



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

PME-3211 – Mecânica dos Sólidos II

Aula #13

Prof. Dr. Clóvis de Arruda Martins

30/09/2025



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Extensômetro



Função:

Medir o alongamento em uma direção

Princípio de funcionamento:

Resistência elétrica que varia com o alongamento

Aplica-se uma diferença de potencial e mede-se a variação de resistência causada pelo alongamento usando o princípio da ponte de *Wheatstone*

Por meio de uma curva de calibração obtém-se o valor do alongamento

O extensômetro deve ser colado rigidamente à superfície, para que o alongamento do extensômetro seja o mesmo da superfície



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo ***Departamento de Engenharia Mecânica***

Extensômetro

Diversos tipos



Strain Gauge Bf350-3aa Extensômetro
Transdutor + Fio

R\$ 19⁹⁰
em 4x R\$ 5⁵⁶

Chegará hoje



KFH-D17 Series

R\$ 3.300,00

| Saiba mais

Strain Gages com Fios
Soldados, Lineares,
Rosetas Planas X-Y
(Roseta T), Rosetas
Planas 0°/45°/90°

Escolha depende de:

- Precisão requerida
- Nível de alongamento
- Temperatura



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Extensômetro

Exemplo de aplicação

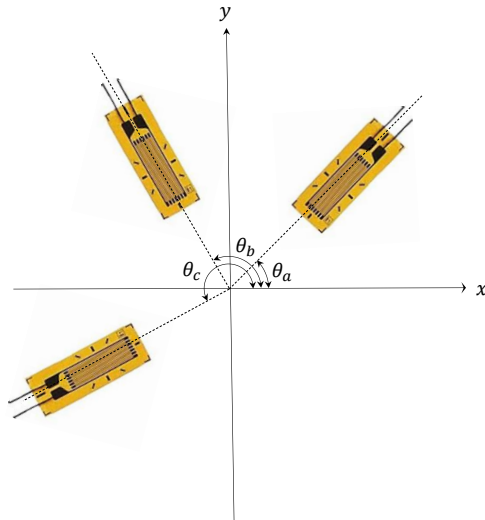


Medição do alongamento em tensões da armadura de tração de um tubo flexível para produção de petróleo *offshore*



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Roseta



Três extensômetros não-alinhados

Compra-se, no mercado a roseta já integrada:

SGD-2/350-RY51



Rectangular Stacked Grid 3-element Strain Gage
Rosette

R\$2.480,00 SGD-2/350-RY51

[VER MODELOS E PREÇOS](#)

- Conveniently Priced per Pack of 5
- Very Flexible, Mechanically Strong
- Small Bending Radius
- Broad Temperature Range
- Affix with Cold or Hot Curing Adhesives

**Medidores de Deformação Mecânica - Ver
Produtos Relacionados**



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Roseta

Exemplo de aplicação:



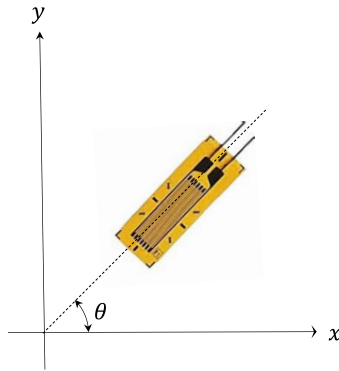
Medição do estado de deformação em uma mangueira em aço duplex de um cabo umbilical para controle eletro-hidráulico de poços de produção de petróleo *offshore*



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Mecânica

Extensômetro colado a um ângulo θ :

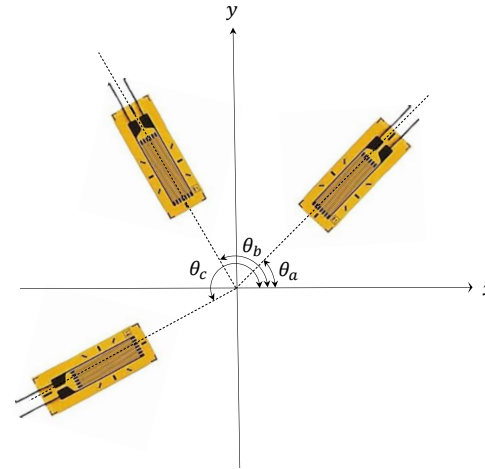


$$[E] = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{xy} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \varepsilon_y \end{bmatrix} \quad \vec{n} = \begin{Bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{Bmatrix}$$

$$\varepsilon(\vec{n}) = E[\vec{n}] \cdot \vec{n}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_x \cos^2 \theta + \varepsilon_y \sin^2 \theta + \gamma_{xy} \sin \theta \cos \theta$$

Roseta:



$$\begin{cases} \varepsilon_a = \varepsilon_x \cos^2 \theta_a + \varepsilon_y \sin^2 \theta_a + \gamma_{xy} \sin \theta_a \cos \theta_a \\ \varepsilon_b = \varepsilon_x \cos^2 \theta_b + \varepsilon_y \sin^2 \theta_b + \gamma_{xy} \sin \theta_b \cos \theta_b \\ \varepsilon_c = \varepsilon_x \cos^2 \theta_c + \varepsilon_y \sin^2 \theta_c + \gamma_{xy} \sin \theta_c \cos \theta_c \end{cases}$$

A partir das leituras dos extensômetros calculamos as componentes do tensor das pequenas deformações no plano

Se os extensômetros não forem alinhados este sistema de equações algébricas lineares terá solução única.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

$$\begin{cases} \varepsilon_a = \varepsilon_x \cos^2 \theta_a + \varepsilon_y \sin^2 \theta_a + \gamma_{xy} \sin \theta_a \cos \theta_a \\ \varepsilon_b = \varepsilon_x \cos^2 \theta_b + \varepsilon_y \sin^2 \theta_b + \gamma_{xy} \sin \theta_b \cos \theta_b \\ \varepsilon_c = \varepsilon_x \cos^2 \theta_c + \varepsilon_y \sin^2 \theta_c + \gamma_{xy} \sin \theta_c \cos \theta_c \end{cases}$$

Exercício 1: Resolver o sistema para uma roseta a 45°

$$\begin{array}{ll} \theta_a = 0^\circ & \varepsilon_x = \varepsilon_a \\ \theta_b = 45^\circ & \varepsilon_y = \varepsilon_c \\ \theta_c = 90^\circ & \gamma_{xy} = 2\varepsilon_b - (\varepsilon_a + \varepsilon_c) \end{array}$$

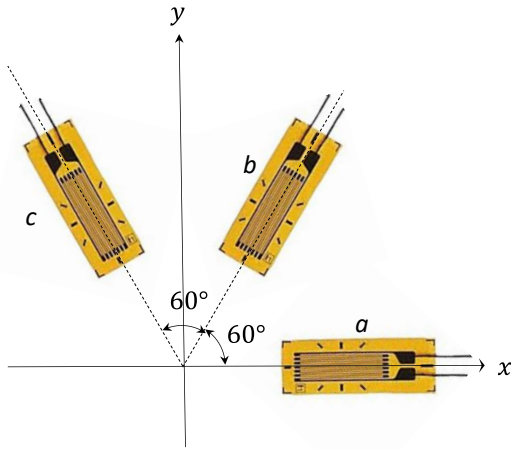
Exercício 2: Resolver o sistema para uma roseta a 60°

$$\begin{array}{ll} \theta_a = 0^\circ & \varepsilon_x = \varepsilon_a \\ \theta_b = 60^\circ & \varepsilon_y = \frac{1}{3}(2\varepsilon_b + 2\varepsilon_c - \varepsilon_a) \\ \theta_c = 120^\circ & \gamma_{xy} = \frac{2\sqrt{3}}{3}(\varepsilon_b - \varepsilon_c) \end{array}$$



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Exercício



O estado de tensão de uma peça é medido com o auxílio de uma roseta a 60° . Devido às cargas aplicadas, as leituras obtidas são:

$$\varepsilon_a = 60\mu \quad \varepsilon_b = 135\mu \quad \varepsilon_c = 264\mu$$

Determinar as deformações principais no plano da roseta e as direções que elas atuam.

$$\varepsilon_x = 60\mu$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{3}(2 \times 135 + 2 \times 264 - 60)\mu = 246\mu$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2}{\sqrt{3}}(135 - 264)\mu = -149\mu$$

$$[E] = \begin{bmatrix} 60 & -74 \\ -74 & 246 \end{bmatrix} \mu$$

$$\varepsilon_1 = 271\mu$$

$$\varepsilon_2 = 35\mu$$

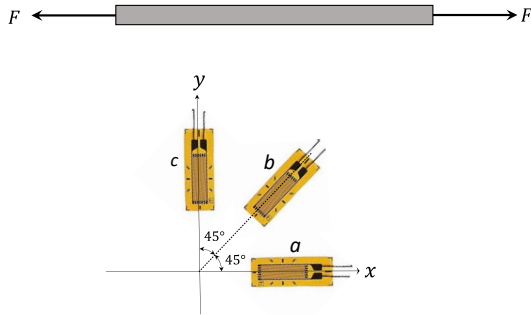
$$\vec{n}_1 = \begin{Bmatrix} 0,33 \\ -0,94 \end{Bmatrix}$$

$$\vec{n}_2 = \begin{Bmatrix} 0,94 \\ 0,33 \end{Bmatrix}$$



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Exercício



A barra da figura é prismática e tem seção circular com diâmetro $d = 20\text{mm}$. À sua superfície é colada uma roseta com extensômetros a 45° , de forma que a direção x coincida com a direção do eixo da barra. Quando é aplicada uma força de tração $F = 15\text{kN}$, as leituras dos extensômetros a e c são, respectivamente, $\varepsilon_a = 700\mu$ e $\varepsilon_c = -250\mu$. Pergunta-se:

- a) qual é o módulo de elasticidade do material?
- b) qual é o coeficiente de Poisson do material?
- c) qual é a leitura do extensômetro b , ε_b ?

a)

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] = \varepsilon_a$$

$$\sigma_y = 0 \text{ e } \sigma_z = 0 \Rightarrow \varepsilon_a = \frac{\sigma_x}{E} \Rightarrow E = \frac{\sigma_x}{\varepsilon_a}$$

$$\sigma_x = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d^2}$$

$$\Rightarrow E = \frac{4F}{\pi d^2 \varepsilon_a} = 68,2\text{GPa}$$

b)

$$\varepsilon_y = -\frac{\nu}{E} \sigma_x$$

$$\Rightarrow \nu = -\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_a} = 0,36$$

c)

$$\gamma_{xy} = 2\varepsilon_b - (\varepsilon_a + \varepsilon_c)$$

$$\tau_{xy} = 0 \Rightarrow \gamma_{xy} = 0$$

$$\Rightarrow \varepsilon_b = \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_c}{2} = 225\mu$$



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Referência

Martins, C.A. *Introdução ao Estudo das Deformações*. Disponível no Moodle