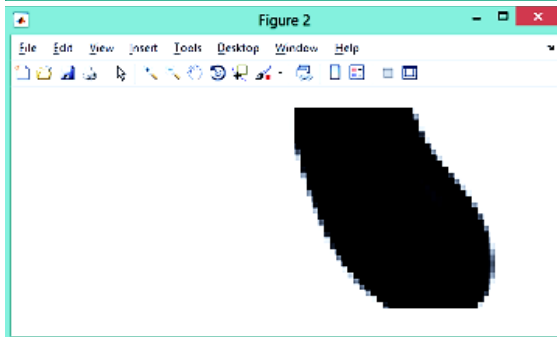
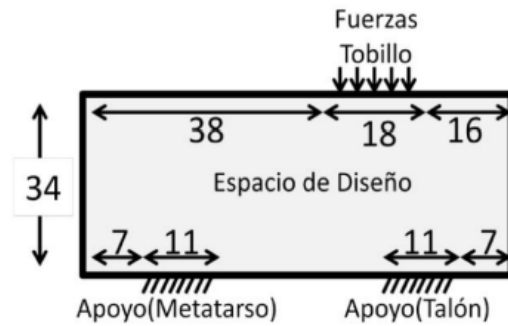
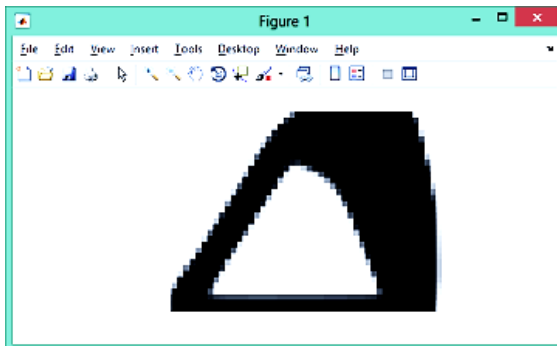
```
%%% A 99 LINE TOPOLOGY OPTIMIZATION CODE BY OLESIGMUND, OCTOBER 1999 %%%
function topp(nelx,nely,volfrac,penal,rmin);
% INITIALIZE
x(1:nely,1:nelx) = volfrac;
loop = 0;
change = 1.;
% START ITERATION
while change > 0.01
loop = loop + 1;
xold = x;
% FE-ANALYSIS
[U]=FE(nelx,nely,x,penal);
% OBJECTIVE 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.;
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],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
% 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 > 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
%%%%%%%%%% 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),5); U =sparse(2*(nely+1)*(nelx+1),5);
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
% DEFINE LOADSAND SUPPORTS (HALF MBB-BEAM)
F(3222,1) = -1;
F(3782,2) = -1;
F(2662,3) = -1;
F(2942,4) = -1;
F(3502,5) = -1;
fixeddofs = [560:2*(nely+1):1260];
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)];

```

Resultados de la optimización



CONCLUSIONES

Luis Alejandro Salais Meza

Cómo en prácticas anteriores, en esta práctica se trabajo con el análisis y optimización de piezas lo ensamblajes que representan situaciones o elementos de la vida cotidiana, en este caso, se aplicó el análisis a una prótesis de pie. Para este análisis se llevó a cabo un procedimiento similar a los anteriores, siendo que se presentaron 3 casos que se presentan dentro de la marcha o caminata humana. Se establecieron cargas y restricciones para el la posterior aplicación del código de 99 líneas de Matlab, que permite el desarrollo de este tipo de estudios. Teniendo los resultados, posteriormente es posible analizar la situación de esfuerzos y deformaciones en todo caso para realizar una optimización de la geometría, en este caso, la prótesis.

José Juan García Martínez

En esta práctica, se realizó la optimización de una prótesis de pie la cual utilizamos el código de 99 para llevarla a cabo; se propuso el diseño adecuado para la realización de la prótesis basándonos en el sistema del pie para un mejor simulado y así tener una buena propuesta con las fuerzas necesarias cuando esta el pie normal, despegado y cuando se apoya. Se obtuvieron los resultados adecuados y un buen funcionamiento de nuestra propuesta.

Daniel García Rodarte

En conclusión, en la práctica se diseñó una prótesis de pie utilizando un código de 99 líneas en Matlab, se realizó un diseño lo más óptimo posible. La biomecánica es el estudio de la mecánica del cuerpo de los seres vivos, y es de gran importancia para el diseño de prótesis en base la mecánica del cuerpo humano, con programas como Matlab podemos desarrollar estos diseños y optimizarlos de la mejor manera posible.

Raymundo López Mata

Con la realización de esta quinta práctica se observó la optimización de una prótesis de pie utilizando el código de 99 líneas en Matlab. Se apreció que se puede diseñar para piezas en diferentes etapas, que en su conjunto crearían una pieza útil para cualquiera de estos casos. Para esto nada más se tiene que analizar la pieza considerando los diferentes soportes de este, como en este caso se analizaron las 3 fases de la marcha humana para finalmente optimizar el diseño y observar las figuras.

Gerardo Antonio Contreras Sandate

Con esta quinta practica de laboratorio, se vio la optimización de un diseño para una prótesis de pie, el cual tiene que tener una gran resistencia a las fuerzas aplicadas en distintos momentos, como cuando se esta apoyado en una sola parte del pie, cuando se apoya con toda la superficie y cuando se despega del suelo. Estas simulaciones se realizaron mediante el código de 99 líneas en el software de Matlab, que antes ya se había utilizado para las practicas anteriores. Con esto podemos ver si fallará o no la prótesis de esta parte del pie y así se podría pasar a la siguiente fase de la creación de una prótesis para una parte del cuerpo humano.