

Gulich

MSE

Análisis y diseño estructural

Actividad Nº 1

Carlos Fernando Quiroga Ruiz

Profesores:

Dr. Walter Castelló

Dr. Mauro Maza

Dr. Martín Pérez Segura

Córdoba, Argentina

1 EJERCICIO 1.

Resolver el Problema 1.2 (pág. 19, [1]) empleando:

- Algún software que permita resolver el problema matemático (Matlab, Python, etc.) como propone el libro
- El método de ecuación característica visto en clase y el siguiente procedimiento para la evaluación de las direcciones principales.

En el trabajo practico se desarrolla en Matlab y el código junto con los archivos necesarios para este están en el siguiente repositorio https://github.com/cqruiz/Estructuras_2023

```
% Dado un estado de esfuerzo definido por:
%  $\sigma_1=200$  MPa,  $\sigma_2=300$  MPa,  $\sigma_3 = -100$  MPa,
%  $\tau_{12} = 50$  MPa,  $\tau_{13} = -80$  MPa y  $\tau_{23} = 100$  MPa,
% (1) Determina los esfuerzos principales.
% (2) Determina las direcciones de los esfuerzos principales.

clc, clear all;

o1 = 200;
o2 = 300;
o3 = -100;
t12 = 50;
t13 = -80;
t23 = 100;

sigma=([o1,t12,t13];...
       [t12,o2,t23];...
       [t13,t23,o3])

% Calcular autovalores y autovectores los cuales nos dan las tensiones
%principales y las direcciones de dichas tensiones
[A,autovalores, autovectores] = eig(sigma);

% Mostrar resultados
disp('Tensiones Principales:');
disp(autovalores);

disp('Direcciones principales de los esfuerzos:');
disp(autovectores);

%Otra forma de resolverlo es de la siguiente forma:
%Se calculan los tres invariantes y con ello se resuelve ecuación
%característica del tensor

% Calcular los invariantes
inv1 = trace(sigma);
inv2 = 0.5 * (trace(sigma)^2 - trace(sigma^2));
inv3 = det(sigma);

% Mostrar los resultados
disp('Invariante I:');
disp(inv1);

disp('Invariante II:');
disp(inv2);

disp('Invariante III:');
disp(inv3);

%Se calculan las raices de la ecuacion característica de 3er orden
```

```

% Coeficientes de la ecuación cúbica
coeff = [1, -inv1, inv2, -inv3];

% Resolver la ecuación cúbica
tensiones_principales = roots(coeff);

% Mostrar las raíces
disp('Las raíces de la ecuación característica del tensor:');
disp(tensiones_principales);

% Se calculan las direcciones principales a partir de las tensiones
% principales calculadas
n1 = direcciones_principales(o2, o3, tensiones_principales(3), t12, t13, t23)
n2 = direcciones_principales(o2, o3, tensiones_principales(2), t12, t13, t23)
n3 = direcciones_principales(o2, o3, tensiones_principales(1), t12, t13, t23)

disp([n1, n2, n3]);
disp(autovectores);

%% FUNCIONES

%Ejercicio 1
function [nn] = direcciones_principales(oo2, oo3, oop, tt12, tt13, tt23)

    A = -(inv([(oo2-oo3),(tt23)];[(tt23),(oo3-oo2)]))*[tt12; tt13];
    nn = (1/sqrt(1 + (A(1))^2 + (A(2))^2)).*[1; A(1); A(2)];

end

```

Resultados

a)

Tensiones Principales:

-146.7587 215.1155 331.6432

Direcciones principales de los esfuerzos:

0.2508 0.9335 0.2562
 -0.2381 -0.1970 0.9510
 0.9383 -0.2995 0.1729

b)

Invariante I:

400

Invariante II:

-8900

Invariante III:

-10470000

Las raíces de la ecuación característica del tensor:

331.6432
 215.1155
 -146.7587

Direcciones principales a partir del procedimiento

0.2508 0.9335 0.2562

-0.2381 -0.1970 0.9510
0.9383 -0.2995 0.1729

2 EJERCICIO 2

Resolver el Problema 1.12 (pág. 32, [1]) siguiendo los lineamientos del libro (nótese que el problema es algebraico). Considerando las siguientes relaciones geométricas $2R/L = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0$ ¿cómo cambian las direcciones de máxima tensión normal y las direcciones de máxima tensión de corte?

La Figura 1.20 muestra un recipiente cilíndrico sometido a una presión interna p_i , con radio R y espesor t . En cualquier punto de la porción cilíndrica de la pared del recipiente, actúan dos componentes de esfuerzo: el esfuerzo circunferencial $\sigma_h = Rp_i/t$, y el esfuerzo axial, $\sigma_a = Rp_i/(2t)$. El esfuerzo radial, que actúa en la dirección perpendicular a la pared, es muy pequeño $\sigma_r \approx 0$.

- (1) Encuentra la orientación de la cara en la que actúa el máximo esfuerzo directo. ¿Cuál es el valor del máximo esfuerzo directo?
- (2) Encuentra la orientación de la cara en la que actúa el máximo esfuerzo cortante. ¿Cuál es el valor del máximo esfuerzo cortante?

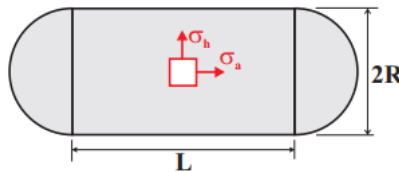


Fig. 1.20. Stresses acting in a pressure vessel.

las direcciones de máxima tensión normal, y las direcciones de máxima tensión de corte no dependen del parámetro $2R/L$.

(1) Considerando los conceptos desarrollados en la teoría, se observa de manera evidente la relación entre las tensiones circunferenciales y axiales en un material. La tensión circunferencial, a veces denominada como Hoop en la literatura, se define mediante la fórmula $\sigma_H = RP/t$, mientras que la tensión axial se expresa como $\sigma_A = RP/2t$. Al comparar ambas tensiones, se destaca claramente que σ_H es igual a 2 veces σ_A , lo que indica que la dirección de la máxima tensión se encuentra en sentido circunferencial.

(2) En cuanto a la máxima tensión de corte, se deduce que esta ocurre a un ángulo de 45° con respecto al eje axial-circunferencial. Esta conclusión se deriva de los desarrollos teóricos y se expresa mediante la fórmula $\tau_{\max} = 0.5[\sigma_1 - \sigma_2]$ o $\tau_{\max} = PR/4t$. Esta máxima tensión de corte representa la mitad de la diferencia entre las dos tensiones principales (σ_1 y σ_2) y se manifiesta de manera óptima cuando se considera un ángulo específico de 45° con respecto a la orientación axial-circunferencial del material.

3 EJERCICIO 3

Resolver el Problema 1.13 (pág. 32, [1]) siguiendo los lineamientos del libro:

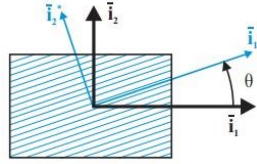


Fig. 1.21. Layer of unidirectional composite material with fiber direction.

```
%% PUNTO 3
%Una capa de material compuesto unidireccional se somete a un estado de esfuerzo
%  $\sigma_1 = 245$  MPa,  $\sigma_2 = -175$  MPa y  $\tau_{12} = 95$  MPa. Como se muestra en la figura 1.21,
% las fibras en la capa de material compuesto unidireccional se orientan en un
% ángulo  $\theta = 25$  grados con respecto al eje  $\{1\}$ .
% (1) Encuentre el esfuerzo directo actuando en la dirección de la fibra.
% (2) Encuentre el esfuerzo directo actuando en la dirección perpendicular a la fibra."

clc, clear all, close all;
imshow('1.21.jpg');
sigma_x = 245;
sigma_y = -175;
tao12 = 95;
theta = 25;

[Sigma_Xi, Sigma_Yi, Tao_XYi] = calcular_esfuerzos(sigma_x, sigma_y, theta, tao12);

disp('El esfuerzo directo actuando en la dirección de la fibra es:');
disp(Sigma_Xi);

disp('el esfuerzo directo actuando en la dirección perpendicular a la fibra es:');
disp(Sigma_Yi);

%% FUNCIONES

function [Sigma_Xi, Sigma_Yi, Tao_XYi] = calcular_esfuerzos(sigma_x, sigma_y, theta, tao12)
% Función para calcular los esfuerzos transformados

    theta_r = deg2rad(theta);

    % Fórmulas para calcular los esfuerzos transformados
    Sigma_Xi = (sigma_x + sigma_y) * 0.5 + (sigma_x - sigma_y) * 0.5 * cos(theta_r * 2) + tao12 * sin(theta_r * 2);
    Sigma_Yi = (sigma_x + sigma_y) * 0.5 - (sigma_x - sigma_y) * 0.5 * cos(theta_r * 2) - tao12 * sin(theta_r * 2);
    Tao_XYi = -(sigma_x - sigma_y) * 0.5 * sin(theta_r * 2) + tao12 * cos(2 * theta_r);
end
```

Resultados

El esfuerzo directo actuando en la dirección de la fibra es:
242.7596 MPa

el esfuerzo directo actuando en la dirección perpendicular a la fibra es:
-172.7596 MPa

Lo interesante de resolver este problema a partir de una función es que podemos cambiar el Angulo "Theta" de giro respecto al sistema de coordenadas y este nos va a calcular los esfuerzo pedidos.

4 EJERCICIO 4

Resolver el Problema 2.7 (pág. 73, [1]) siguiendo los lineamientos del libro. Además considerando que el anillo de confinamiento pretende hacerse de Acero ¿que espesor debería tener este anillo para no fallar antes de que se alcance la fluencia del bloque cilíndrico de aluminio?

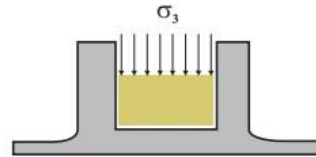


Fig. 2.2. Elastic material sample confined in a rigid circular cylinder.

```
%% PUNTO 4
% Criterio de rendimiento para una muestra cilíndrica confinada
% Considera una muestra de material homogéneo e isótropo con un coeficiente
% de Poisson  $\nu$  y un límite elástico  $\sigma_y$ , confinada en un cilindro rígido,
% como se muestra en la figura 2.2. Se aplica una única componente de
% esfuerzo al material y se asume que no hay fricción entre la muestra y el recinto.
% (1) Encuentra el nivel de esfuerzo  $\sigma_3$  para el cual la muestra cederá como
% función de  $\sigma_y$  y  $\nu$  si el material cumple con el criterio de Tresca. Grafica tus resultados.
% (2) Encuentra el nivel de esfuerzo  $\sigma_3$  para el cual la muestra cederá como
% función de  $\sigma_y$  y  $\nu$  si el material cumple con el criterio de von Mises.
% Grafica tus resultados. Utiliza un rango de coeficientes de Poisson "  $\nu$  " en  $[0, 0.5]$ .
% Además considerando que el anillo de confinamiento pretende hacerse de
% Acero ¿que espesor debería tener este anillo para no fallar antes de que
% se alcance la fluencia del bloque cilíndrico de aluminio?

clc, close all; clear all;
imshow('2.2.jpg');

% A partir de las funciones esfuerzo_maximo_tresca y esfuerzo_maximo_vonmises
% Se calcula el esfuerzo maximo para distintos tipos de aluminio
%Aluminio 1100
% Aluminio 6061
% Aluminio 7075 Uso espacial
% Aluminio 2024

[e33T1100, sigma11T1100, Sigma33T1100] = esfuerzo_maximo_tresca(0.33, 68000, 55); %Aluminio
1100
[e33T6061, sigma11T6061, Sigma33T6061] = esfuerzo_maximo_tresca(0.33, 69000, 276); % Aluminio
6061
[e33T7075, sigma11T7075, Sigma33T7075] = esfuerzo_maximo_tresca(0.33, 71000, 503); % Aluminio
7075 Uso espacial
[e33T2024, sigma11T2024, Sigma33T2024] = esfuerzo_maximo_tresca(0.33, 73000, 324); % Aluminio
2024

[e33V1100, sigma11V1100, Sigma33V1100] = esfuerzo_maximo_vonmises(0.33, 68000, 55); %Aluminio
1100
[e33V6061, sigma11V6061, Sigma33V6061] = esfuerzo_maximo_vonmises(0.33, 69000, 276); %
Aluminio 6061
[e33V7075, sigma11V7075, Sigma33V7075] = esfuerzo_maximo_vonmises(0.33, 71000, 503); %
Aluminio 7075 Uso espacial
[e33V2024, sigma11V2024, Sigma33V2024] = esfuerzo_maximo_vonmises(0.33, 73000, 324); %
Aluminio 2024
```

```
paso = 100;

E1min = 50000;
E1max = 80000;

V1min = 0.001;
V1max = 0.499;

SYmin = 40;
SYmax = 800;

E1 = E1min : (E1max-E1min)/(paso-1) : E1max;
V1 = V1min : (V1max-V1min)/(paso-1) : V1max;
SY = SYmin : (SYmax-SYmin)/(paso-1) : SYmax;

t1100=zeros(paso , paso);
v1100=zeros(paso , paso);

for i = 1:size(E1,2)
    for j = 1:size(V1,2)

        %Tresca
        [e33T, sigma11T, Sig33T] = esfuerzo_maximo_tresca(V1(j) , E1(i) , 503);

        t1100(i,j)=Sig33T;

        %von misses
        [e33V, sigma11V, Sig33V] = esfuerzo_maximo_vonmisses(V1(j) , E1(i) , 503); %Aluminio 7075

        v1100(i,j)=Sig33V;

    end
end

figure;
surf(V1, E1 ,t1100, 'EdgeColor', 'none');
grid on;
title('Tensión Máxima en funcion de Poisson y el Modulo Elastico (oy = 503), Tresca');
xlabel('Poisson');
ylabel('Modulo Elástico');
zlabel('Tensión Máxima');
colorbar; % Mostrar barra de colores

figure;
surf(V1, E1 ,v1100, 'EdgeColor', 'none');
grid on;
title('Tensión Máxima en funcion de Poisson y el Modulo Elastico (oy = 503), Von Misses');
xlabel('Poisson');
ylabel('Modulo Elástico');
zlabel('Tensión Máxima');
colorbar; % Mostrar barra de colores

for i = 1:size(SY,2)
    for j = 1:size(V1,2)

        %Tresca
        [e33T, sigma11T, Sig33T] = esfuerzo_maximo_tresca(V1(j) , 71000 , SY(i));

        t1100(i,j)=Sig33T;

        %von misses
```

```

[e33V, sigma11V, Sig33V] = esfuerzo_maximo_vonmiseses(V1(j) , 71000 , SY(i)); %Aluminio
7075

v1100(i,j)=Sig33V;

end
end

[e33V, sigma11V, Sig33V] = esfuerzo_maximo_vonmiseses(0.136818 , 71000 , 62.6263)

figure;
surf( V1, SY, t1100, 'EdgeColor', 'none')
grid on;
title('Tensión Máxima en funcion de Poisson y la tension de fluencia (E = 71000), Tresca');
xlabel('Poisson');
ylabel('Tensión de Fluencia');
zlabel('Tensión Máxima');
colorbar; % Mostrar barra de colores

figure;
surf(V1, SY ,v1100, 'EdgeColor', 'none');
grid on;
title('Tensión Máxima en funcion de Poisson y la tension de fluencia (E = 71000), Von Misses');
xlabel('Poisson');
ylabel('Tensión de Fluencia');
zlabel('Tensión Máxima');
colorbar; % Mostrar barra de colores

% Punto C
% Para realizar este punto se tiene en cuenta las ecuaciones para un
% cilindro de pared gruesa al cual se le estima un radio de 30 cm y
% teniendo en cuenta la tension de fluencia del acerp A36
% Fuente: https://engineeringlibrary.org/reference/thick-pressure-vessels-air-force-stress-manual

sigmaSteel = 250; %Tension de fluencia del acero A36 (ASTM A36)
a = 0.30; %Radio Interno
b = 0.26:0.01:1.5; %Radio Externo
Pi = zeros(size(b));

for i=1:size(b,2)
    Pi(i) = sigmaSteel * (b(i)^2-a^2) / (2 * b(i)^2);
end

%wSe grafica la tension maxima interna en funcion del radio externo.
figure;
plot(b,Pi);
grid on;
title('Tensión Máxima Interna en funcion en función del radio externo');
xlabel('Radio Externo');
ylabel('Tensión Máxima Interna');

%% FUNCIONES

function [e33, sigma11, Sigma33] = esfuerzo_maximo_vonmiseses(poisson, E, Sigma_Y)
% Función para realizar cálculos iterativos hasta que la relación von Mises sea igual o mayor
a 1
    %E modulo elastico
    %SigmaY Tension de Fluencia
    %Sigma33 Tension en la direccion Z o 3
    %e33 Deformacion
    %sigma11 Tension en la direccion x o 1
    %vonmiseses Criterio de fallo Tension equivalente<= SigmaY
    %ratio_vonmiseses_SigY

```



```
% Inicialización de variables
Sigma33 = 1;
vmratio = 0;

% Bucle While: Continúa hasta que la relación von Mises sea igual o mayor a 1
while vmratio < 1
    % Cálculo de la deformación axial (e33) usando la fórmula de deformación uniaxial
    e33 = (Sigma33 * (1 + poisson) * (1 - 2 * poisson)) / (E * (1 - poisson));

    % Cálculo del esfuerzo axial (sigma11) usando la ley de Hooke
    sigma11 = (E * poisson * e33) / ((1 + poisson) * (1 - 2 * poisson));

    % Cálculo del criterio de von Miseses
    vonmiseses = sqrt((Sigma33 - sigma11)^2 + (sigma11 + Sigma33)^2);

    % Cálculo de la relación von Miseses / límite de fluencia
    vmratio = vonmiseses / Sigma_Y;

    % Incremento gradual de Sigma33 en cada iteración
    Sigma33 = Sigma33 + 0.05;
end

end

function [e33, sigma11, sigma33] = esfuerzo_maximo_tresca(poisson, E, Sigma_Y)
    % Función para realizar cálculos iterativos hasta que la relación tresca sea igual o mayor a 1
    1
    %E modulo elastico
    %SigmaY Tension de Fluencia
    %Sigma33 Tension en la direccion Z o 3
    %e33 Deformacion
    %sigma11 Tension en la direccion x o 1
    %vonmiseses Criterio de fallo Tension equivalente<= SigmaY
    %ratio_vonmiseses_SigY

    % Inicialización de variables
    sigma33 = 1;
    tresca = 0;

    % Bucle While: Continúa hasta que la relación von Mises sea igual o mayor a 1
    while tresca < 1
        % Cálculo de la deformación axial (e33) usando la fórmula de deformación uniaxial
        e33 = (sigma33 * (1 + poisson) * (1 - 2 * poisson)) / (E * (1 - poisson));

        % Cálculo del esfuerzo axial (sigma11) usando la ley de Hooke
        sigma11 = (E * poisson * e33) / ((1 + poisson) * (1 - 2 * poisson));

        % Cálculo del criterio Tresca
        sum = sigma33 + sigma11;

        % Cálculo de la relación von Miseses / límite de fluencia
        tresca = sum / Sigma_Y;

        % Incremento gradual de Sigma33 en cada iteración
        sigma33 = sigma33 + 0.05;
    end

end

end
```

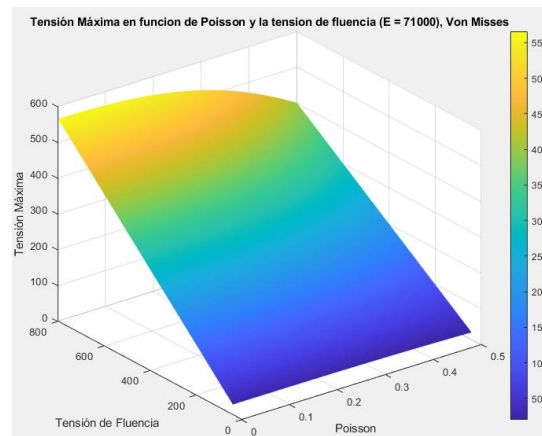
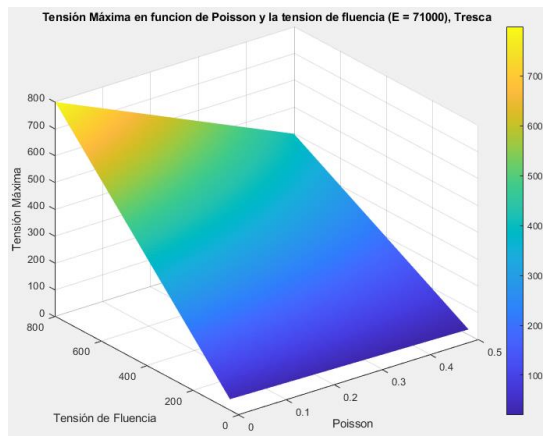
Resultados

(1)(2)

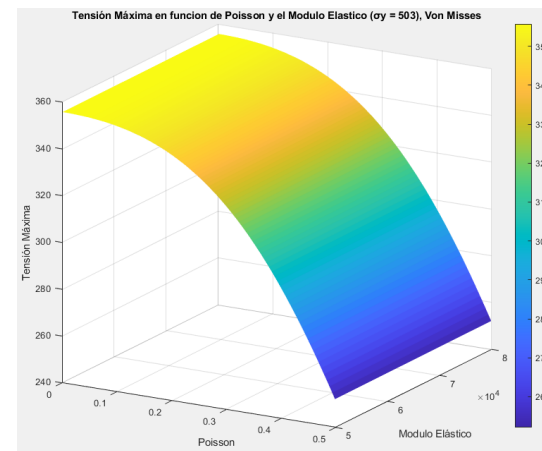
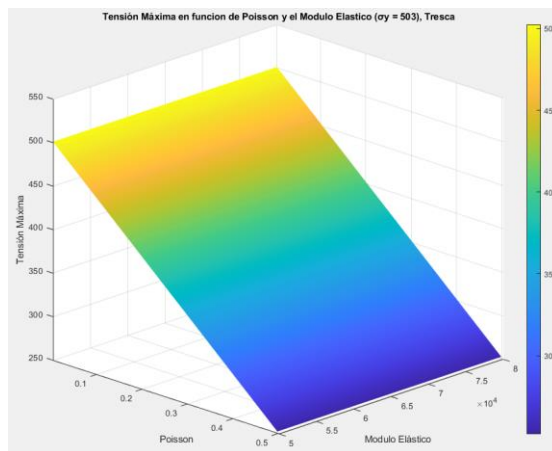
En la siguiente tabla se condensan los resultados de los distintos tipos de aluminio evaluado en donde se muestra el nivel de esfuerzo σ_3 para el cual la muestra cederá.

	Aluminio 1100		Aluminio 6061		Aluminio 7075		Aluminio 2024	
Poisson	0.33		0.33		0.33		0.33	
E [GPa]	68000		69000		71000		73000	
Gy [Mpa]	55		276		503		324	
G33MAX [Mpa] VM/TR	34.9500	36.9000	175.1500	185.0000	319.1500	337.1000	205.6000	217.1500
G11Max [Mpa] VM/TR	17.1895	18.1500	86.2432	91.0947	157.168	166.0097	101.2410	106.9298

Se grafica entonces los resultados de σ_3 para el cual la muestra cederá en función de poisson y la tensión de fluencia con los dos criterios (tresca y von misses)



Por otro lado, como ejercicio personal se graficó los resultados de σ_3 para el cual la muestra cederá en función de poisson y el módulo elástico con los dos criterios (tresca y von misses).



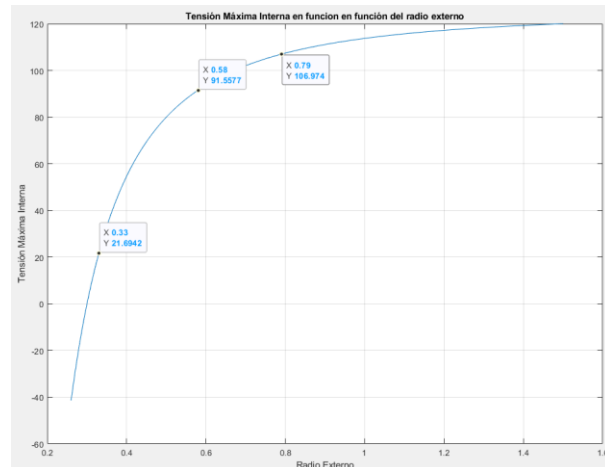
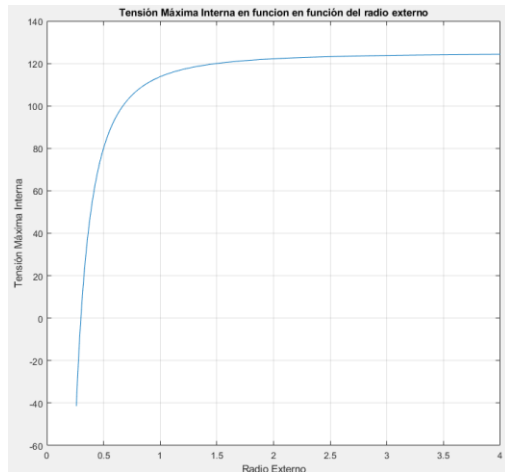
(3)

Si consideramos que el anillo de confinamiento pretende hacerse de Acero siguiendo las ecuaciones mostradas en:

<https://engineeringlibrary.org/reference/thick-pressure-vessels-air-force-stress-manual>

para un cilindro de pared gruesa con presión interna solamente.

Debemos entonces escoger un radio interno arbitrario para nuestro caso $a=0.30\text{m}$ y graficar la tensión máxima interna en función del radio externo.



La grafica de la derecha es solo un zoom de la grafica izquierda, y lo primero que notamos es que hay una cota de $0.5 \times$ la tensión de fluencia del acero cuando el grosor se vuelve muy grande.

Pregunta: ¿Cómo se explica esto? ¿Es posible que sea una limitación del modelo usado?

Ahora bien:

Si consideramos las tensiones G11 máximas y utilizamos el modelo tenemos que:

	Aluminio 1100		Aluminio 6061		Aluminio 7075		Aluminio 2024	
G11Max [Mpa] / Espesor (cm)	18.1500	3	91.0947	28	166.0097	NAN	106.9298	49

5 EJERCICIO 5

Reproducir el Ejemplo 2.3 (pág. 98, [1]) el cual ha sido realizado para un compuesto T300/5208 (Tabla 2.9, pág. 95, [1]) y realizar el mismo procedimiento para el resto de materiales en la misma tabla. Comparar gráficamente.

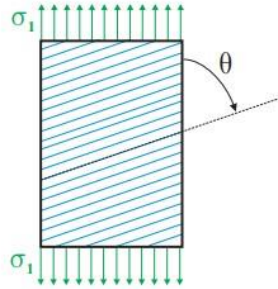


Fig. 2.28. Strength test for a lamina at an angle θ .

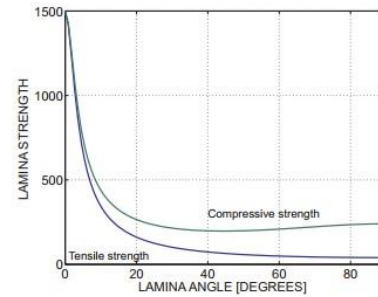


Fig. 2.29. Variation of the tensile and compressive failure loads with lamina angle θ .

Table 2.9. Typical failure stresses for lamina made of different materials.

Material system	σ_{1t}^{*f} [MPa]	σ_{1c}^{*f} [MPa]	σ_{2t}^{*f} [MPa]	σ_{1c}^{*f} [MPa]	τ_{12}^{*f} [MPa]
Graphite/Epoxy (T300/5208)	1500	1500	40	240	68
Graphite/Epoxy (AS/3501)	1450	1450	52	205	93
Boron/Epoxy (T300/5208)	1260	2500	61	202	67
Scotchply (1002)	1060	610	31	118	72
Kevlar 49	1400	235	12	53	34

```

%% PUNTO 5
% considere la sencilla prueba mostrada en la figura 2.28. Se aplica un solo
% componente de esfuerzo,  $\sigma_1$ , a una lámina con fibras dispuestas en un ángulo  $\theta$ .
% La fórmula de rotación de esfuerzos (1.47) proporciona los esfuerzos aplicados
% en la triada alineada con las fibras como
%  $\sigma_1 = \sigma_1 \cos^2 \theta$ 
%  $\sigma_2 = \sigma_1 \sin^2 \theta$  y
%  $\tau_{12} = -\sigma_1 \cos \theta \sin \theta$ .
% El nivel de esfuerzo aplicado que corresponde al fallo satisface el
% criterio de fallo 2.97, es decir,...
% Esta ecuación de segundo orden puede resolverse para encontrar la carga de fallo.
% Las dos soluciones corresponden a las cargas de fallo en tracción y compresión.
% La Figura 2.29 muestra el valor absoluto de estas cargas de fallo en función
% del ángulo de la lámina  $\theta$  para los materiales Grafito/Epoxi (T300/5208) cuyas
% propiedades se proporcionan en la tabla 2.9. Observa la caída abrupta en la
% resistencia a medida que el ángulo de la lámina se aleja de  $\theta$  grados.

```

```

clc, close all; clear all;
subplot(1, 2, 1);
imshow('2.28.jpg');
subplot(1, 2, 2);
imshow('2.29.jpg');
figure
imshow('2.9.jpg');

```

```
theta = 0.01:0.1:90;
```

```
compressive_1 = zeros(size(theta)); %Graphite/Epoxy (T300/5208)
tensile_1 = zeros(size(theta));

compressive_2 = zeros(size(theta)); %Graphite/Epoxy (AS/3501)
tensile_2 = zeros(size(theta));

compressive_3 = zeros(size(theta)); %Boron/Epoxy (T300/5208)
tensile_3 = zeros(size(theta));

compressive_4 = zeros(size(theta)); %Scotchply (1002)
tensile_4 = zeros(size(theta));

compressive_5 = zeros(size(theta)); %Kevlar 49
tensile_5 = zeros(size(theta));

for i = 1:size(theta,2)

[compressive_1(i), tensile_1(i)] = TsaiWu_failure (1500, 1500, 40, 240, 68,theta(i));
%Graphite/Epoxy T300/5208
[compressive_2(i), tensile_2(i)] = TsaiWu_failure (1450, 1450, 52, 205, 93,theta(i));
%Graphite/Epoxy AS/3501
[compressive_3(i), tensile_3(i)] = TsaiWu_failure (1260, 2500, 61, 202, 67,theta(i));
%Boron/EpoxyT300/5208
[compressive_4(i), tensile_4(i)] = TsaiWu_failure (1060, 610, 31, 118, 72,theta(i));
%Scotchply1002
[compressive_5(i), tensile_5(i)] = TsaiWu_failure (1400, 235, 12, 53, 34,theta(i)); %Kevlar 49

end

fig = figure; hold on
plot(theta, -compressive_1,'LineWidth', 2,'DisplayName', 'Compressive strength');
plot(theta, tensile_1, 'LineWidth', 2,'DisplayName', 'Compressive strength');
ylabel('LAMINA STRENGTH');
xlabel('LAMINA ANGLE [DEGREES]');
title('Variation of the tensile and compressive failure loads with lamina angle  $\theta$ , Graphite/Epoxy (T300/5208)');
legend('show');
grid on
hold off

figure; hold on
plot(theta, -compressive_2, 'LineWidth', 2,'DisplayName', 'Compressive strength');
plot(theta, tensile_2, 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Tensile strength');
ylabel('LAMINA STRENGTH');
xlabel('LAMINA ANGLE [DEGREES]');
title('Variation of the tensile and compressive failure loads with lamina angle  $\theta$ , Graphite/Epoxy AS/3501');
legend('show');
grid on
hold off

figure; hold on
plot(theta, -compressive_3, 'LineWidth', 2,'DisplayName', 'Compressive strength');
plot(theta, tensile_3, 'LineWidth', 2,'DisplayName', 'Compressive strength');
ylabel('LAMINA STRENGTH');
xlabel('LAMINA ANGLE [DEGREES]');
title('Variation of the tensile and compressive failure loads with lamina angle  $\theta$ , Boron/Epoxy (T300/5208)');
legend('show');
grid on
hold off

figure; hold on
plot(theta, -(compressive_4), 'LineWidth', 2,'DisplayName', 'Compressive strength');
plot(theta, (tensile_4), 'LineWidth', 2,'DisplayName', 'Compressive strength');
```

```

ylabel('LAMINA STRENGTH');
xlabel('LAMINA ANGLE [DEGREES]');
title('Variation of the tensile and compressive failure loads with lamina angle  $\theta$ ,
Scotchply1002');
legend('show');
grid on
hold off

figure; hold on
plot(theta, -(compressive_5), 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Compressive strength');
plot(theta, (tensile_5), 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Compressive strength');
ylabel('LAMINA STRENGTH');
xlabel('LAMINA ANGLE [DEGREES]');
title('Variation of the tensile and compressive failure loads with lamina angle  $\theta$ , Kevlar 49');
legend('show');
grid on
hold off

figure; hold on
plot(theta, (tensile_1), 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Graphite/Epoxy (T300/5208)');
plot(theta, (tensile_2), 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Graphite/Epoxy (AS/3501)');
plot(theta, (tensile_3), 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Boron/Epoxy (T300/5208)');
plot(theta, (tensile_4), 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Scotchply (1002)');
plot(theta, (tensile_5), 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Kevlar 49');
ylabel('LAMINA STRENGTH');
xlabel('LAMINA ANGLE [DEGREES]');
title('Variation of the tensile failure loads with lamina angle  $\theta$ .');
legend('show');
grid on
hold off

figure; hold on
plot(theta, -(compressive_1), 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Graphite/Epoxy (T300/5208)');
plot(theta, -(compressive_2), 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Graphite/Epoxy (AS/3501)');
plot(theta, -(compressive_3), 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Boron/Epoxy (T300/5208)');
plot(theta, -(compressive_4), 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Scotchply (1002)');
plot(theta, -(compressive_5), 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Kevlar 49');
ylabel('LAMINA STRENGTH');
xlabel('LAMINA ANGLE [DEGREES]');
title('Variation of the compressive failure loads with lamina angle  $\theta$ .');
legend('show');
grid on
hold off

%% FUNCIONES

function [compressive, tensile] = TsaiWu_failure (o1t,o1c,o2t,o2c,t12,theta)

rad = deg2rad(theta);
F1 = (o1c - o1t)/sqrt(o1t*o1c);
F2 = (o2c - o2t)/sqrt(o2t*o2c);

a = ((cos(rad)^4)/(o1t*o1c)) - ((sin(rad)^2*cos(rad)^2)/sqrt(o1t*o1c*o2t*o2c)) +
((sin(rad)^4)/(o2t*o2c)) + ((sin(rad)^2*cos(rad)^2)/t12^2);
b = ((F1*cos(rad)^2)/sqrt(o1t*o1c)) + ((F2*sin(rad)^2)/sqrt(o2t*o2c));
c = -1;

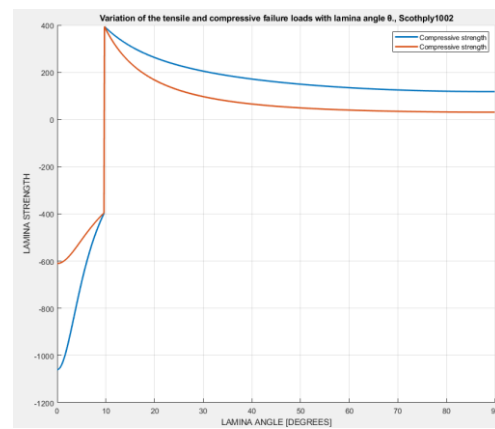
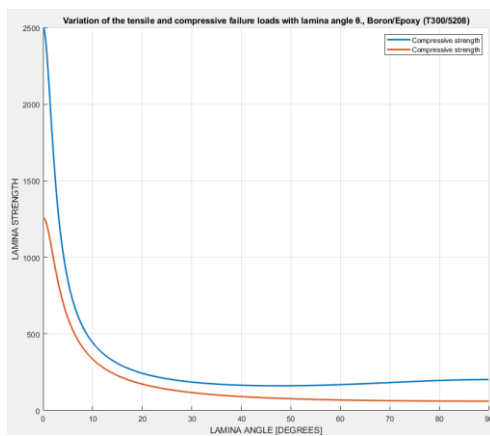
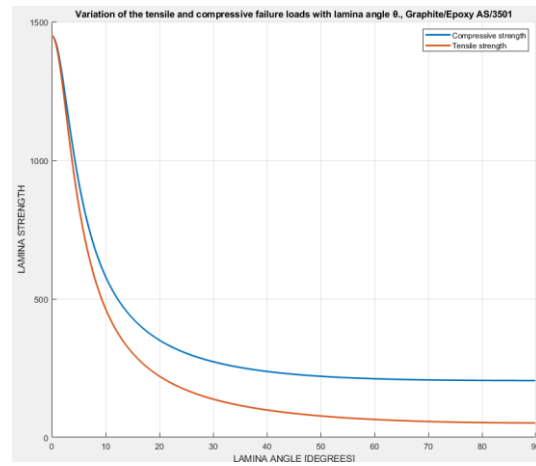
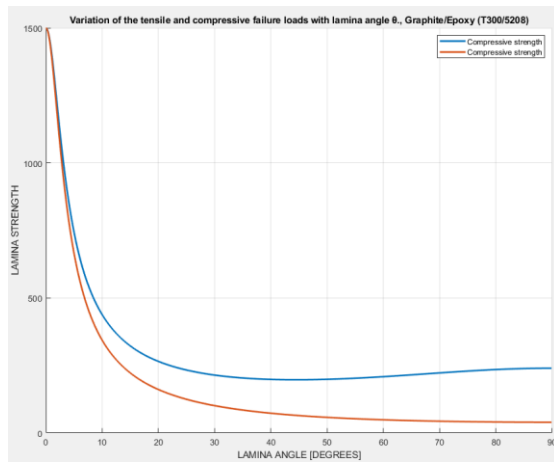
p = [a b c];
r = roots(p);

compressive=r(1);
tensile = r(2);

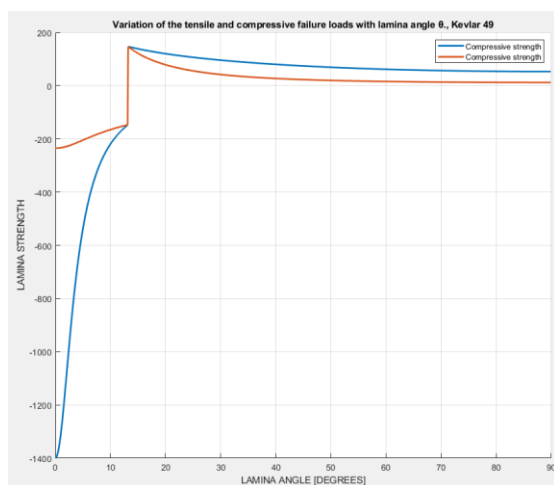
end

```

Resultados



Se Observa comportamiento anormalo



Se Observa comportamiento anormalo

