

Actas de la III Jornada Iberoamericana sobre madera estructural del género *Populus*

## **2.7. Aplicación del método Hole drilling a la madera estructural.**

**Autores:** Santiago Sánchez Beitia

**Contacto:** santiago.sanchez@ehu.es

**Afiliaciones:** E.T.S. de Arquitectura. Universidad del País Vasco.



## **LA TÉCNICA HOLE-DRILLING EN ELEMENTOS PORTANTES DE MADERA EN SERVICIO**

**Santiago Sánchez Beitia**

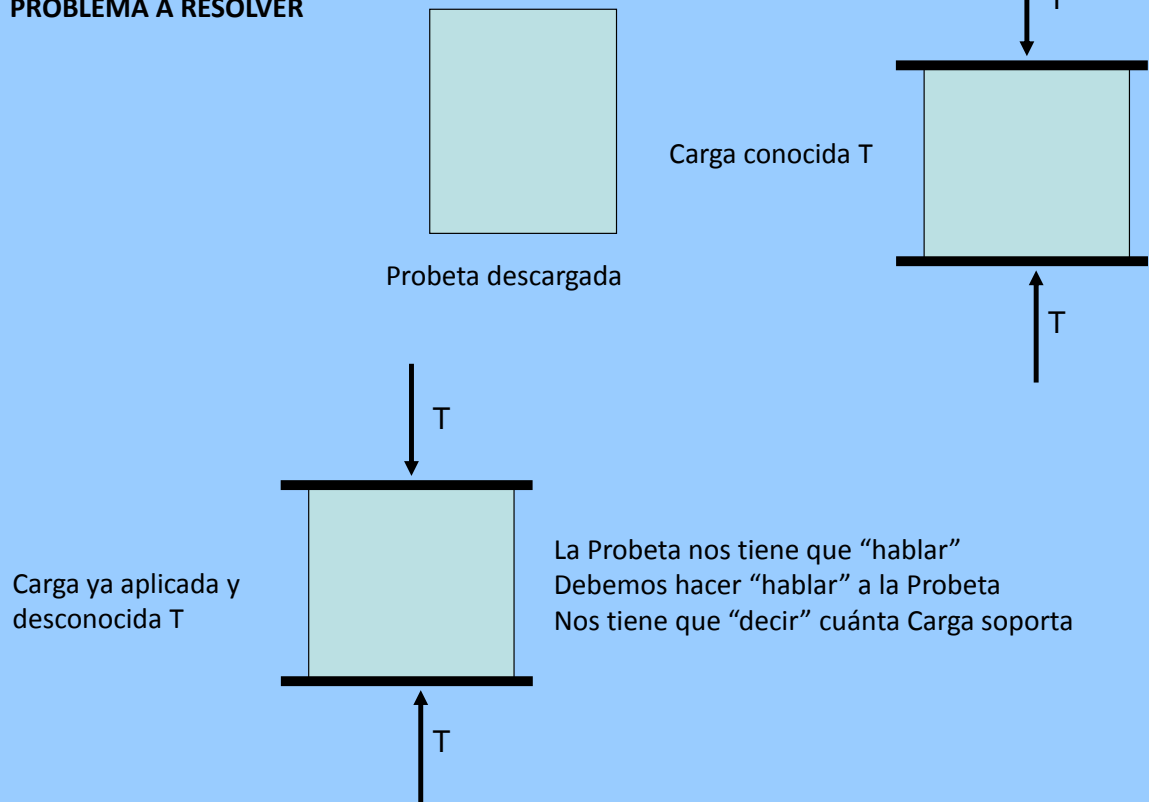
- **Responsable del Master de Rehabilitación y Restauración**
- **Responsable del Programa de Doctorado Interuniversitario de Patrimonio y Rehabilitación**

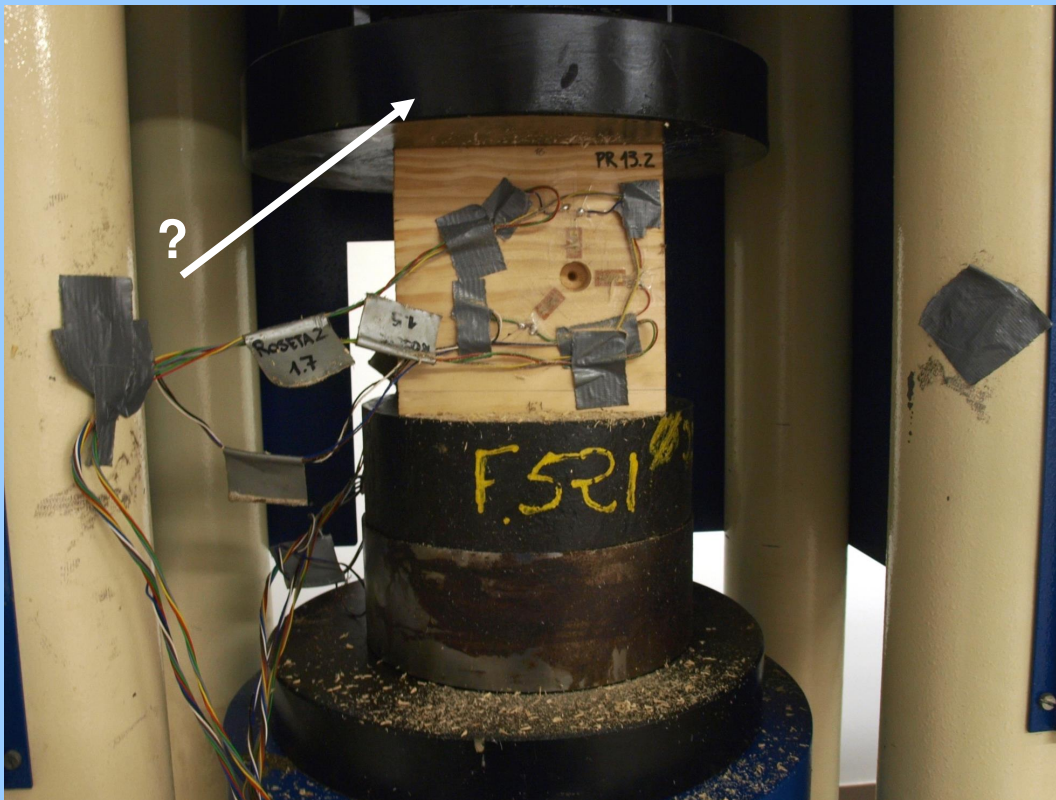
**E.T.S. de Arquitectura de Donostia-San Sebastián  
UPV/EHU**

### **OBJETIVO DE LOS TRABAJOS**

**Poder deducir in situ los estados tensionales de  
elementos portantes de madera, mediante técnicas  
No Destructivas o Quasi No destructivas**

**PROBLEMA A RESOLVER**





## Objetivo de nuestra Trayectoria:

Deducir estados de carga en elementos portantes en servicio

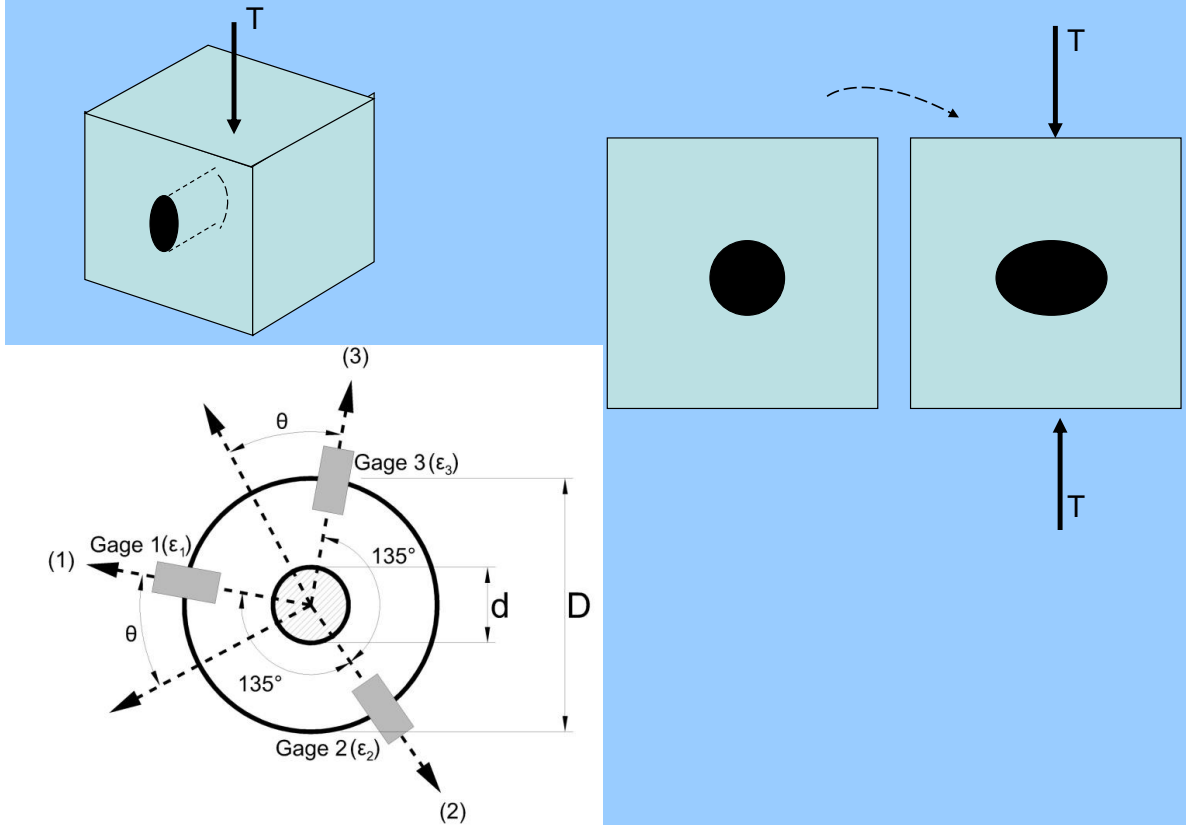
## Técnicas Existentes:

Difracción de Rayos-X para materiales metálicos

Hole Drilling para Fábricas y próximamente en Madera

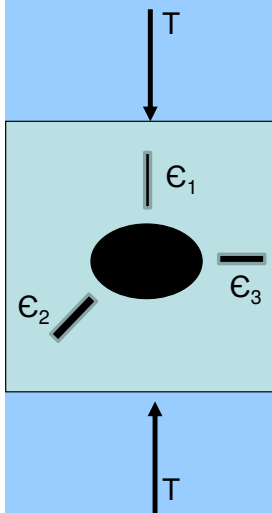
Flat Jacks para Fábricas

## Fundamentos de la Técnica de Hole Drilling: Eliminación de material





**Formulación (ASTM E837 95)**



$$\sigma_{max} = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_3}{A} - \frac{\sqrt{(\epsilon_3 - \epsilon_1)^2 + (\epsilon_3 + \epsilon_1 - 2\epsilon_2)^2}}{B}$$

$$\sigma_{min} = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_3}{A} + \frac{\sqrt{(\epsilon_3 - \epsilon_1)^2 + (\epsilon_3 + \epsilon_1 - 2\epsilon_2)^2}}{B}$$

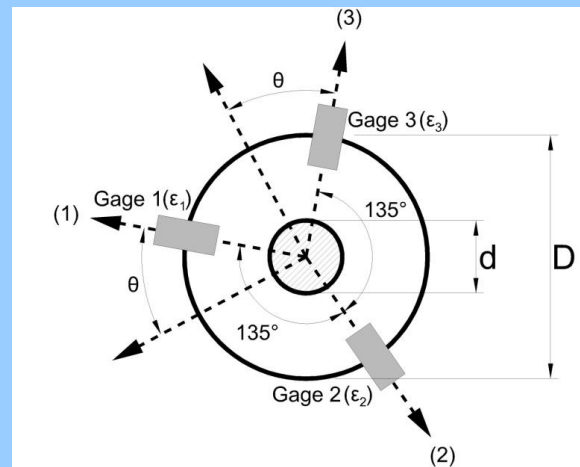
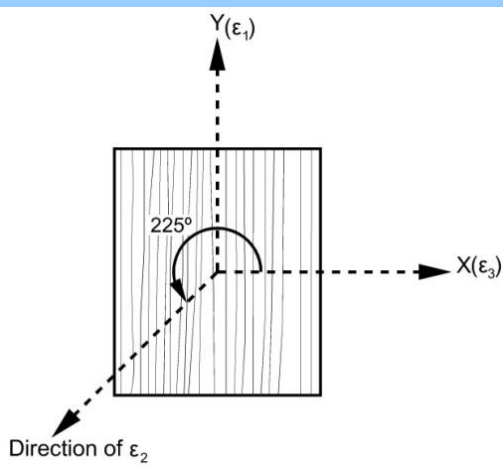
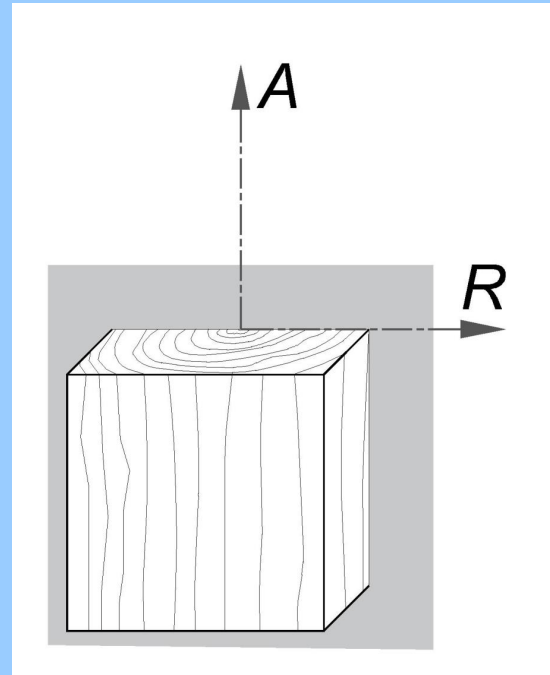
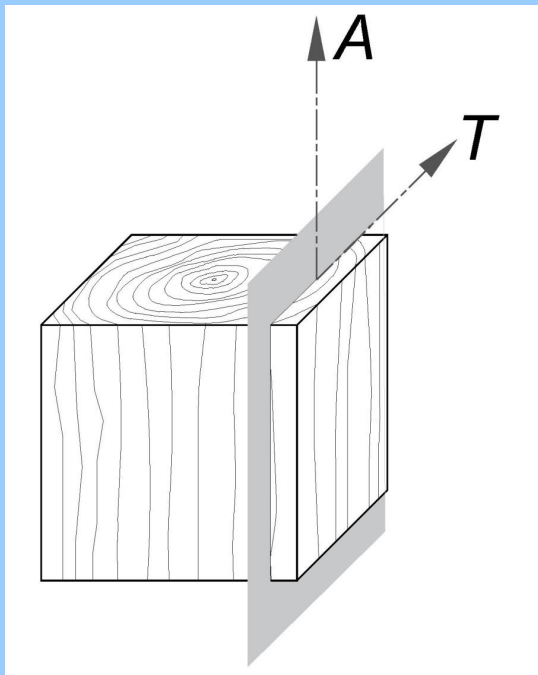
$$\beta = \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{\epsilon_3 + \epsilon_1 - 2\epsilon_2}{\epsilon_3 - \epsilon_1} \right)$$

$$A = -4 \left( \frac{1+\nu}{2E} \right) a$$

$$B = -4 \left( \frac{1}{2E} \right) b$$

**Estado plano de tensiones en continuo, homogéneo e isótropo**

## El problema de la madera: Comportamiento ortotrópico



$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_y \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_x \end{pmatrix} = \sqrt{E_x E_y} \begin{pmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \end{pmatrix}$$

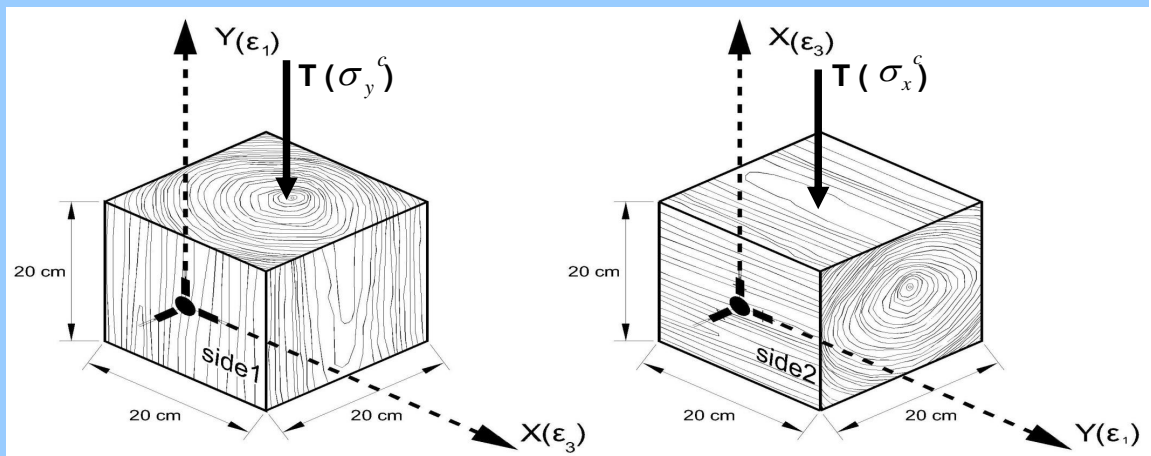
Desconocido

Conocido

Deducido experimentalmente. Nos habla la probeta iiiiii



## ENSAYOS A COMPRESIÓN UNIAxIAL



$$c_{11} \sigma_y^c = \sqrt{E_x E_y} \varepsilon_1$$

$$c_{31} \sigma_y^c = \sqrt{E_x E_y} \varepsilon_3$$

$$c_{21} \sigma_y^c = \sqrt{E_x E_y} \varepsilon_2$$

$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{pmatrix}$$

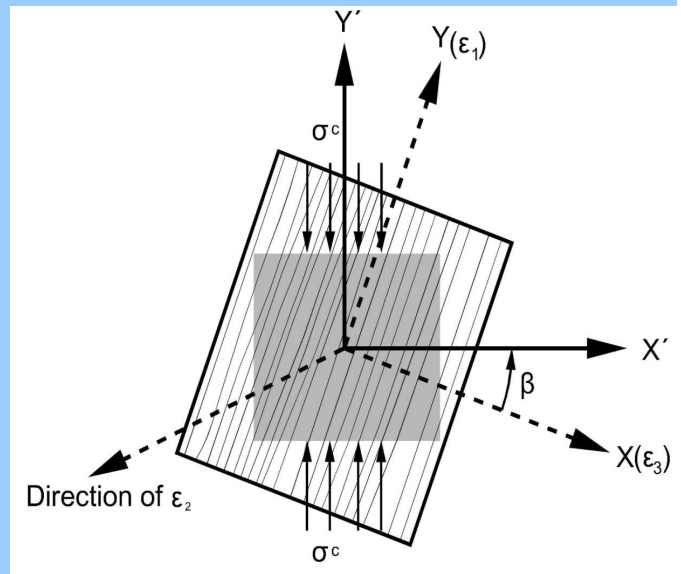
$$c_{13} \sigma_x^c = \sqrt{E_x E_y} \varepsilon_1$$

$$c_{33} \sigma_x^c = \sqrt{E_x E_y} \varepsilon_3$$

$$c_{23} \sigma_x^c = \sqrt{E_x E_y} \varepsilon_2$$

$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma^c \sin^2 \theta \\ -\sigma^c \sin \theta \cos \theta \\ \sigma^c \cos^2 \theta \end{pmatrix}$$



$$c_{21} \sigma^c \cos^2 \theta + c_{22} (-\sigma^c \sin \theta \cos \theta) + c_{23} \sigma^c \sin^2 \theta = \sqrt{E_x E_y} \epsilon_2$$

$\sigma_y^c$

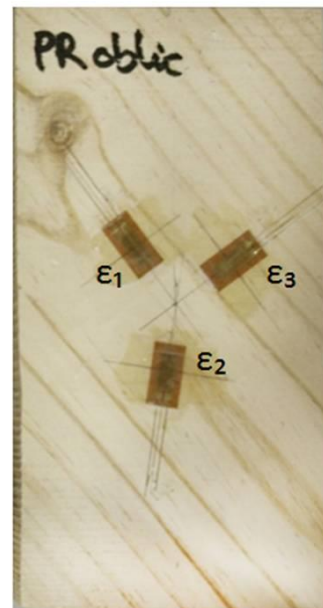
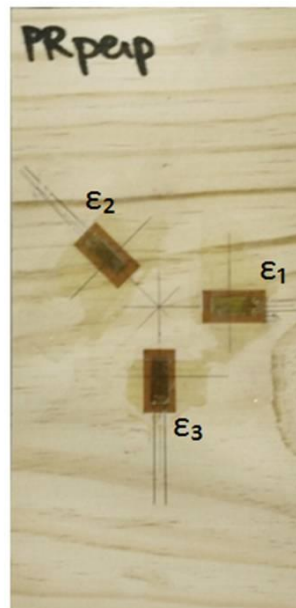
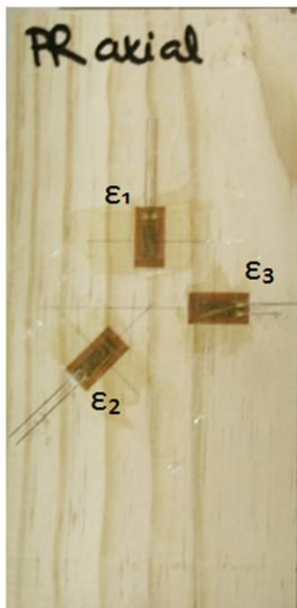
↓

$\sigma_x^c$

↓

$\sigma^c$

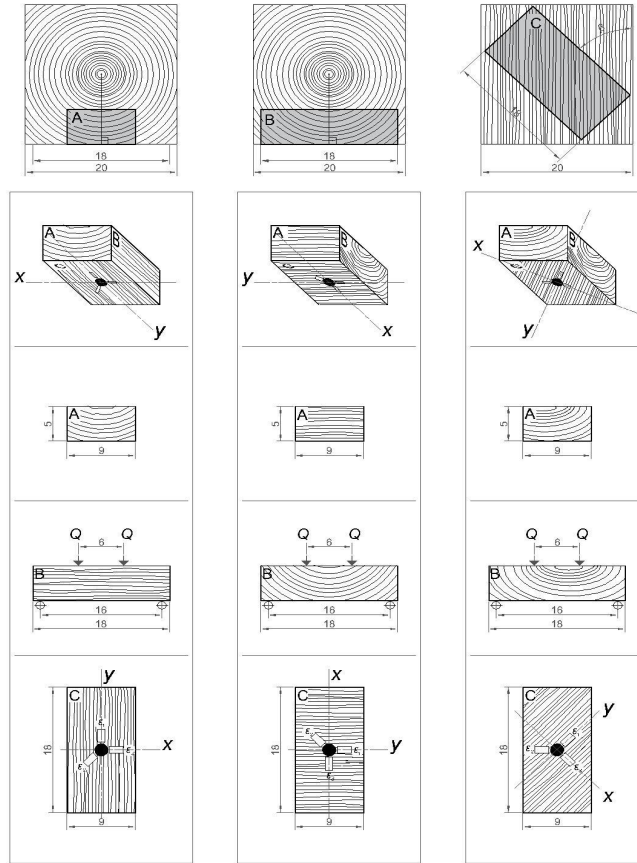
↓



### Tensor de Compliance en compresión

$$C = \begin{pmatrix} -0,796 & 0 & 0 \\ -0,367 & -2,06 & -1,025 \\ -0,168 & 0 & -2,26 \end{pmatrix}$$

### ENSAYOS A FLEXIÓN



## Tensor de Compliance en flexión

$$C = \begin{pmatrix} -0,201 & 0 & 0,237 \\ 0,008 & 0,759 & -0,367 \\ 0,214 & 0 & -0,799 \end{pmatrix}$$

En Laboratorio

$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_y \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_x \end{pmatrix} = \sqrt{E_x E_y} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{pmatrix}$$

Desconocido  
Encontrado

Conocido

Deducido  
experimentalmente

Aplicaciones a Estructuras en Servicio: **iiii PROCESO INVERSO iii**

$$\begin{pmatrix} \sigma_y \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_x \end{pmatrix} = \sqrt{E_x E_y} \begin{pmatrix} c_{11} & 0 & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & 0 & c_{33} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{pmatrix}$$

Desconocido  
Buscado

Conocido

Deducido  
experimentalmente.  
Nos habla

## APLICACIÓN PARA COMPROBAR LA TÉCNICA: CATA CIEGA

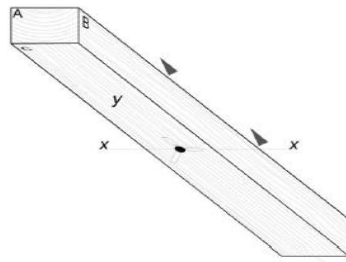
1.- Carga a compresión uniaxial desconocida

2.- Carga a flexión desconocida

### 1.- Carga a compresión uniaxial transversal desconocida

	NB1	NB2	NB3	NB4	NB5	NB6
$\theta$ (°)	-90	-90	-90	-90	-90	-90
Applied machine load (Mpa)	-4,64	-4,37	-4,35	-4,31	-4,29	-4,40
Stresses obtained by Hole Drilling method (Mpa)	-4,75	-3,41	-4,10	-4,46	-2,61	-4,02
Differences between applied and obtained stresses (Mpa)	-0,11	0,96	0,25	-0,15	1,68	0,38
Error (%)	2	22	6	3	39	9

## 2.- Carga a flexión desconocida



	PR beam 120-1	PR beam 120-2	PR beam 120-3	PR beam 120-4	PR beam 120-5
Stress derived from machine load (MPa)	30,30	27,21	31,58	28,95	27,10
Stresses obtained by Hole-drilling method (MPa)	30,21	23,81	30,85	25,14	25,84
Difference between applied and obtained stresses (MPa)	-0,09	-3,4	-0,73	-3,81	-1,26
Error (%)	0	-12	-2	-13	-5

La última y gracias

