

**APORTACION A LA AUTOMATIZACION EN LA TOMA
DE MEDIDAS Y PROCESADO DE DATOS SOBRE
MODELOS FOTOELASTICOS Y OPTOMECANICOS.**



18 Juliol 1988

TESI DOCTORAL

PRESENTADA A

L'ESC. TEC. SUPERIOR D'ENGINYERS INDUSTRIALS

DE BARCELONA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PER L'OBTENCIO DEL

GRAU DE DOCTOR ENGINEER

PER

Frederic Marimón Carvajal
PROF. ASSOCIAT U.P.C.

DIRECTOR DE TESI

Dr. Francesc Roure Fernández
PROF. TITULAR U.P.C.

Barcelona, Maig 1988.

R.47752

ANEXO I
ECUACIONES DE LA ELASTICIDAD
NOMENCLATURA

A.1 ECUACIONES DE LA ELASTICIDAD

En el desarrollo de esta Tesis se han utilizado distintas fórmulas que definen el comportamiento tensional y deformacional del sólido. Son relaciones clásicas, por todos conocidas y cuya demostración puede encontrarse en multitud de textos.

A continuación se procederá a una enumeración ordenada de las principales ecuaciones, a fin de poderlas referenciar y seguir un criterio coherente de signos y nomenclatura.

ESTADO DE TENSION EN UN SOLIDO ELASTICO

El estado tensional en un punto concreto del sólido queda perfectamente definido por el Tensor Tensión $[\tau]$

$$\begin{array}{ccc} \mathbb{R}^3 & \longrightarrow & \mathbb{R}^3 \\ \vec{\nu} & \dots\dots\dots & \vec{f} \end{array} \quad \vec{f} = [\tau] \vec{\nu} \quad (\text{AI-1})$$

De forma que existe una aplicación unívoca que a cada orientación $\vec{\nu}$ le corresponde un vector tensión \vec{f} . (Fig.AI-1)

El versor normal unitario $\vec{\nu}$ se considera positivo dirigido hacia fuera de la superficie y queda definido por sus cosenos directores :

$$\begin{array}{l} \alpha = \cos \alpha^0 \\ \beta = \cos \beta^0 \\ \gamma = \cos \gamma^0 \end{array} \quad \vec{\nu} = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} \quad (\text{AI-2})$$

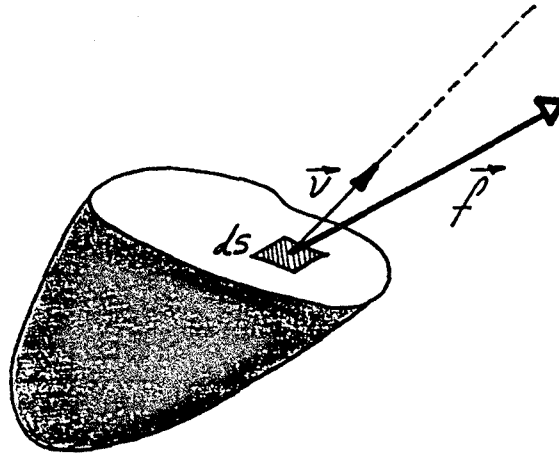
Sobre el vector tensión pueden obtenerse sus componentes intrínsecas:

$$\text{Normal} \quad \sigma_n = (\vec{\nu} \cdot \vec{f}) \cdot \vec{\nu} \quad (\text{AI-3})$$

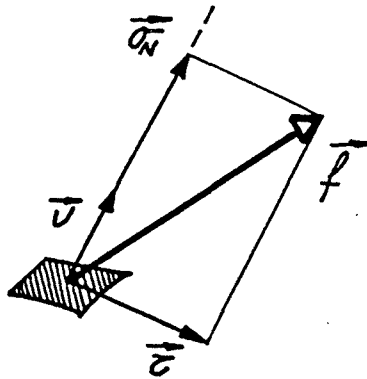
$$\text{Tangencial} \quad \tau = \vec{\nu} \wedge (\vec{f} \wedge \vec{\nu}) \quad (\text{AI-4})$$

Donde evidentemente se verifica que (Fig.AI-2).

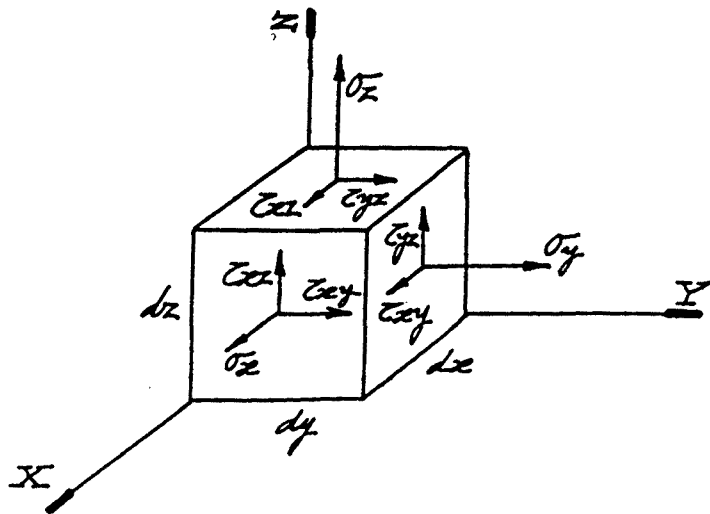
$$f^2 = \sigma_n^2 + \tau^2 \quad (\text{AI-5})$$



A.1-1 Vector tensión \bar{f} .



A.1-2 Componentes intrínsecas de \bar{f} .



A.1-3 Tensor tensión $[\sigma]$.

Planteando el equilibrio de un paralelepípedo infinitesimal y despreciando las Fuerzas de Volúmen se demuestra el caracter simétrico del tensor tensión (Fig.AI-3).

$$\tau_{ij} = \tau_{ji} \quad (\text{AI-6})$$

Así, es un tensor simétrico de segundo orden:

$$\vec{f} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix}$$

TENSIONES Y DIRECCIONES PRINCIPALES

Si imponemos que el vector tensión \vec{f} , esté alineado con $\vec{\nu}$, es decir no contenga componente tangencial.

$$\vec{f} = \lambda \vec{\nu} \quad (\text{escalar})$$

Pero de (AI-1) y operando :

$$([\tau] - \lambda [I]) \vec{\nu} = 0$$

ó en notación indicial :

$$(f_{ij} - \lambda \delta_{ij}) \nu_j = 0$$

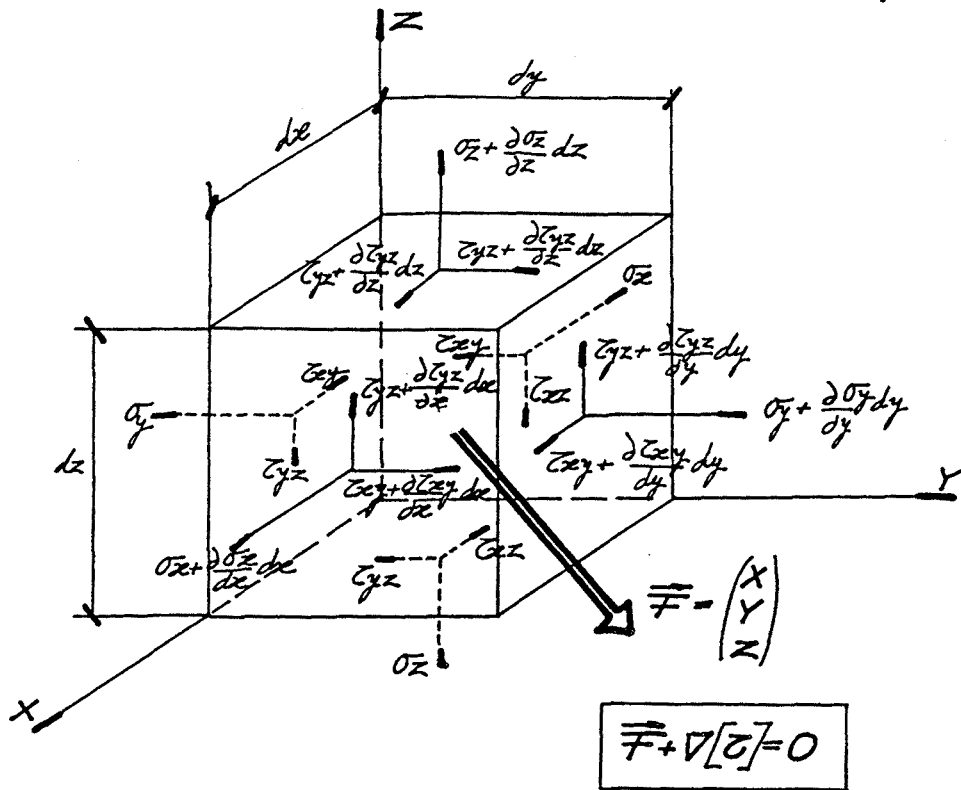
Problema de valores y vectores propios, donde :

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} \sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_3 & \text{Tensiones principales} \\ \vec{\nu}_1 & \vec{\nu}_2 & \vec{\nu}_3 & \text{Direcciones principales} \end{matrix}$$

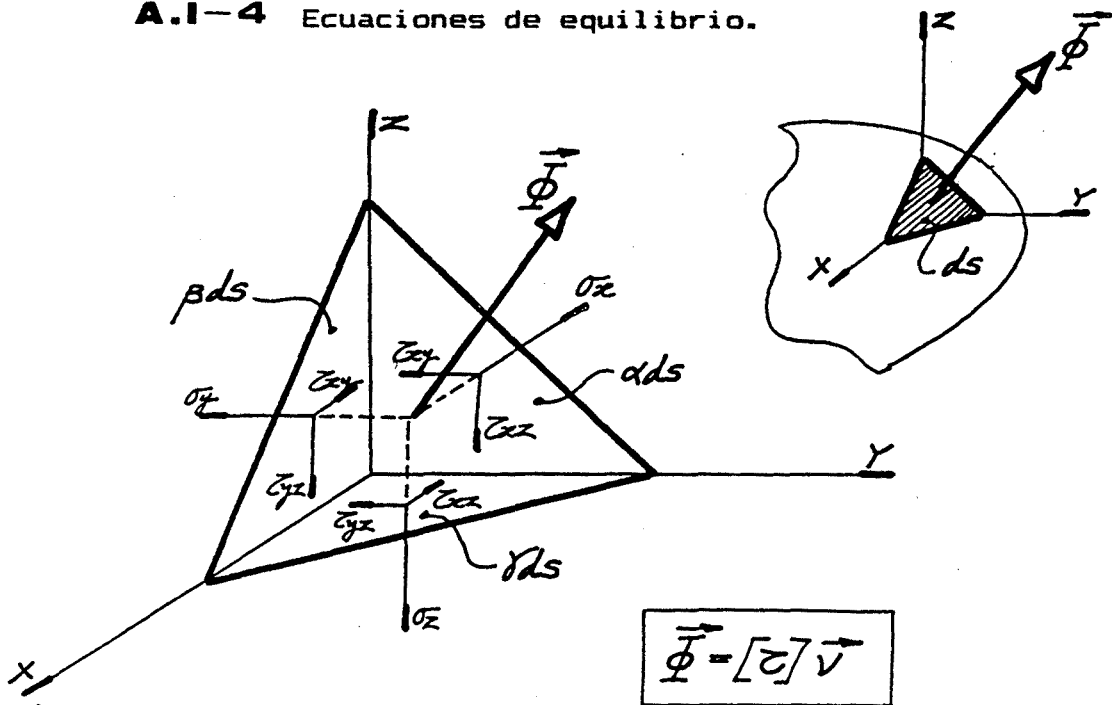
Si están ordenadas : $\sigma_I > \sigma_{II} > \sigma_{III}$

ECUACIONES DE EQUILIBRIO

Planteando el equilibrio estático del paralelepípedo elemental en interior del sólido (Fig.AI-4) y siendo X,Y,Z las



A.1-4 Ecuaciones de equilibrio.



A.1-5 Ecuaciones de contorno.

componentes de la fuerza por unidad de volumen \vec{F} :

$$\begin{aligned} X + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} &= 0 \\ Y + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= 0 \\ Z + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \quad \vec{F} + \nabla [\tau] = 0 \quad (\text{AI-7})$$

Para un pto perteneciente a la superficie del sólido, siendo $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ las componentes de la fuerza por unidad de superficie. (Fig. AII-5) :

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \sigma_x \alpha + \tau_{xy} \beta + \tau_{zx} \gamma \\ \bar{Y} &= \tau_{xy} \alpha + \sigma_y \beta + \tau_{yz} \gamma \\ \bar{Z} &= \tau_{zx} \alpha + \tau_{yz} \beta + \sigma_z \gamma \end{aligned} \quad \vec{\Phi} = [\tau] \vec{\nu} \quad (\text{AI-8})$$

DEFORMACIONES EN EL MEDIO CONTINUO

El estado de deformación en un punto concreto del sólido queda unívocamente determinado mediante el conocimiento del tensor deformación [D]. Para cada orientación existe un vector deformación unitaria :

$$[D] = \begin{pmatrix} \epsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \epsilon_y & \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xz} & \frac{1}{2}\gamma_{yz} & \epsilon_z \end{pmatrix} \quad \vec{\epsilon} = [D] \vec{\nu} \quad (\text{AI-9})$$

Donde, si (u,v,w) representan los corrimientos del punto, las componentes de [D] son :

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} & \gamma_{xy} &= \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ \epsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y} & \gamma_{xz} &= \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \epsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z} & \gamma_{yz} &= \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (\text{AI-10})$$

La componente intrínseca de deformación longitudinal uni-

taria :

$$\vec{\epsilon}_n = \vec{\epsilon} \cdot \vec{\nu} \quad (\text{AI-11})$$

positiva si corresponde a un alargamiento, y la deformación transversal o distorsión angular unitaria γ :

$$\epsilon^2 = \epsilon_n^2 + \gamma^2 \quad (\text{AI-12})$$

El tensor deformación, también admite diagonalización :

$$\begin{pmatrix} \epsilon_1 & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_2 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_3 \end{pmatrix} \quad \epsilon_I > \epsilon_{II} > \epsilon_{III} \quad \text{si están ordenadas.}$$

y cuyas direcciones principales están exentas de distorsión angular.

Para que el tensor deformación [D] nos proporcione unos corrimientos que no violenten la continuidad del medio, sus terminos están interrelacionados mediante las llamadas ecuaciones de compatibilidad o integrabilidad :

$$\begin{aligned} 2 \frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial y \partial z} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) & \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z} &= \frac{\partial^2 \epsilon_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial z^2} \\ 2 \frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial z \partial x} &= \frac{\partial}{\partial y} \left(-\frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} \right) & \frac{\partial^2 \gamma_{xz}}{\partial z \partial x} &= \frac{\partial^2 \epsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial z^2} \\ 2 \frac{\partial^2 \epsilon_z}{\partial x \partial y} &= \frac{\partial}{\partial z} \left(-\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} \right) & \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} &= \frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial x^2} \end{aligned} \quad (\text{AI-13})$$

FUERZAS DE VOLUMEN QUE DERIVAN DE UN POTENCIAL

Dada su gran importancia práctica conviene considerar las fuerzas por unidad de volumen \vec{F} de componentes X,Y,Z tales que :

$$X = -\frac{\partial \Omega}{\partial x} \quad Y = -\frac{\partial \Omega}{\partial y} \quad Z = -\frac{\partial \Omega}{\partial z} \quad (\text{AI-14})$$

y además $\Delta \Omega = 0$

Así constituye una función potencial armónica :

$$\Omega = \Omega (x, y, z)$$

y X, Y, Z sus gradientes respectivos.

La gravitación y la fuerza centrífuga cumplen este requisito. Adicionalmente se verifica :

$$\nabla \vec{F} = \text{Div } \vec{F} = 0$$

RELACION ENTRE TENSIONES Y DEFORMACIONES

En caso de admitirse una relación entre el tensor tensión y deformación que sea lineal, elástica, isótropa e independiente del tiempo y de su historia se verifica :

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{1}{E} (\sigma_x - \mu (\sigma_y + \sigma_z)) & \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G} \\ \epsilon_y &= \frac{1}{E} (\sigma_y - \mu (\sigma_x + \sigma_z)) & \gamma_{yz} &= \frac{\tau_{yz}}{G} \\ \epsilon_z &= \frac{1}{E} (\sigma_z - \mu (\sigma_x + \sigma_y)) & \gamma_{xz} &= \frac{\tau_{xz}}{G} \end{aligned} \quad (\text{AI-15})$$

E = Módulo de Elasticidad Longitudinal.

G = Módulo de Elasticidad Transversal.

μ = Módulo de Poisson.

Las direcciones principales de tensión y deformación son coincidentes en este caso.

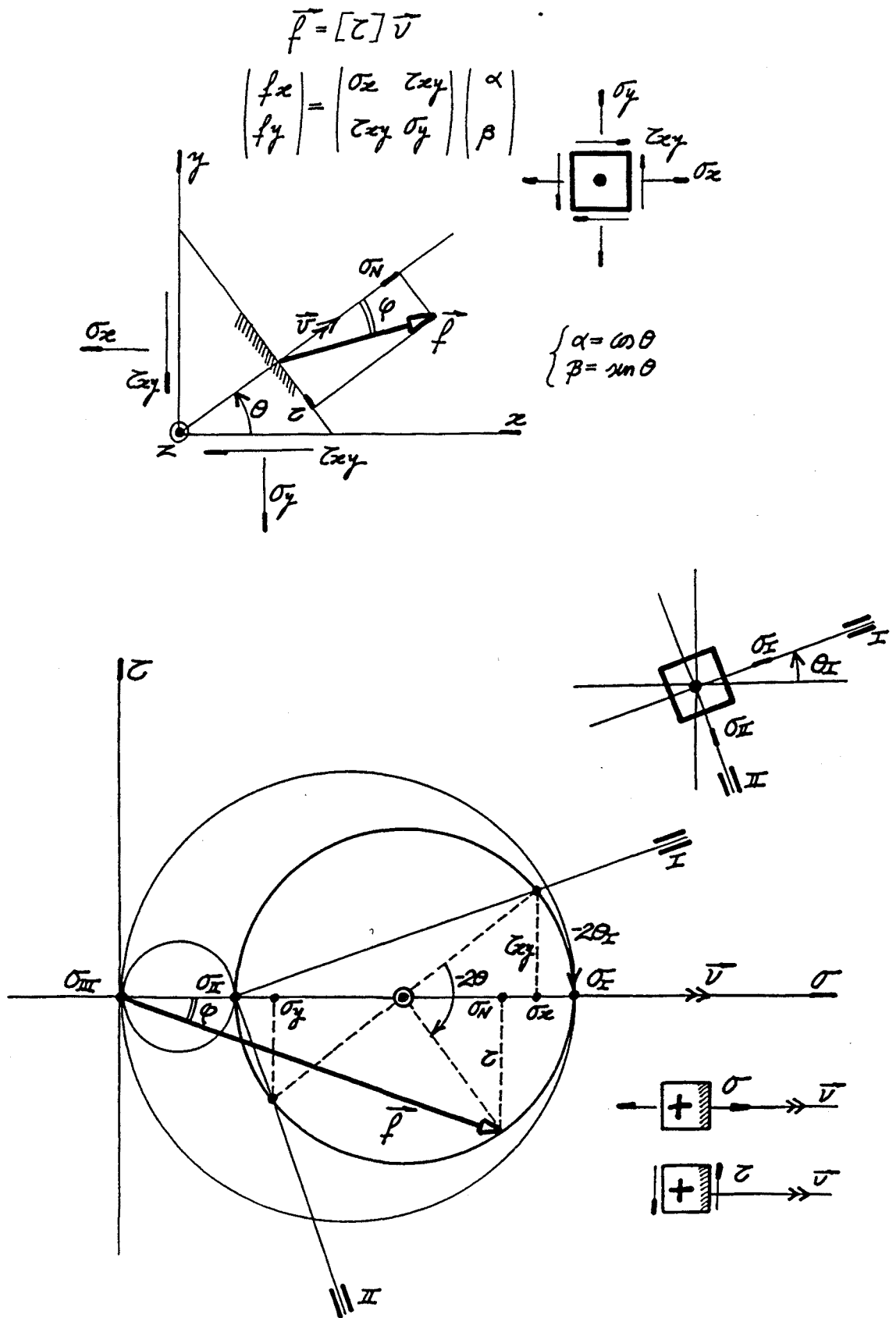
Combinando adecuadamente las ecuaciones (AI-7), (AI-13) y AI-15), y con la notación de los invariantes :

$$S = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad (\text{AI-16})$$

$$\epsilon = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = \epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z \quad (\text{AI-17})$$

e imponiendo que las fuerzas de volúmen sean nulas, despreciables o constantes se obtienen las ecuaciones de Michell-Bertrami :

$$\begin{aligned} (1 + \mu) \Delta \sigma_x + \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} &= 0 & (1 + \mu) \Delta \tau_{yz} + \frac{\partial^2 S}{\partial y \partial z} &= 0 \\ (1 + \mu) \Delta \sigma_y + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} &= 0 & (1 + \mu) \Delta \tau_{xz} + \frac{\partial^2 S}{\partial x \partial z} &= 0 \\ (1 + \mu) \Delta \sigma_z + \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} &= 0 & (1 + \mu) \Delta \tau_{xy} + \frac{\partial^2 S}{\partial x \partial y} &= 0 \end{aligned} \quad (\text{AI-18})$$



A.I-6 Estado plano de tensión.

Criterio completo de signos.

Puede adicionalmente demostrarse que cuando $\text{Div } \vec{F} = 0$, ó como caso particular las fuerzas de volumen sean nulas, despreciables o ctes., se verifica :

$$\Delta S = 0 \quad (\text{AI-19})$$

$$\Delta \epsilon = 0 \quad (\text{AI-20})$$

Es decir que la distribución de tensiones y deformaciones correspondientes al primer invariante no depende del material.

Sin embargo, ambos invariantes están siempre relacionados por :

$$\epsilon = \frac{1+2\mu}{E} S \quad (\text{AI-21})$$

ESTADO PLANO DE TENSION

Dada la gran importancia que presenta en Fotoelasticidad conviene desarrollar en detalle todas sus expresiones de gobierno.

$$\begin{aligned} \text{Condiciones:} \quad \sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0 \\ \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0 \end{aligned}$$

(AI-22)

Admitiendose, en la práctica, una tensión plana generalizada con valores medios:

$$\tau_{ij} = \frac{1}{e} \int_{-e/2}^{+e/2} \tau_{ij} dz \quad (\text{AI-23})$$

En la Fig. AII-6 se encuentra representado el convenio de signos tensorial y su reflejo en la círculo de Mohr.

El vector tensión :

$$\vec{f} = [\tau] \vec{\nu} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_x \cos\theta + \tau_{xy} \text{sen}\theta \\ \tau_{xy} \cos\theta + \sigma_y \text{sen}\theta \end{pmatrix} \quad (\text{AI-24})$$

Sus componentes intrínsecas :

$$\sigma_n = \nu \cdot f = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \quad (\text{AI-25})$$

$$\tau = \nu_{\perp} \cdot f = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta - \tau_{xy} \cos 2\theta \quad (\text{AI-26})$$

En el caso particular que sean direcciones principales :

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\theta \quad (\text{AI-27})$$

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\theta \quad (\text{AI-28})$$

Igualmente puede observarse de (AI-28) que la tensión cortante máxima en el plano xy , se presenta en superficies cuyos versores normales están a 45° de las direcciones principales y su valor es :

$$\tau_{xy \max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad (\text{AI-29})$$

La diagonalización del tensor tensión nos conduce a :

$$\begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{pmatrix} \longrightarrow \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 \\ 0 & \sigma_2 \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \\ \sigma_2 &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \end{aligned} \quad (\text{AI-30})$$

Y el ángulo que forman los ejes de referencia respecto a las direcciones principales:

$$\tan 2\theta = \frac{2 \tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \quad (\text{AI-31a})$$

o también:

$$\tan \theta = \frac{\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_{II}} \quad (\text{AI-31b})$$

Las ecuaciones de equilibrio para un pto. interior :

$$\begin{aligned} X + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} &= 0 \\ Y + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \quad (\text{AI-32a})$$

y de contorno: $\bar{X} = \sigma_x \alpha + \tau_{xy} \beta$
 $\bar{Y} = \tau_{xy} \alpha + \sigma_y \beta$
 $\bar{Z} = 0$ (AI-32b)

Las ecuaciones de compatibilidad de las deformaciones :

$$\frac{\partial^2 \epsilon_z}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \epsilon_z}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \epsilon_z}{\partial x \partial y} = 0 \quad (\text{AI-33a})$$

$$\frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial y^2} \quad (\text{AI-33b})$$

y las fórmulas de relación tensión-deformación :

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \mu \sigma_y)$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - \mu \sigma_x) \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

$$\epsilon_z = -\frac{\mu}{E} (\sigma_x + \sigma_y) \quad (\text{AI-34})$$

De las ecuaciones de equilibrio (AI-32a), puede obtenerse la siguiente relación :

$$\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} = -\frac{\partial X}{\partial x} - \frac{\partial Y}{\partial y} \quad (\text{AI-35})$$

Que en el caso $F = \text{cte. ó nula}$:

$$\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} = 0 \quad (\text{AI-36})$$

$$\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} = -\frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x \partial y} \quad (\text{AI-37})$$

Estas dos últimas expresiones nos indican como están relacionados los terminos del tensor tensión $[\tau]$, y por tanto sus variaciones en el plano no son independientes entre si.

Haciendo intervenir la segunda ecuación de compatibilidad (AI-33b) y las relaciones tensión-deformación (AI-34)

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) (\sigma_x + \sigma_y) = -(1 + \mu) \left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} \right)$$

$$\Delta (\sigma_x + \sigma_y) = - (1 + \mu) \text{Div } \vec{F} \quad (\text{AI-38})$$

Que en el caso frecuente de $\text{Div } \vec{F} = 0$

$$\Delta (\sigma_x + \sigma_y) = 0 \quad (\text{AI-39})$$

Dicha ecuación Laplaciana, acompañada de las expresiones (AI-37), nos indican que la distribución de tensiones en el plano es independiente del módulo de Poisson y por ende del material.

Debe aclararse que en la obtención de la ecuación (AI-38), no ha intervenido la ecuación de compatibilidad (AI-33a). Ello implica que adicionalmente :

$$\epsilon_z = - \frac{\mu}{F} (\sigma_x + \sigma_y)$$

debería anularse en sus segundas derivadas. Esta condición no siempre se verifica en los casos reales. No obstante, su influencia es baja.

En el caso de $\vec{F} = \text{cte.}$, se deducen también las ecuaciones de Michell-Beltrami reducidas :

$$\begin{aligned} \Delta \sigma_x + \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} &= 0 \\ \Delta \sigma_y + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} &= 0 & S = \sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_x + \sigma_y \\ \Delta \tau_{xy} + \frac{\partial^2 S}{\partial x \partial y} &= 0 \end{aligned} \quad (\text{AI-39})$$

Donde, a diferencia de (AI-18), no interviene el módulo de Poisson.

Estas consideraciones adquieren una gran importancia en la Teoría de Modelos.

ESTADO PLANO DE DEFORMACION

Caso de gran interés en Fotoelasticidad, sigue prácticamente las mismas ecuaciones de gobierno anteriores.

$$\begin{aligned} \text{Condiciones : } \quad \epsilon_z = \gamma_{xy} = \gamma_{yz} &= 0 \\ \tau_{xz} = \tau_{yz} &= 0 \end{aligned}$$

Se verifica que el eje z es siempre dirección principal.

$$\sigma_z = \sigma_3 = \mu (\sigma_x + \sigma_y) = \mu (\sigma_1 + \sigma_2) \quad (\text{AI-40})$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (\text{AI-41})$$

Ecuaciones de equilibrio y de contorno :

$$X + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0 \quad \bar{X} = \sigma_x \alpha + \tau_{xy} \beta \quad (\text{AI-42})$$

$$Y + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0 \quad \bar{Y} = \tau_{xy} \alpha + \sigma_y \beta$$

$$\bar{Z} = \sigma_z \gamma \quad (\text{AI-43})$$

Las ecuaciones de compatibilidad, quedan reducidas a solo :

$$\frac{\delta^2 \gamma_{xy}}{\delta x \delta y} = \frac{\delta^2 \epsilon_y}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \epsilon_x}{\delta y^2} \quad (\text{AI-44})$$

y las relaciones tensión-deformación :

$$\epsilon_x = \frac{1 + \mu}{E} ((1 - \mu) \sigma_x - \mu \sigma_y) \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

$$\epsilon_y = \frac{1 + \mu}{E} ((1 - \mu) \sigma_y - \mu \sigma_x) \quad (\text{AI-45})$$

Combinando las expresiones (AI-42) (AI-44) y (AI-45) :

$$\text{Div } \vec{F} = 0 \quad \Delta (\sigma_x + \sigma_y) = 0 \quad (\text{AI-46})$$

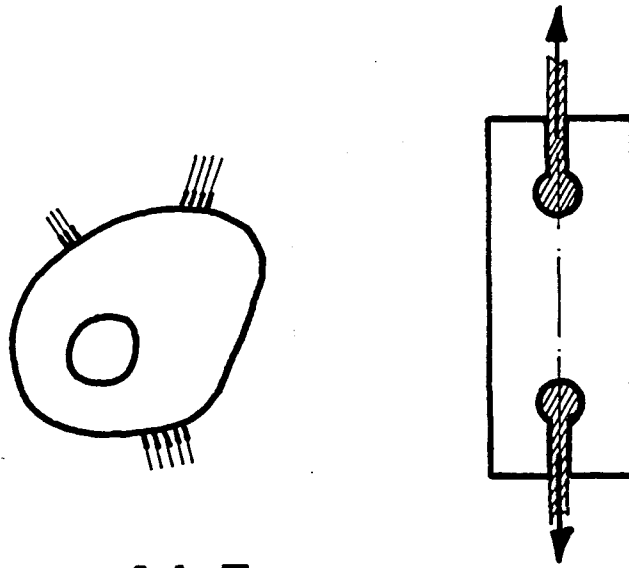
también las ecuaciones de Michell-Beltrami reducidas :

$$\Delta \sigma_x + \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} = 0$$

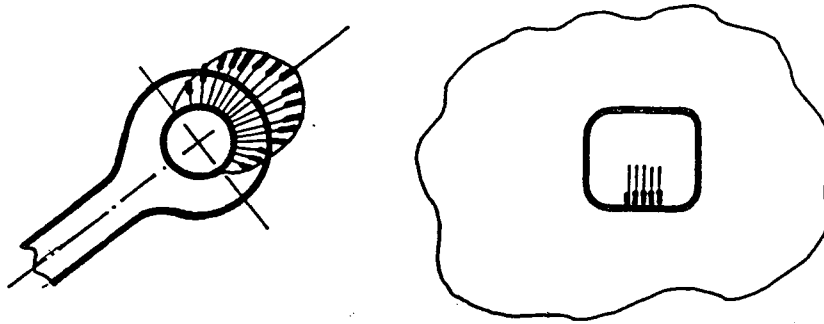
$$\Delta \sigma_y + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} = 0 \quad S = \sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_x + \sigma_y$$

$$\Delta \tau_{xy} + \frac{\partial^2 S}{\partial x \partial y} = 0 \quad (\text{AI-47})$$

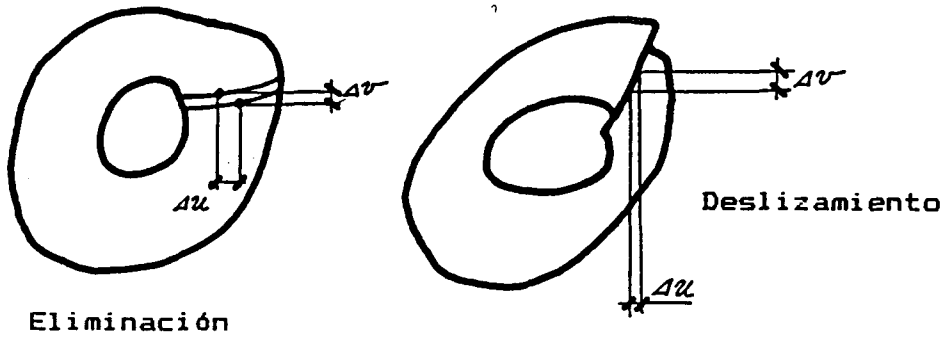
Nótese que cuando $\text{Div } \vec{F} = 0$ por (AI-46) (AI-47) la distribución de tensiones no depende del módulo de Poisson.



A.I-7a Caso I.



A.I-7b Caso II.



A.I-8

Dislocaciones provocadas para determinar las correcciones necesarias en el caso II.

FUNCION TENSION O DE AIRY. DISLOCACIONES.

En el estado plano de tensión se comprueba que el conocimiento del tensor tensión :

$$\sigma_x \quad \sigma_y \quad \tau_{xy}$$

se reduce a una sola variable escalar. (AI-35) (AI-38). Si consideramos el caso de que \bar{F} derive de potencial, e introducimos una función auxiliar tal que :

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x \partial y} - X_y - Y_x \quad (\text{AI-48})$$

sustituyendo en (AI-39) se comprueba que es una función potencial biarmónica :

$$\Delta \Delta \Psi = 0 \quad (\text{AI-49})$$

Suponiendo, por simplicidad, nulas las fuerzas de volumen las condiciones de contorno (AI-32b) quedan (Fig.AI-7) :

$$\begin{aligned} \text{sen } \theta = \frac{-dx}{dl} \quad X &= \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} \frac{dy}{dl} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x \partial y} \frac{dx}{dl} = \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial y} \right) \\ \text{cos } \theta = \frac{dy}{dl} \quad Y &= -\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x \partial y} \frac{dy}{dl} - \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} \frac{dx}{dl} = -\frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial x} \right) \end{aligned} \quad (\text{AI-50})$$

Es decir si no hay carga en el contorno, el valor de resta constante en el mismo.

Eligiendo una línea de integración de A a B sobre el contorno de la pieza :

$$\begin{aligned} \int_a^b X dl &= \left[\frac{\partial \Psi}{\partial y} \right]_a^b = P + \text{Cte}_1 \\ \int_a^b Y dl &= \left[\frac{\partial \Psi}{\partial x} \right]_a^b = Q + \text{Cte}_2 \end{aligned} \quad (\text{AI-51})$$

Siendo P y Q las resultantes de los esfuerzos exteriores aplicados al contorno desde el punto inicial A hasta el final B .

En el caso de A = B, las integrales (AI-51) se convierten en cíclicas . Se demuestra que la unicidad en la solución

implica que el valor de la resultante en un contorno cerrado debe ser cero :

$$\oint X dl = 0$$

$$\oint Y dl = 0 \quad (AI-52)$$

Esta condición se cumple en un modelo simplemente conexo por el solo hecho de estar en equilibrio (Fig.AI-7a).

No puede afirmarse lo mismo ante la existencia de taladros o ranuras de sujección cerradas (Fig.AI-7b). La resolución correcta de estos casos obliga a la realización de ensayos adicionales denominados DISLOCACIONES (Fig.AI-8).

En la práctica se prescinde de estas correcciones y se utilizan directamente los resultados obtenidos en el examen fotoelástico. En rigor, solo es exacto con igualdad entre los coeficientes de Poisson del modelo y del prototipo, pero en el caso de ser similares el error cometido es despreciable. [Ref.2]

NOMENCLATURA

A	Amplitud.
C_ϵ	Cte. fotoelástica deformacional del material.
C_σ	Cte. fotoelástica tensional del material.
[D]	Tensor deformación.
e	Espesor del modelo.
E	Módulo de Elasticidad longitudinal.
F_ϵ	Constante fotoelástica deformacional del modelo.
F_σ	Constante fotoelástica tensional del modelo.
\bar{F}	Fuerza intensiva de volúmen.
\vec{F}	Vector tensión.
G	Módulo de Elasticidad transversal.
I	Intensidad luminosa.
L	Longitud de onda.
M	Orden entero $M = 0, 1, 2 \dots$
n	Orden fraccionario $0 \leq n < 1$
n'	Orden fraccionario parcial $0 \leq n' < 0.5$
N	Orden de Isocromática, de franja o de extinción.
Q	Figura de Merito del material.
r	Índice óptico de refracción.
$r_1 r_2 r_3$	Índices principales de refracción.
R	Diferencia de tensiones principales ordenadas.
S	Suma invariante de tensiones normales.
$S_{x,y}$	Derivadas direccionales.
Δt	Retardo óptico temporal.
T_0	Umbral de binarización.
V	Tensión eléctrica.
X	Retardo absoluto incognita.
Y	Operador lógico.

Z	Nivel genérico de digitización.
Z*	Idem. con corrección de respuesta.
Z''	Idem. registro experimental.
$\alpha^0 \beta^0 \gamma^0$	Angulos directores de \bar{v} .
$\alpha \beta \gamma$	Cosenos directores de \bar{v} .
β	Angulo entre eje polarizador y σ_1 ó σ_2 .
γ	Deformación transversal unitaria.
δ	Retardo óptico longitudinal absoluto.
Δ	Operador Laplaciano / Incremento.
ϵ	Deformación longitudinal unitaria.
$\epsilon_1 \epsilon_2 \epsilon_3$	Deformaciones principales.
$\epsilon_I \geq \epsilon_{II} \geq \epsilon_{III}$	Deformaciones principales ordenadas.
θ	Angulo entre ejes referencia y direc. prales.
μ	Módulo de Poisson.
\bar{v}	Versor unitario de orientación espacial.
$\nu_1 \nu_2 \nu_3$	Direcciones principales.
$[\tau]_{xyz}$	Tensor tensión en ejes de referencia x y z.
σ_n	Componente intrinseca normal de \bar{f} .
$\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3$	Tensiones principales.
$\sigma_I \geq \sigma_{II} \geq \sigma_{III}$	Tensiones principales ordenadas.
$\sigma_p \geq \sigma_q$	Tensiones principales ordenadas en el plano.
τ	Componente intrinseca tangencial de \bar{f} .
ϕ	Retardo óptico angular.
	/Angulo de isóclina; entre eje horizontal y σ_1 ó σ_2 .
ϕ^*	Idem. corregido; entre eje horizontal y σ_p .
Φ	Fuerza intensiva de superficie.
Ψ	Función tensión / Función de Airy.
Ω	Función potencial armónica / Velocidad angular.

ANEXO I I
BASES DE LA FOTOELASTICIDAD

A. II BASES DE LA FOTOELASTICIDAD

En este apartado se hace un breve resúmen de las ecuaciones básicas que rigen el fenómeno fotoelástico, con especial incidencia en los aspectos utilizados por la aportación original de la Tesis, tales como la respuesta óptica en función del espectro incidente.

ANISOTROPIA OPTICA

Ciertos cuerpos carecen de isotropía óptica y la velocidad de propagación de la onda en el medio es función de su dirección de incidencia y plano de polarización.

Así, su índice de refracción :

$$r = \frac{c}{v} \quad \begin{array}{l} c = \text{Velocidad en el vacío.} \\ v = \text{Velocidad en el medio.} \end{array}$$

(AII-1)

depende de la dirección de propagación.

Esta propiedad puede expresarse mediante el elipsoide de índices o de Fresnel (Fig. AII-1).

Dicho modelo presupone la existencia de tres índices principales de refracción :

$$r_1 \quad r_2 \quad r_3$$

asociados a tres direcciones principales X Y Z tales que :

$$\frac{X^2}{r_1^2} + \frac{Y^2}{r_2^2} + \frac{Z^2}{r_3^2} = 1 \quad \text{(AII-2)}$$

En el caso de que la onda tenga una incidencia de cosenos directores :

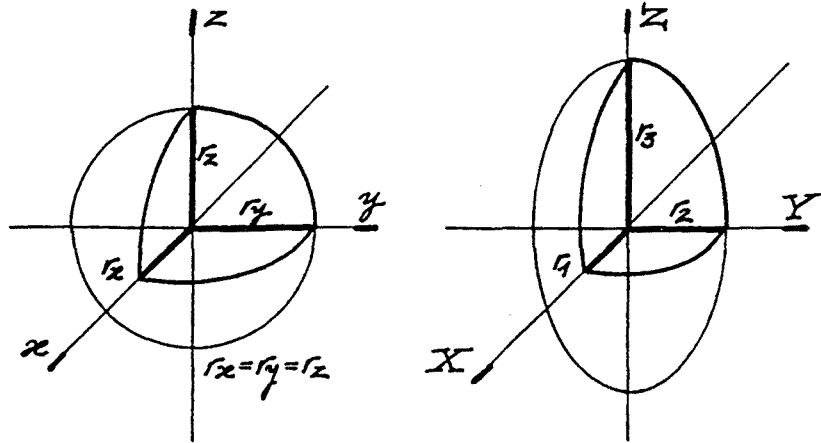
$$\vec{v} = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix}$$

la intersección del plano asociado a la dirección \vec{v} con el elipsoide de Fresnel, define una elipse cuyos ejes nos proporcionan dos nuevos índices denominados (Fig. AII-2) :

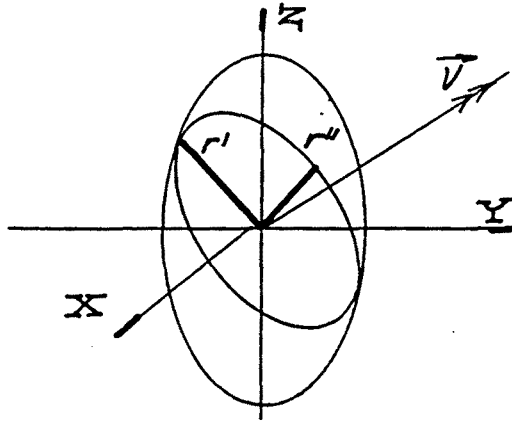
$$\begin{array}{ll} r' = \text{índice lento} & r' > r'' \\ r'' = \text{índice rápido} & \end{array}$$

Isotropía ópt.

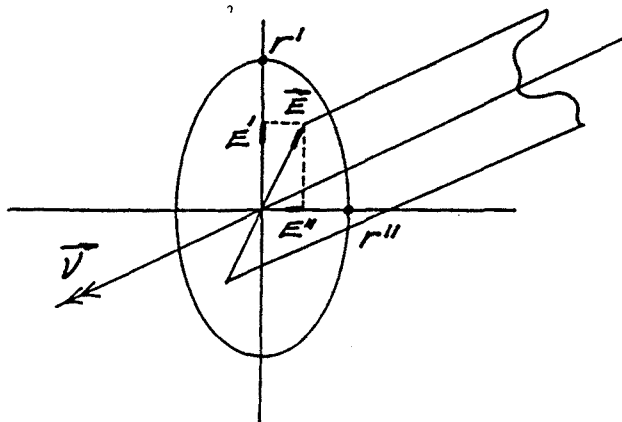
Anisotropía ópt.



A.II-1 Elipsoide de índices o de Fresnel.



A.II-2 Elipse de índices asociada a \vec{D} .



A.II-3 Dirección de incidencia \vec{D} y plano de polarización \vec{E} .

Así toda onda con dirección \vec{v} y plano de polarización \vec{E} puede descomponerse en dos planos de propagación y con sus dos velocidades de avance diferentes.

$$v'' > v' \quad v' = \frac{c}{r'} \quad v'' = \frac{c}{r''}$$

Y si el camino óptico sobre el medio es e y el fenómeno es constante en todo su recorrido, existirá un retardo óptico (Fig. AII-3) :

$$t' = \frac{e}{v'} = \frac{e r'}{c} \quad t'' = \frac{e r''}{c}$$

En tiempo:

$$\Delta t = t' - t'' = (r' - r'') e / c \quad (\text{AII-3})$$

En ángulo:

$$\phi = \frac{2\pi (r' - r'') e}{L} \quad (\text{AII-4})$$

En longitud:

$$\delta = (r' - r'') e \quad (\text{AII-5})$$

La recomposición de las dos ondas producirán en general, una luz elípticamente polarizada respecto a la original incidente.

La Fotoelasticidad pone de relieve dicho fenómeno mediante la creación de franjas de interferencia sobre medios birrefringentes accidentales.

ECUACIONES DE GOBIERNO

Los primeros ensayos experimentales realizados por Seebeck (1813) y Brewster (1816) constataron que ciertos materiales presentaban anisotropía óptica al ser sometidos a fuerzas mecánicas externas, observando una relación de tipo lineal causa-efecto en un amplio intervalo.

La primera formulación de tipo cuantitativo se debe a Neumann (1841) relacionando las deformaciones y los índices de refracción, coincidentes en sus direcciones principales:

$$r_1 = r_0 + F(\epsilon_I, \epsilon_{II}, \epsilon_{III})$$

$$r_2 = r_0 + F(\epsilon_I, \epsilon_{II}, \epsilon_{III})$$

$$r_3 = r_0 + F(\epsilon_I, \epsilon_{II}, \epsilon_{III})$$

r_0 índice del material

ópticamente isótropo.

Donde la función F debe anularse para:

$$\epsilon_I = \epsilon_{II} = \epsilon_{III} \longrightarrow r_i = r_o$$

Y a la vista del elipsoides de índices, debe ser simétrica respecto la segunda y tercera variable. Por tanto :

$$r_i - r_o = a_1 \epsilon_i + a_2 (\epsilon_j + \epsilon_k)$$

En particular y según (A-II-5) el retardo δ :

$$\delta = (r_1 - r_2) e = (a_1 - a_2) (\epsilon_I - \epsilon_{II}) e = C_\epsilon (\epsilon_I - \epsilon_{II}) e \quad (\text{AII-6})$$

Donde C_ϵ cte. fotoelástica deformacional del material.

Pero es Maxwell (1853) quien, independientemente de Neumann, relaciona las tensiones y los índices de refracción:

$$r_1 - r_o = C_1 \sigma_I + C_2 (\sigma_{II} - \sigma_{III})$$

$$r_2 - r_o = C_1 \sigma_{II} + C_2 (\sigma_{III} - \sigma_I)$$

$$r_3 - r_o = C_1 \sigma_{III} + C_2 (\sigma_I - \sigma_{II})$$

Operando

$$r_1 - r_2 = C_\sigma (\sigma_I - \sigma_{II})$$

$$r_2 - r_3 = C_\sigma (\sigma_{II} - \sigma_{III})$$

$$r_1 - r_3 = C_\sigma (\sigma_I - \sigma_{III})$$

(AII-7)

Donde C_σ cte. fotoelástica tensional del material.

En particular y según (AII-5) el retardo óptico δ :

$$\delta = (r_1 - r_2) e = C_\sigma (\sigma_I - \sigma_{II}) e = C_\sigma (\sigma_p - \sigma_q) e \quad (\text{AII-8})$$

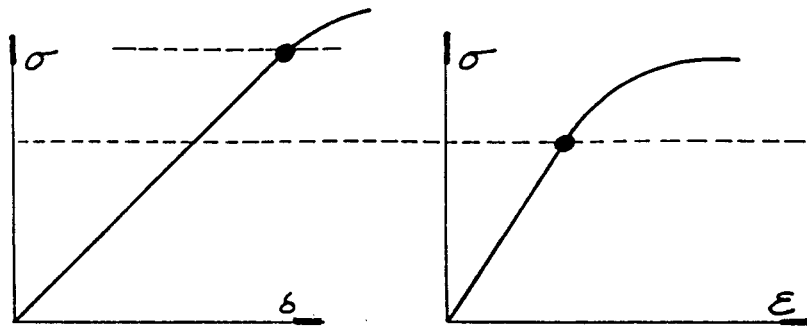
Con linealidad elástica entre tensiones y deformaciones, la experiencia nos confirma que existe linealidad óptica si multanea con ambas. Además, al verificarse que :

$$\sigma_I - \sigma_{II} = (\epsilon_I - \epsilon_{II}) \frac{E}{1 + \mu} \quad (\text{AII-9})$$

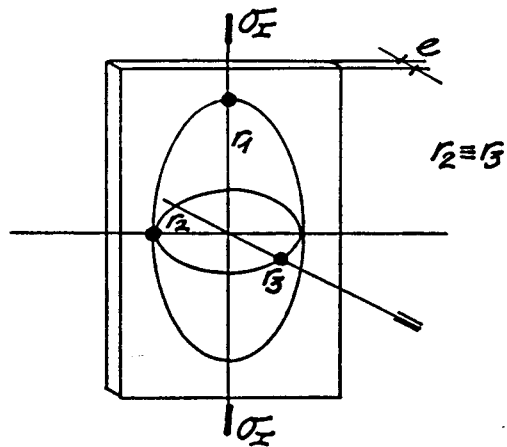
Queda :

$$C_\epsilon = \frac{E}{1 + \mu} C_\sigma \quad (\text{AII-10})$$

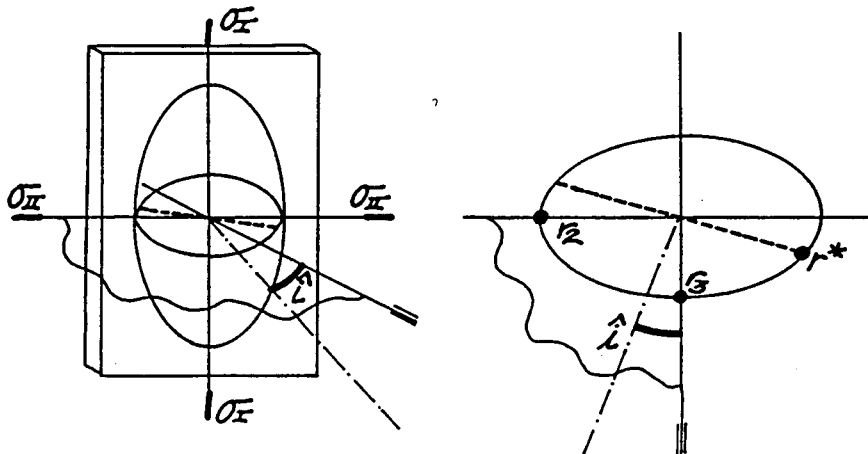
No obstante, al sobrepasar el límite de elasticidad solo las relaciones de Maxwell siguen siendo válidas en un cier-



A.II-4 Relación σ - ϵ - δ (según Frocht y Thomson)



A.II-5 Elipsoide de Fresnel. Caso tensión uniaxial.



A.II-6 Idem. Tensión biaxial e incidencia oblicua.

to margen (Fig. AII-4), y preferibles a las de Neumann, con excepción de la Fotoelasticidad por reflexión.

En un caso uniaxial de tensión, las ecuaciones de Maxwell quedan (Fig.AII-5) :

$$\sigma_{II} = \sigma_{III} = 0 \quad \sigma_I = \sigma$$

y en el elipsoide de Fresnel se verifica :

$$\begin{aligned} r_2 &= r_3 \\ r_1 - r_2 &= C_\sigma \sigma_I \end{aligned}$$

siendo I el eje lento de avance.

Por (AII-8) :

$$\delta = C_\sigma \sigma_I e = C_\sigma \sigma e$$

Si hubiese sido una comprensión uniaxial y por tanto de signo negativo :

$$\sigma_I = \sigma_{II} = 0 \quad > \quad \sigma_{III} = -\sigma$$

$$\delta = C_\sigma (0 - \sigma_{III}) e = C_\sigma \sigma e$$

siendo III el eje rápido.

En conclusión, el retardo óptico es siempre positivo, con excepción de algunas sustancias de cte. C_σ negativa. [Ref.2]

Para un estado biaxial de tensión y con la incidencia formando un ángulo i con la normal y contenida sobre II/III (Fig.AII-6), los índices de refracción son r_1 y r^* . Siendo r^* fácilmente calculable mediante :

$$\frac{r^{*2} \cos^2 i}{r_2} + \frac{r^{*2} \cos^2 i}{r_3} = 1$$

Operando queda [Ref.7] [Ref.8] [Ref.11] :

$$\delta = C_\sigma (\sigma_I - \sigma_{II} \cos^2 i) e \sec i \quad \text{(AII-11)}$$

Fórmula fundamental para incidencia oblicua sobre una dirección principal σ_{II} y ángulo de inclinación i respecto la normal.

TEORIA DE MODELOS

La Fotoelasticidad puede emplearse directamente sobre la pieza real si esta ya es ópticamente birrefringente (vidrio, plásticos, composites.... etc.).

POLARIZADOR	LAMINA $\lambda/4$	MODELO	LAMINA $\lambda/4$	ANALIZADOR	FONDO	INTENSIDAD
					OSC.	$I_0 \sin^2 2\beta \sin^2 N\pi$
					CLARO	$I_0 (1 - \sin^2 2\beta \sin^2 N\pi)$
					OSC.	$I_0 \sin^2 N\pi$
					CLARO	$I_0 (1 - \sin^2 N\pi)$
					CLARO	$I_0 (1 - \sin^2 N\pi)$
					OSC.	$I_0 \sin^2 N\pi$

A. II-7 Posiciones relativas.

Pero en general, es preferible por razones de precisión y comodidad la manufactura de un modelo que siga una semejanza con la pieza real o prototipo.

La semejanza total no será siempre posible [Ref.12] :

$$\sigma, L, F, p, \epsilon, E, \mu$$

En 3-D, es difícil hacer coincidir el coeficiente de Poisson del prototipo y el del modelo, ya que este es siempre cercano a $\mu = 0.5$ para los polímeros utilizados.

En 2-D, con la condición de que las fuerzas volumétricas sean nulas, ctes. o deriven de potencial, y además la resultante de cargas sobre contornos conexos sea nula, la influencia de μ es inexistente. Adicionalmente, la gama de materiales fotoelásticos disponibles a temperatura ambiente, nos permite aproximar ambos coeficientes.

En general, si $\mu_M = \mu_P$, [Ref.7] [Ref.14] :

$$\sigma_P = \sigma_M F_P / F_M (L_M / L_P)^2 \quad (\text{AII-12})$$

Y con cargas repartidas o presiones :

$$\sigma_P = \sigma_M P_P / P_M \quad (\text{AII-13})$$

En 2D, para los espesores :

$$\epsilon_M / \epsilon_P = L_M / L_P \quad \sigma_P = \sigma_M F_P / F_M L_M / L_P \epsilon_M / \epsilon_P \quad (\text{AII-14})$$

Para que exista una similitud total debe haber una correspondencia entre deformaciones unitarias:

$$\epsilon_M = \epsilon_P$$

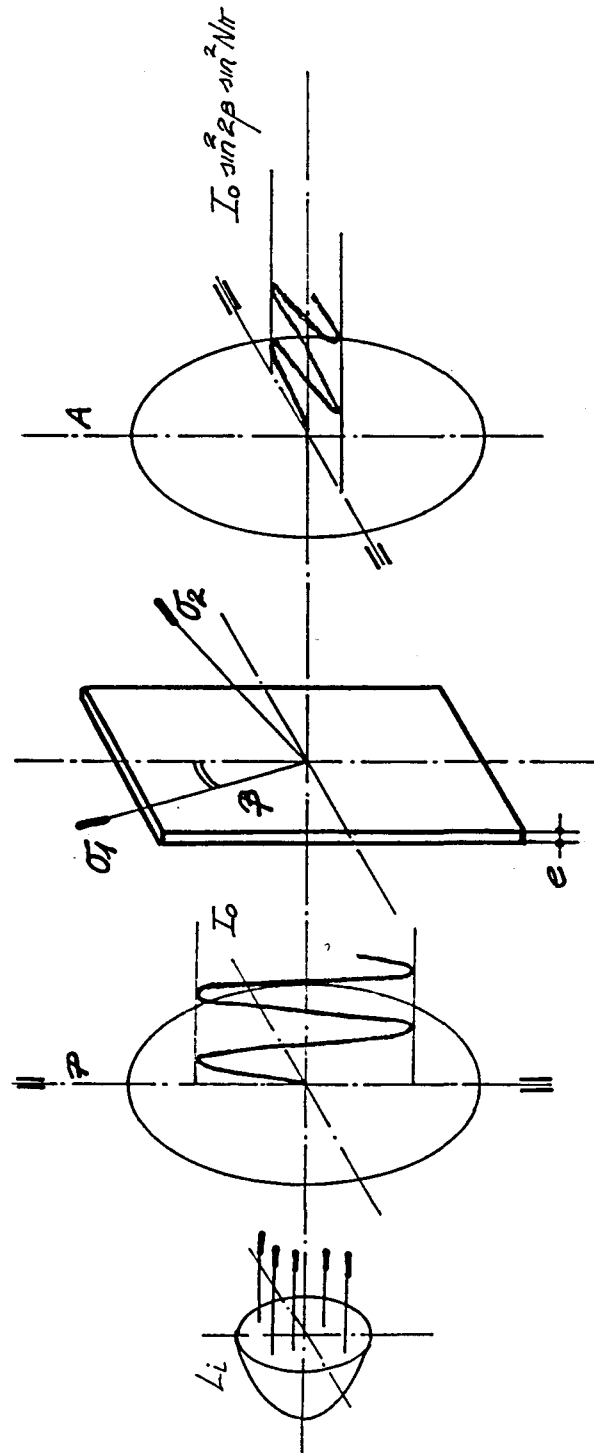
si $\mu_M = \mu_P$, implica:

$$F_M = F_P (L_M / L_P)^2 E_M / E_P \quad (\text{AII-15})$$

Es decir la escala de fuerzas y longitudes debería estar relacionada por el cociente entre módulos elásticos.

Otros múltiples factores cuestionan la posibilidad de una correcta semejanza. Así :

- La existencia de grandes deformaciones y como consecuencia el desplazamiento del punto de aplicación de la carga.
- Fenómenos de variación en el tiempo con métodos de carga no gravitatorios. (cilindros hidráulicos).
- Pérdida de linealidad tensión-deformación ... etc.



A.II-8 Polariscopio lineal monocromático.

ECUACIONES DEL POLARISCOPIO MONOCROMATICO

Se reseñan simplemente las ecuaciones finales que rigen la modulación de intensidad luminosa para un polariscopio plano por transparencia con luz monocromática :
 [Ref.4] [Ref.6] [Ref.7]

Sí:

	$A = A_0 \sin \omega t$	Amplitud
	$I = A_0^2$	Intensidad luminosa
	$\delta = C_\sigma (\sigma_p - \sigma_q) e$	Retardo (nm.)
	$\phi = \frac{2\pi\delta}{L}$	Retardo angular (rad.)
	θ	Angulo formado por el eje vert. y el eje del Polarizador.
	β	Angulo formado por el eje del Polarizador y σ_i (dirección pral.)
(AII-16)	$N = \frac{\delta}{L} = \frac{(\sigma_p - \sigma_q)}{F_\sigma}$	Orden de extinción.
(AII-17)	$F_\sigma = \frac{L}{C_\sigma e}$	Cte. fotoelástica del modelo.

En el esquema de la Fig. AII-7, se contemplan diferentes posiciones relativas del Polarizador, 1° lámina L/4, modelo, 2° lámina L/4 y Analizador.

En perspectiva, sobre las Fig. AII-8 y AII-9.

Si analizamos la 1° configuración, correspondiente al caso más usual de ausencia de láminas L/4, la intensidad emergente :

$$I = I_0 \sin^2 N\pi \sin^2 2\beta \tag{AII-18}$$

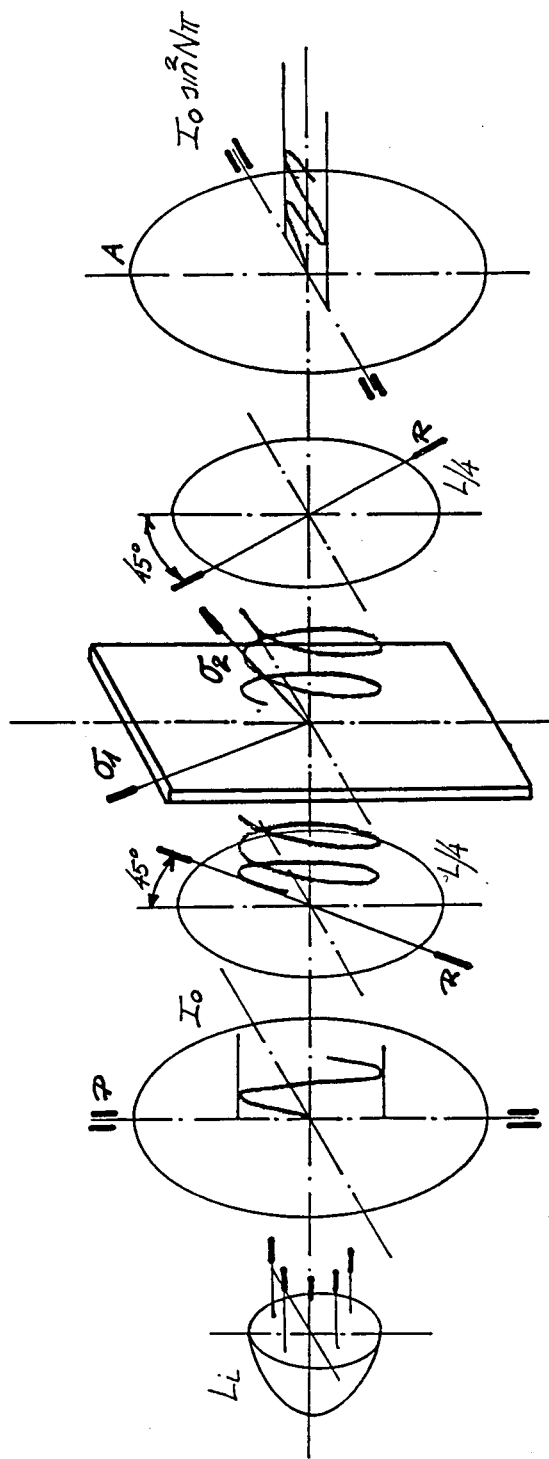
sera nula en dos casos :

- a) Cuando $N = 0, 1, 2, 3 \dots$ etc. $N =$ orden de extinción.

$$N = \delta/L = \left| \sigma_1 - \sigma_2 \right| C_\sigma e/L = (\sigma_p - \sigma_q) C_\sigma e/L \tag{AII-19}$$

Es decir, el retardo δ provocado por la existencia de $(\sigma_p - \sigma_q)$ sea un múltiplo entero de la longitud de onda, dependiendo así de ella.

La naturaleza del medio continuo provoca la aparición de franjas de extinción denominadas ISOCROMATICAS.



A.11-9 Polariscope circular monocromático.

b) Cuando $\beta = 0, 90^\circ, 180^\circ, \dots$ etc.

Es decir el eje del polarizador coincide con una dirección principal.

Las franjas de extinción se denomina ISOCLINAS y dependen solo de la inclinación del polarizador, no de la longitud de onda incidente.

Puede observarse que la configuración 2° proporciona extinción exclusivamente para valores simultaneos de $N = 0.5, 1.5, 2.5, \dots$ etc. y $\beta = 0, 90^\circ, 180^\circ \dots$, no siendo usual su utilización.

El resto de configuraciones trabajan con polarización circular y la intensidad emergente no depende del ángulo β , ni por tanto de la inclinación θ del polarizador.

$$I = I_0 \sin^2 N\pi \quad \text{ISOCROM. } N = 0, 1, 2, \dots \quad (\text{AII-20})$$

$$I = I_0 (1 - \sin^2 N\pi) \quad \text{ISOCROM. } N = 0.5, \dots \quad (\text{AII-20})$$

Existe el inconveniente que la lámina $L/4$ solo es apta para el trabajo en una sola longitud de onda.

POLARISCOPIO CON LUZ BLANCA

Utilizando luz blanca, conteniendo un amplio espectro de frecuencias, la extinción total de la componente correspondiente a una cierta longitud de onda L_i , sucede cuando:

$$N_i = \delta / L_i \quad N = 0, 1, 2, \dots$$

provocando la aparición del color complementario a la misma.

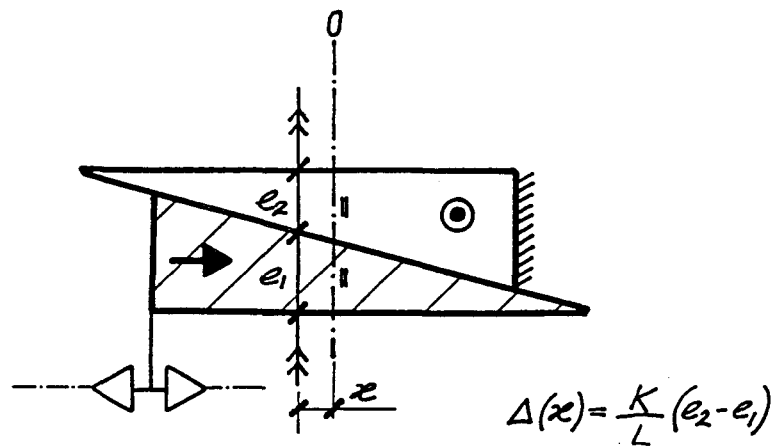
La intensidad luminosa total :

$$I_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n I_{0i} \sin^2 2\beta \sin^2 \delta / L_i \pi \quad (\text{AII-22})$$

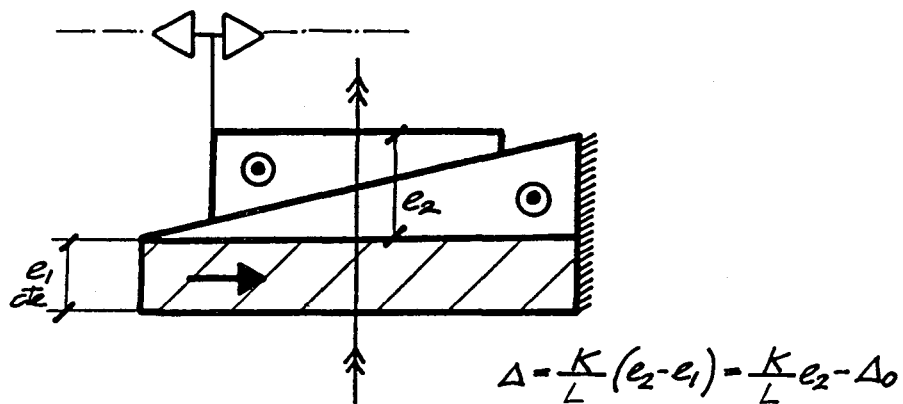
depende de δ y de las longitudes de onda implicadas. La extinción total se verificará solo en las isoclinas.

Además, al crecer el retardo δ se van produciendo superposiciones de extinción (a partir de aprox. $\delta = 800 \text{ nm}$), disminuyendo la pureza del color y provocando para ordenes elevados la difuminación incluso de la tinta sensible.

Este mismo efecto se observa cuando se trabaja con luz no totalmente monocromática, y es objeto de detallado estudio en la presente Tesis al utilizar los filtros selectivos.



A.II-10 Compensador de Babinet.



A.II-11 Compensador de Babinet- Soleil.



Ejes ópticos activos.

MEDICION CLASICA DEL RETARDO

El método clásico para evaluar el retardo δ y determinar así $(\sigma_p - \sigma_q)$, consiste en distinguir en el orden de extinción total N , dos componentes :

$$N = \delta / L$$

(AII-23)

$$N = M + n$$

M orden entero

n = orden fracc. $0 \leq n < 1$

- M se calcula usualmente mediante deducción perspicaz del crecimiento de franjas
- n con compensadores ópticos u otros sistemas automáticos

INSTRUMENTOS COMPENSADORES

Sobre un compensador de Babinet puede apreciarse el retardo, correspondiente al orden fraccionario, con una precisión de una centésima de longitud de onda.

El mecanismo consiste en dos cuñas de cuarzo (Fig. AII-10), una de ellas fija al instrumento mientras que la otra puede desplazarse mediante tornillo micrométrico. Sus dos ejes ópticos están invertidos, uno sobre el índice lento, otro sobre el rápido. Así cualquier onda incidente sufre un retardo adicional δ al recorrer el instrumento :

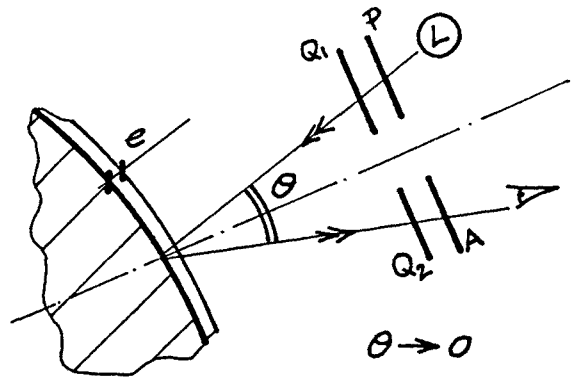
$$\delta = (r_1 - r_2) (e_1 - e_2) = K / L (e_1 - e_2)$$

Dependiendo del punto de incidencia = X .[Ref.2] [Ref.4] [Ref.5].

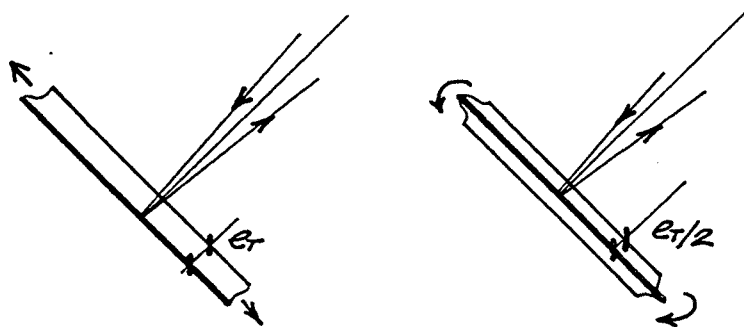
No ocurre lo mismo en el compensador Babinet-Soleil, que produce un retardo cte. en toda la superficie (Fig. AII-11) [Ref.4] [Ref.5].

Para utilizar un compensador es necesario alinearlos sobre la dirección principal y regular el tornillo hasta provocar la extinción total en el pto. La lectura se obtiene directamente sobre el instrumento.

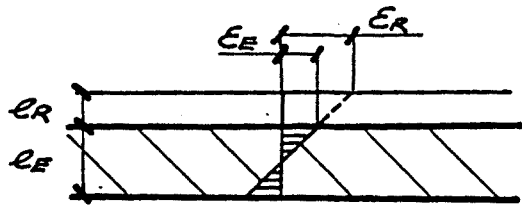
También existen compensadores con una tira de material foelástico sometidos a tracción o compresión regulable.



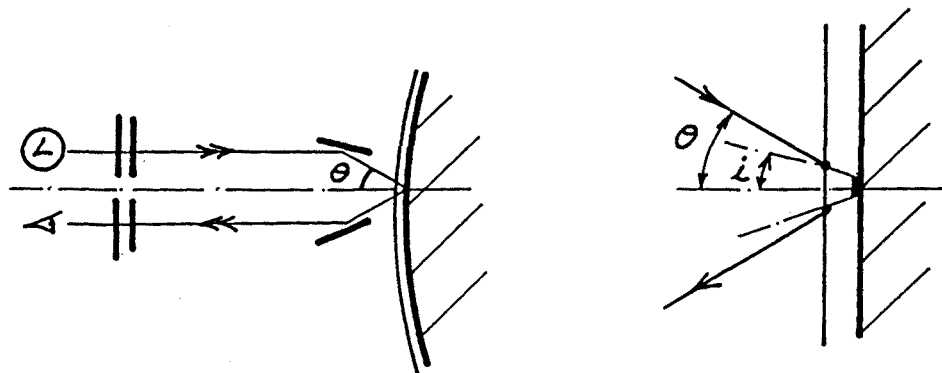
A.II-12 Fotoelasticidad por reflexión.



A.II-13 Estudio de placas delgadas.



A.II-14 Corrección geométrica.



A.II-15 Incidencia oblicua con ángulo i .

METODO DE TARDY

No es tan preciso como el sistema anterior. Primeramente se colocan Polarizador y Analizador cruzados sobre las direcciones principales, es decir girando el conjunto hasta provocar extinción total. A continuación, se insertan las dos láminas L/4 provocando la desaparición de dicha isoclinas.

Finalmente hay que girar el Analizador un cierto ángulo hasta provocar una nueva extinción o paso de isocromática. El ángulo recorrido ϕ proporciona directamente el retraso fraccionario.

El método de Senarmont es una variante del mismo.

Ambos tienen sus bases teóricas en la Esfera de Poincare, y da origen a la mayoría de principios de medida utilizados en los bancos fotoelásticos automatizados de tipo puntual.

FOTOELASTICIDAD POR REFLEXION

El método consiste en recubrir la pieza real en estudio con una capa de material fotoelástico. La reflexión se consigue con un aceptable pulido de la superficie o mediante la utilización de colas reflejantes.

El esquema básico se ve representado en la Fig. AII-12 .

Corresponde a un polariscopio usual, donde sus ecuaciones de comportamiento son similares a las ya indicadas anteriormente, con la importante salvedad que el haz luminoso atraviesa dos veces el espesor del recubrimiento.

Admitiendo una adherencia perfecta:

$$\epsilon_{\text{recubr.}} = \epsilon_{\text{pieza}} \quad (\text{AII-24})$$

Queda por la ecuación de Neumann (AII-6)

$$C_{\epsilon} 2e \left| \epsilon_1 - \epsilon_2 \right| = \delta \quad \left| \epsilon_1 - \epsilon_2 \right| = N F_{\epsilon}$$

Si queremos determinar las tensiones en la superficie de la pieza y admitiendo proporcionalidad tenso-deformacional en la estructura :

$$C_{\epsilon} 2e \left[\frac{1 + \mu_{\text{pieza}}}{E_{\text{pieza}}} \right] \left| \sigma_1 - \sigma_2 \right| = \delta \quad (\text{AII-25})$$

Es muy importante la elección de un valor mínimo de F_g para obtener buenos registros, lo que obliga a trabajar con espesores altos. En tal caso, puede haber influencia sobre el comportamiento real de la pieza. Estudios especializados y factores de corrección pueden encontrarse en [Ref.6 y 9]. (Fig. AII-14).

Las galgas fotoelásticas por reflexión tienen su aplicación en el estudio de tensiones residuales o internas por medio de los conocidos métodos experimentales de corte y taladro circular. [Ref.6]. También el análisis sobre medios anisótropos [Ref.9] puede abordarse con éxito, en particular el estudio de isoclinas e isostáticas deformacionales.

Las placas delgadas, que puedan admitir experimentalmente el recubrimiento por sus dos caras o mediante la confección de un doble modelo fotoelástico con la superficie reflejante en plano medio y cara superficial, (Fig. AII-14), pueden ser analizadas separando las tensiones debidas a flexión y compresión uniforme. [Ref.6]

De forma general, cuando es necesario un estudio cuantitativo la separación de tensiones se realiza mediante incidencia oblicua puntual, obteniéndose las deformaciones principales en el recubrimiento y por tanto en la estructura. Es necesario acoplar un mecanismo auxiliar cuyo esquema se representa en la Fig. AII-15.

FOTOELASTICIDAD TRIDIMENSIONAL

El estudio de modelos tridimensionales en Fotoelasticidad es realmente complejo tanto en su aspecto teórico como experimental.

La información obtenida generalmente hace referencia a un plano de trabajo. El conocimiento del tensor tensión exige seis parámetros, y por tanto debe recurrirse al estudio en otros planos e interrelacionar los resultados.

La mayoría de técnicas que se describen a continuación son extremadamente delicadas y requieren de una alta cualificación experimental.

Método de la lámina incluida o de Favre.

Consiste en incorporar en el mecanizado o moldeado de la pieza, compuesta de material traslúcido con baja birrefringencia (metacrilato de metilo), una lámina plana incluida fotoelásticamente activa (resina epoxi con aditivos adhesivos). (Fig. AII-16)

Aproximadamente los módulos elásticos de ambos son coincidentes.

El estudio en el polariscopio solo revela la birrefringencia en el plano de la placa. Corresponde a la Teoría de la Elasticidad interpretar los resultados. El método se aplica en cuerpos con simetría geométrica y de carga, o en problemas axisimétricos.

Método de "Congelación de tensiones"

La técnica denominada de congelación de tensiones es muy utilizada en 3D y ocasionalmente en 2D.

Consiste básicamente en retener con un enfriamiento cuidadoso la birrefringencia óptica presente en el material a alta temperatura. Este fenómeno puede conseguirse gracias al doble tipo de enlace molecular que poseen algunos polímeros (Fig. AII-17).

A baja temperatura coexisten ambos enlaces presentando el material un alto módulo elástico E y alta cte. fotoelástica C_σ . A partir de una temperatura T_0 de transición solo queda operativo un solo tipo de enlace, con bajo E' y C' .

El material es pues muy deformable, pero con baja carga se obtiene un excelente registro fotoelástico. [Ref.4] [Ref.6] [Ref.12].

Si a dicha temperatura T_0 se carga el modelo y a la vez se procede a un lento enfriamiento, la imagen fotoelástica o birrefringencia queda prácticamente retenida o "congelada" a la temperatura ambiente.

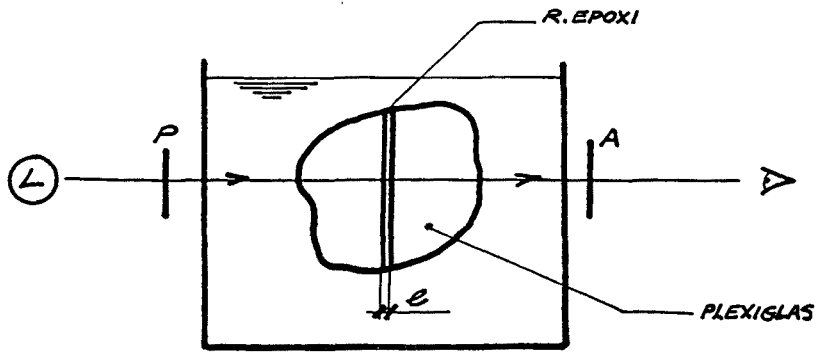
La variación de parámetros experimentales obliga a cargar simultáneamente y con idéntico proceso, una probeta testigo que nos servirá para calcular con exactitud los valores de E' y C'_σ que existieron a alta temperatura. [Ref.12].

La cuantificación de la calidad del material fotoelástico viene dado por la figura de mérito Q :

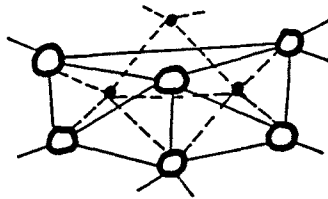
$$Q = \frac{E'}{C'_\sigma} \quad (\text{AII-26})$$

Es decir interesa baja deformación y alto registro óptico.

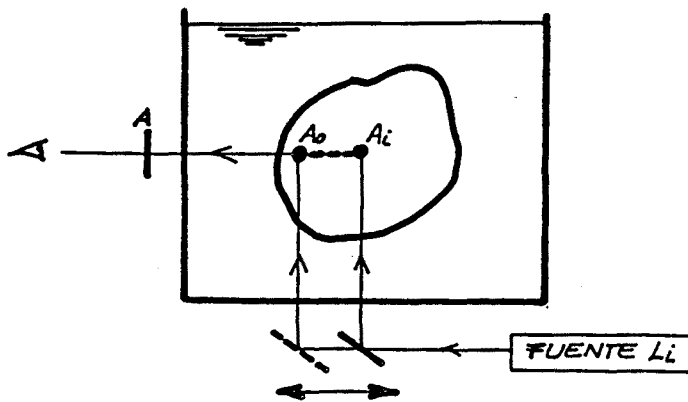
El coeficiente de Poisson a temperatura T_0 es cercano al valor de 0.5, lo que impone graves inconvenientes al método, tanto al aplicar la teoría de modelos como en la separación de tensiones mediante sistemas micrométricos. [Ref.12]



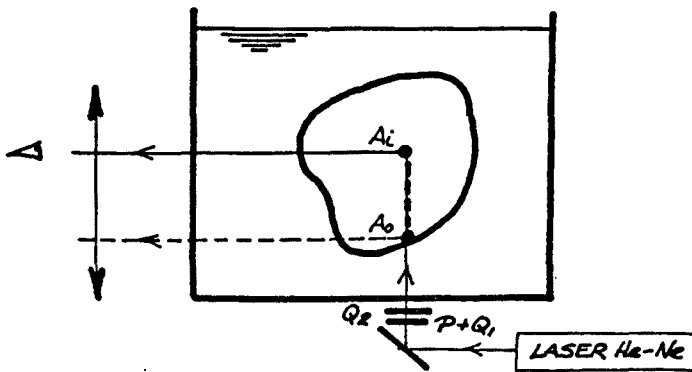
A.II-16 Técnica 3D de lámina incluida.



A.II-17 Doble tipo de enlace.



A.II-18 La difusión como polarizador interno



A.II-19 Incidencia previamente polarizada.

Concluida la etapa experimental, el siguiente proceso es la extracción de resultados.

El sistema más utilizado es el análisis de rebanadas planas paralelas obtenidas por corte y mecanizado del modelo.

La observación se realiza con una incidencia normal y dos oblicuas, posteriormente se aplica el método de diferencia de cortantes basado en las Ecuaciones de Equilibrio. (A-I) [Ref.12]

Método de la Luz Difusa

Este método puede aplicarse tanto a la pieza directamente cargada, como a modelos previamente congelados. El montaje debe sumergirse en una cuba con un líquido de índice de refracción semejante al material fotoelástico, con efecto de evitar reflexiones e incidencias no normales. Por tanto, la congelación de tensiones evita el engorroso sistema de carga.

La luz difusa es la que se propaga perpendicularmente al recorrido del rayo principal. El principio de medida se basa en la propiedad que tiene la misma de estar polarizada linealmente sobre el plano normal de avance del rayo principal.

En la práctica se utilizan dos sistemas de trabajo:

- 1- El fenómeno de la difusión actúa de polarizador interno (Fig. AII-18).

El rayo incidente es de luz monocromática, pero exento de polarización preferente. En el pto de estudio A_i se produce la difusión de la luz y esta sale linealmente polarizada en el plano perpendicular al papel. En el analizador se observa la birrefringencia acumulada entre A_i y la salida del modelo. Comparando entre un pto. inicial conocido A_o y A_i puede determinarse el incremento de birrefringencia con la ayuda de un elipsómetro electrónico

- 2- La luz incide previamente polarizada (Fig. AII-19).

El haz laser de He-Ne (632 nm) es polarizado y dos láminas posicionales L/4 modulan su amplitud. El observador puede evaluar la birrefringencia acumulada entre dos puntos : A_o y A_i .

Dado que, en general, no solo varían las tensiones entre A_o y A_i si no también las direcciones principales a lo largo del recorrido, el tratamiento matemático de la información es harto complejo.

ANEXO III
PROGRAMACION

A. I I I PROGRAMACION

Ya que la investigación sigue en su línea de trabajo, no deben considerarse los programas como cerrados.

La puesta en marcha de B.F.A obliga al control del conjunto formado por los motores c.c. y encoders respectivos. Se ha realizado alguna prueba en programas independientes, pero es preciso un ensamblado general del sistema.

El software IMAGEACTION (Apart. 2.23) ha sido de gran utilidad en la prueba inicial y puesta a punto de los algoritmos.

El compilador utilizado es MICROSOFT Versión 3.31 y las librerías ITEXPC de IMAGING.Inc. Se ha procurado seguir la norma FORTRAN 77 y comentar suficientemente los diferentes pasos del algoritmo.

Se adjuntan los programas más significativos :

ERROR.FOR	Simulación del retardo absoluto δ . (Pag.3-53)
ISORAPID.FOR	Idem. en dos fases: I y II. (Pag.3-57).
ISOCLIN.FOR	Composición de los registros I- \emptyset * mediante variable compleja de ángulo duplo. (Pag.3-26)
ISDSTAT.FOR	Obtención de líneas pseudoisostáticas con una trama virtual. (Pag.3-41).
RETARDO.FOR	Mediante los cuatro registros Li, obtención del retardo absoluto δ en todos los pixels del modelo. (Pag.3-58).
IMAGEIMP.FOR	Programa auxiliar para salida impresa de resultados en formato \$.IMG. (Pag.4-11).

ERROR. FOR

```

87  PROGRAM ERROR
REAL*4 DELTA, ADELTA, EMAX, EMIN
REAL*4 E(200), D(200), EP(6), Z(6), L(6)
REAL*4 VALOR(100)
OPEN(1, FILE='PRN')
WRITE(1, *) CHAR(15)
WRITE(1, *) CHAR(27), CHAR(51), CHAR(19)
WRITE(1, *) CHAR(27), CHAR(83), CHAR(0)
WRITE(*, *) 'NUMERO DE LONGITUDES DE ONDA ='
READ(*, *) N
DO 1 I=1, N
    WRITE(*, 100) I
    FORMAT (' ', 'L(', I1, ')=' . . .)
    READ(*, *) L(I)
100 1  WRITE(*, *) 'RETARDO = . . . '
    READ(*, *) DELTA
    WRITE(*, *) 'INCREMENTO DE RETARDO = . . . '
    READ(*, *) ADELTA
    WRITE(1, *) '          # PROGRAMA SIMULACION RESPUESTA ALGORITMO #'
    WRITE(1, *) '          LONGITUDES DE ONDA'
    DO 10 I=1, N
        WRITE(1, 130) I, L(I)
100 130  FORMAT (' ', 15X, 'L(', I1, ')=' , F7.2)
        WRITE(1, *) '          RETARDO EXISTENTE =', DELTA
        WRITE(1, *) '          INCREMENTO DE RETARDO=', ADELTA
        WRITE(1, *) '          *** EVALUACION SIMULADA DE Z(I) ***'
        DO 2 I=1, N
            Z(I)=250.0*(SIN((DELTA*3.14159)/L(I)))**2)
2 2  WRITE(1, 110) I, L(I), I, Z(I)

110 110  FORMAT (' ', 15X, 'L(', I1, ')=' , F9.2, 8X, 'Z(', I1, ')=' , F9.2)
    WRITE(1, *) '          *** EVALUACION ERROR E(D) ***'
    DD=0.0
    EMAX=0.0
    EMIN=10000.0
    DO 3 J=1, 200, 1
        D(J)=DD
        E(J)=0.0
        DO 4 I=1, N
            EP(I)=ABS(250.0*(SIN((D(J)*3.15159)/L(I)))**2-Z(I))
4 4  E(J)=E(J)+EP(I)
            IF(E(J).GT.EMAX) EMAX=E(J)
            IF(E(J).GT.EMIN) GOTO 3
        EMIN=E(J)
        DMIN=DD
3 3  DD=DD+ADELTA
    WRITE(1, *) '          *** DIBUJO FUNCION ERROR E(D) ***'
    WRITE(1, 140)
140 140  FORMAT (' ', 10X, 'RETARDO', 103X, 'ERROR')
    DO 6 J=1, 200, 2
        DO 5 K=1, 100
            VALOR(K)=' '
5 5  M=NINT((E(J)/EMAX)*100.0)
            VALOR(M)='*'
6 6  WRITE(1, 120) D(J), (VALOR(K), K=1, 100), E(J)
120 120  FORMAT (' ', 7X, F6.1, ' I', 100A1, ' ', F9.2)
    WRITE(1, *) '          *** MINIMO FUNCION ERROR E(D) ***'
    WRITE(1, *) '          RETARDO SOLUCION =', DMIN
    WRITE(1, *) '          FUNCION ERROR E(D) =', EMIN
    STOP
END

```

ISORAPID.FOR

```

PROGRAM ISORAPID
INTEGER*2 DELTA,EMAX,EMIN,N,LOCAL
INTEGER*2 E(15),D(15),EP(6),Z(6),L(6)
REAL*4 VALOR(100),NN
OPEN(1,FILE='PRN')
WRITE(1,*) CHAR(15)
WRITE(1,*) CHAR(27),CHAR(51),CHAR(18)
WRITE(1,*) CHAR(27),CHAR(83),CHAR(0)
WRITE(*,*) 'NUMERO DE LONGITUDES DE ONDA ='
READ(*,*) N
WRITE(*,*) 'L(1).....LONGITUD MAESTRA'
DO 1 I=1,N
    WRITE(*,100) I,I
100    FORMAT (' ',L(' ',I1,'')=' ',10X,'Z(' ',I1,'')=' ')
    READ(*,*)L(I)
1    READ(*,*)Z(I)
    WRITE(1,*) '          * PROGRAMA SIMULACION ISORAPID *'
    WRITE(1,102)
102    FORMAT(//)
    WRITE(1,*) '          *** DATOS / L(1)-Longitud maestra ***'
    DO 2 I=1,N
2        WRITE(1,110) I,L(I),I,Z(I)
110    FORMAT(' ',15X,'L(' ',I1,'')=' ',15,8X,'Z(' ',I1,'')=' ',15)
    NN=(ASIN((Z(1)/250.)*0.5))/3.14159
    WRITE(1,120) NN
120    FORMAT(' ',9X,'ORDEN FRACCIONARIO L(1) =' ,F8.6,/)
    D(1)=NN*L(1)
    D(2)=(1-NN)*L(1)
    D(3)=(1+NN)*L(1)
    D(4)=(2-NN)*L(1)
    D(5)=(2+NN)*L(1)
    D(6)=(3-NN)*L(1)
    D(7)=(3+NN)*L(1)
    D(8)=(4-NN)*L(1)
    D(9)=(4+NN)*L(1)
    D(10)=(5-NN)*L(1)
    D(11)=(5+NN)*L(1)
    D(12)=(6-NN)*L(1)
    D(13)=(6+NN)*L(1)
    D(14)=(7-NN)*L(1)
    D(15)=(7+NN)*L(1)
    LOCAL=0
50    EMAX=0
    EMIN=10000
    DO 3 J=1,15
        IF(D(J).GT.4500) GOTO 8
        E(J)=0
        DO 4 I=1,N
4            EP(I)=ABS(250.0*(SIN((D(J)*3.14159)/L(I)))*2-Z(I))
            E(J)=E(J)+EP(I)
            IF(E(J).GT.EMAX) EMAX=E(J)
            IF(E(J).GT.EMIN) GOTO 3
            EMIN=E(J)
            DMIN=D(J)
3        CONTINUE
8        WRITE(1,*) '          *** DIBUJO FUNCION ERROR E(D) ***'
        WRITE(1,140)
140    FORMAT(' ',10X,'RETARDO',105X,'ERROR')
        DO 6 J=1,15
            DO 5 K=1,100
5                VALOR(K)=' '
                M=NINT(((E(J)*1.)/EMAX)*100.0)
                VALOR(M)='*'
                IF(LOCAL.EQ.1) GOTO 6
                WRITE(1,250)
250            FORMAT(2X)
6                WRITE(1,150) D(J),(VALOR(K),K=1,100),E(J)
150    FORMAT(' ',7X,18,' I',100A1,' ',18)
        WRITE(1,200)
200    FORMAT(//)
        WRITE(1,*) '          *** MINIMO FUNCION ERROR E(D) ***'

```

```

WRITE(1,*)'
WRITE(1,*)'
IF (LOCAL.EQ.1) GOTO 60
LOCAL=1
WRITE(1,210)
210 FORMAT(///)
WRITE(1,*)' *** BARRIDO LOCAL RETARDO SOLUCION ***'
DO 55 J=1,15
55 D(J)=(DMIN-35)+J*5
GOTO 50
60 CONTINUE
STOP
END
RETARDO SOLUCION = ',DMIN
FUNCION ERROR E(D) = ',EMIN

```



```

1050  FORMAT(' ',A)
C
FNAME='CONT.IMG'
ERRVAL=READFT(0,0,256,256,FNAME,COMLIN)
DO 15 I=1,256
  DO 15 J=1,256
    X=J-1
    Y=I-1
    Z=RPIXEL(X,Y)
    IF(Z.LT.250) TOTAL(I,J,1)=20000
15  CONTINUE
C
C -----
C ***** REGISTRO PARCIAL ISOCLINA 0 *****
C -----
WRITE(2,1000)CHAR(27),'[4,1f'
WRITE(2,1050)'
WRITE(2,1050)'          Isoclina = 0
WRITE(2,1050)'
C
FNAME='IC-0.IMG'
ERRVAL=READFT(0,256,256,256,FNAME,COMLIN)
C
DO 20 I=1,256
  DO 20 J=1,256
    IF(TOTAL(I,J,1).EQ.20000) GOTO 20
    X=J-1
    Y=I+255
    Z=RPIXEL(X,Y)
C
    IF(Z.NE.250) THEN
      IF(TOTAL(I,J,1).EQ.-20000) TOTAL(I,J,1)=0
      TOTAL(I,J,1)=TOTAL(I,J,1)+COS(2*Z*3.14159/180)*1000
      TOTAL(I,J,2)=TOTAL(I,J,2)+SIN(2*Z*3.14159/180)*1000
    ENDIF
20  CONTINUE
C
C -----
C ***** REGISTRO PARCIAL ISOCLINA 15 *****
C -----
WRITE(2,1000)CHAR(27),'[5,1f'
WRITE(2,1050)'          Isoclina = 15
C
FNAME='IC-15.IMG'
ERRVAL=READFT(0,256,256,256,FNAME,COMLIN)
C
DO 30 I=1,256
  DO 30 J=1,256
    IF(TOTAL(I,J,1).EQ.20000) GOTO 30
    X=J-1
    Y=I+255
    Z=RPIXEL(X,Y)
C
    IF(Z.NE.250) THEN
      IF(TOTAL(I,J,1).EQ.-20000) TOTAL(I,J,1)=0
      TOTAL(I,J,1)=TOTAL(I,J,1)+COS(2*Z*3.14159/180)*1000
      TOTAL(I,J,2)=TOTAL(I,J,2)+SIN(2*Z*3.14159/180)*1000
    ENDIF
30  CONTINUE
C
C -----
C ***** REGISTRO PARCIAL ISOCLINA 30 *****
C -----
WRITE(2,1000)CHAR(27),'[5,1f'
WRITE(2,1050)'          Isoclina = 30
C
FNAME='IC-30.IMG'

```



```

ERRVAL=READFT(0,256,256,256,FNAME,COMLIN)
C
DO 40 I=1,256
DO 40 J=1,256
IF(TOTAL(I,J,1).EQ.20000) GOTO 40
X=J-1
Y=I+255
Z=RPIXEL(X,Y)
C
IF(Z.NE.250) THEN
IF(TOTAL(I,J,1).EQ.-20000) TOTAL(I,J,1)=0
TOTAL(I,J,1)=TOTAL(I,J,1)+COS(2*Z*3.14159/180)*1000
TOTAL(I,J,2)=TOTAL(I,J,2)+SIN(2*Z*3.14159/180)*1000
ENDIF
40 CONTINUE
C
C
C
C
***** REGISTRO PARCIAL ISOCLINA 45 *****
C
C
C
WRITE(2,1000)CHAR(27),'[5,1f'
WRITE(2,1050)'          Isoclina = 45
C
FNAME='IC-45.IMG'
ERRVAL=READFT(0,256,256,256,FNAME,COMLIN)
C
DO 50 I=1,256
DO 50 J=1,256
IF(TOTAL(I,J,1).EQ.20000) GOTO 50
X=J-1
Y=I+255
Z=RPIXEL(X,Y)
C
IF(Z.NE.250) THEN
IF(TOTAL(I,J,1).EQ.-20000) TOTAL(I,J,1)=0
TOTAL(I,J,1)=TOTAL(I,J,1)+COS(2*Z*3.14159/180)*1000
TOTAL(I,J,2)=TOTAL(I,J,2)+SIN(2*Z*3.14159/180)*1000
ENDIF
50 CONTINUE
C
C
C
C
***** REGISTRO PARCIAL ISOCLINA 60 *****
C
C
C
WRITE(2,1000)CHAR(27),'[5,1f'
WRITE(2,1050)'          Isoclina = 60
C
FNAME='IC-60.IMG'
ERRVAL=READFT(0,256,256,256,FNAME,COMLIN)
C
DO 60 I=1,256
DO 60 J=1,256
IF(TOTAL(I,J,1).EQ.20000) GOTO 60
X=J-1
Y=I+255
Z=RPIXEL(X,Y)
C
IF(Z.NE.250) THEN
IF(TOTAL(I,J,1).EQ.-20000) TOTAL(I,J,1)=0
TOTAL(I,J,1)=TOTAL(I,J,1)+COS(2*Z*3.14159/180)*1000
TOTAL(I,J,2)=TOTAL(I,J,2)+SIN(2*Z*3.14159/180)*1000
ENDIF
60 CONTINUE
C
C
C
C
***** REGISTRO PARCIAL ISOCLINA 75 *****
C
C
C
WRITE(2,1000)CHAR(27),'[5,1f'
WRITE(2,1050)'          Isoclina = 75

```

```

FNAME='IC-75.IMG'
ERRVAL=READFT(0,256,256,256,FNAME,COMLIN)
C
DO 70 I=1,256
  DO 70 J=1,256
    IF (TOTAL(I,J,1).EQ.20000) GOTO 70
    X=J-1
    Y=I+255
    Z=RPIXEL(X,Y)
C
    IF (Z.NE.250) THEN
      IF (TOTAL(I,J,1).EQ.-20000) TOTAL(I,J,1)=0
      TOTAL(I,J,1)=TOTAL(I,J,1)+COS(2*Z*3.14159/180)*1000
      TOTAL(I,J,2)=TOTAL(I,J,2)+SIN(2*Z*3.14159/180)*1000
    ENDIF
70  CONTINUE
C
C
C -----
C ***** CALCULO DEL ANGULO DE ISOCCLINA CORREGIDO TOTAL *****
C -----
C WRITE(2,1000)CHAR(27),'[5,1f'
C WRITE(2,1050)'      Composicion de registros      '
C
C DO 510 I=1,256
C   DO 510 J=1,256
C     IF (TOTAL(I,J,1).EQ.20000) GOTO 510
C     X=J+255
C     Y=I+255
C
C     IF (TOTAL(I,J,1).EQ.-20000) THEN
C       CALL WPIXEL(X,Y,250)
C       GOTO 510
C     ENDIF
C
C     FI=ATAN2(TOTAL(I,J,2)*1.0,TOTAL(I,J,1)*1.0)/2
C     Z=FI*180/3.14159
C     IF (Z.LT.0) Z=Z+180
C     CALL WPIXEL(X,Y,Z)
C
C 510 CONTINUE
C
C
C -----
C ***** INTERPOLACION EN PIXELS VACIOS *****
C -----
C WRITE(2,1000)CHAR(27),'[5,1f'
C WRITE(2,1050)'      Interpolacion bidimensional      '
C
C CALL CAREA (256,256,256,256,256,0,256,256)
C
C DO 800 I=1,256
C   DO 800 J=1,256
C     IF (TOTAL(I,J,1).NE.-20000) GOTO 800
C     X=J+255
C     Y=I-1
C
C     ----- DISTANCIA DERECHA D1 -----
C
C     DO 565 D1=1,50
C       IF (J+D1.GT.256) GOTO 564
C       IF (TOTAL(I,J+D1,1).EQ.20000) THEN
C         ID1=0.
C         A1=0.
C         B1=0.
C         GOTO 570
C       ENDIF
C       IF (TOTAL(I,J+D1,1).NE.-20000) THEN
C         ID1=1./D1

```

```

          A1=TOTAL(I,J+D1,1)
          B1=TOTAL(I,J+D1,2)
          GOTO 570
        ENDIF
565      CONTINUE
566      ID1=0.
          A1=0.
          B1=0.
C
C      ----- DISTANCIA SUPERIOR D2 -----
C
570      DO 575 D2=1,50
          IF(I-D2.LT.1) GOTO 576
          IF(TOTAL(I-D2,J,1).EQ.20000) THEN
              ID2=0.
              A2=0.
              B2=0.
              GOTO 580
          ENDIF
          IF(TOTAL(I-D2,J,1).NE.-20000) THEN
              ID2=1./D2
              A2=TOTAL(I-D2,J,1)
              B2=TOTAL(I-D2,J,2)
              GOTO 580
          ENDIF
575      CONTINUE
576      ID2=0.
          A2=0.
          B2=0.
C
C      ----- DISTANCIA IZQUIERDA D3 -----
C
580      DO 585 D3=1,50
          IF(J-D3.LT.1) GOTO 586
          IF(TOTAL(I,J-D3,1).EQ.20000) THEN
              ID3=0.
              A3=0.
              B3=0.
              GOTO 590
          ENDIF
          IF(TOTAL(I,J-D3,1).NE.-20000) THEN
              ID3=1./D3
              A3=TOTAL(I,J-D3,1)
              B3=TOTAL(I,J-D3,2)
              GOTO 590
          ENDIF
585      CONTINUE
586      ID3=0.
          A3=0.
          B3=0.
C
C      ----- DISTANCIA INFERIOR D4 -----
C
590      DO 595 D4=1,50
          IF(I+D4.GT.256) GOTO 596
          IF(TOTAL(I+D4,J,1).EQ.20000) THEN
              ID4=0.
              A4=0.
              B4=0.
              GOTO 600
          ENDIF
          IF(TOTAL(I+D4,J,1).NE.-20000) THEN
              ID4=1./D4
              A4=TOTAL(I+D4,J,1)
              B1=TOTAL(I+D4,J,2)
              GOTO 600
          ENDIF
595      CONTINUE
596      ID4=0.
          A4=0.
          B4=0.
C

```

```

600          CONTINUE
C
          A=(ID1*A1+ID2*A2+ID3*A3+ID4*A4)/(ID1+ID2+ID3+ID4)
          B=(ID1*B1+ID2*B2+ID3*B3+ID4*B4)/(ID1+ID2+ID3+ID4)
C
          FI=ATAN2(B,A)/2
          Z=FI*180./3.14159
          IF(Z.LT.0) Z=Z+180
          CALL WPIXEL(X,Y,Z)
C
800          CONTINUE
C
C -----
C ***** RESTAURACION TOTAL(256,256,I) *****
C -----
          WRITE(2,1000)CHAR(27),'[5,1f'
          WRITE(2,1050)'Restauracion de TOTAL(256,256,I) en '
          WRITE(2,1050)' pantalla. (Aprox. 60 seg.)
C
          DO 850 I=1,256
            DO 850 J=1,256
              IF(TOTAL(I,J,1).NE.20000) THEN
                X=J+255
                Y=I-1
                Z=RPIXEL(X,Y)
                TOTAL(I,J,1)=COS(2*Z*3.14159/180.)*1000
                TOTAL(I,J,2)=SIN(2*Z*3.14159/180.)*1000
              ENDIF
            END DO
          END DO
850          CONTINUE
C
C -----
C ***** SUAVIZADO DEL REGISTRO FINAL *****
C -----
          WRITE(2,1000)CHAR(27),'[5,1f'
          WRITE(2,1050)' Suavizado completo con deteccion '
          WRITE(2,1050)' inteligente del contorno.
          WRITE(2,1000)CHAR(27),'[9,1f'
          WRITE(2,1050)' Recomendado: N = 1 a 3 max.
C
          WRITE(2,1050)CHAR(7)
          WRITE(2,1000)CHAR(27),'[14,1f'
          WRITE(2,1000)CHAR(27),'[0,1,33m'
          WRITE(2,*)'NUMERO DE SUAVIZADOS = .....
          READ(*,*) NS
          IF(NS.EQ.0) GOTO 952
          M=0
          M=M+1
900          DO 950 I=1,256
            DO 950 J=1,256
              X=J+255
              Y=I-1
              IF(TOTAL(I,J,1).EQ.20000) GOTO 950
C
C -----
              A=2*TOTAL(I,J,1)
              B=2*TOTAL(I,J,2)
              NN=2
C
              IF(TOTAL(I-1,J+1,1).EQ.20000) GOTO 855
              A=A+TOTAL(I-1,J+1,1)
              B=B+TOTAL(I-1,J+1,2)
              NN=NN+1
C
              IF(TOTAL(I-1,J-1,1).EQ.20000) GOTO 860
              A=A+TOTAL(I-1,J-1,1)
              B=B+TOTAL(I-1,J-1,2)
              NN=NN+1
C
              IF(TOTAL(I+1,J-1,1).EQ.20000) GOTO 865
              A=A+TOTAL(I+1,J-1,1)

```

```

      B=B+TOTAL(I+1,J-1,2)
      NN=NN+1
C
865      IF(TOTAL(I+1,J+1,1).EQ.20000) GOTO 870
      A=A+TOTAL(I+1,J+1,1)
      B=B+TOTAL(I+1,J+1,2)
      NN=NN+1
C
870      -----
      TOTAL(I,J,1)=A/NN
      TOTAL(I,J,2)=B/NN
C
      FI=ATAN2(TOTAL(I,J,2)*1.,TOTAL(I,J,1)*1.)/2
      Z=FI*180./3.14159
      IF(Z.LT.0) Z=Z+180
      CALL WPIXEL(X,Y,Z)
C
950      CONTINUE
      IF(NS.GT.M) GOTO 900
C
C
C
C
C      **** SALVAR RESULTADO TOTAL (256,256,I) *****
C
952      WRITE(2,1000)CHAR(27),'[0;5;30;47m'
      WRITE(2,1000)CHAR(27),'[4;1f'
      WRITE(2,1050)' Es opcional la grabacion del resul-'
      WRITE(2,1050)' tado final. Utilizar preferentemente'
      WRITE(2,1050)' 180.IMG como archivo de volcado. '
      WRITE(2,1000)CHAR(27),'[9;1f'
      WRITE(2,1050)' -----.IMG (max 8) '
C
      WRITE(2,1000)CHAR(27),'[16;1f'
955      WRITE(2,1000)CHAR(27),'[0;1;33m'
      WRITE(2,1050)CHAR(7)
      WRITE(2,*)'GRABACION IMAGEN FINAL (B / N) = ..... '
      READ(2,1020) SN
      IF (SN.EQ.'N') GOTO 960

IF (SN.NE.'S') GOTO 955
C
      WRITE(2,1050)CHAR(7)
      WRITE(2,*)'NOMBRE ARCHIVO (_____.IMG) = ..... '
      READ(2,1020) FNAME
1020      FORMAT(A)
      ERRVAL=SAVEFT(256,0,256,256,0,FNAME,COMLIN)
C
C
C
960      WRITE(2,1000)CHAR(27),'[0;5;30;47m'
      WRITE(2,1000)CHAR(27),'[4;1f'
      WRITE(2,1050)' Zoom informatico 512x512 pixels. '
      WRITE(2,1050)' Nivel 0 = 0 grados '
      WRITE(2,1050)' Nivel 180 = 180 grados '
      WRITE(2,1000)CHAR(27),'[9;1f'
      WRITE(2,1050)' '
C
      CALL ZOOM(256,0,256,256,0,0,512,512,2,2)
C
      FNAME='ROTULO.IMG'
      ERRVAL=READFT(0,0,25,512,FNAME,COMLIN)
C
      WRITE(2,1000)CHAR(27),'[0;1;33m'
      WRITE(2,1000)CHAR(27),'[18;1f'
      WRITE(2,*)'***** FIN PROGRAMA 180CLIN.FOR *****'
      WRITE(2,1000)CHAR(27),'[0;1;37m'
      WRITE(2,1000)CHAR(27),'[24;55f'
      WRITE(2,*)'INTRO para finalizar...'
      WRITE(2,*)CHAR(7)
      READ(2,*)
      WRITE(2,1000)CHAR(27),'[0m'

```

```

WRITE(2,1000)CHAR(27),'[2J'
STOP
END

C
C *****
C
SUBROUTINE PORTADA
OPEN(2,FILE='CON')
-----
C
C PRIMERA PAGINA
C
-----
WRITE(2,50)CHAR(27),'[2J'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[-1h'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1,33,44,5m'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[6,1f'
WRITE(2,100)'
WRITE(2,100)'-----'
WRITE(2,100)'=
WRITE(2,100)'= I S O C L I N =
WRITE(2,100)'=
WRITE(2,100)'-----'
WRITE(2,100)'
50 FORMAT(' ',2A\
100 FORMAT(' ',8X,A,8X)
WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,37m'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[20,1f'
WRITE(2,100)' V:1.1 /Marzo 88 '
C
-----
WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1,37m'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[25,30f'
WRITE(2,250)'Intro... '
WRITE(2,250)CHAR(7)
250 READ(*,*)
C FORMAT(' ',A)
C
C SEGUNDA PAGINA
C
-----
WRITE(2,50)CHAR(27),'[2J'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[-3h'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1,33,44m'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[8,1f'
WRITE(2,200)'
WRITE(2,200)' AUTOMATIZACION EN LA TOMA DE MEDIDAS Y PROCESADO'
WRITE(2,200)' DE DATOS FOTOELASTICOS Y OPTOMECAICOS. (1988) '
WRITE(2,200)'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,37m'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[14,1f'
WRITE(2,210)' TESIS DOCTORAL UNIV. POLITECNICA DE CATALUNYA'
WRITE(2,210)' E.T.S INGENIEROS INDUSTRIALES DE BARCELONA'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[19,1f'
WRITE(2,210)' AUTOR ..... Frederic Marimon Carvajal'
WRITE(2,210)' DIRECTOR TESIS ..... Francisco Roure Fernandez'
200 FORMAT(' ',14X,A,14X)
210 FORMAT(' ',12X,A,12X)
C
-----
WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1,37m'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[25,55f'
WRITE(2,250)'INTRO para continuar... '
WRITE(*,*)CHAR(7)
READ(*,*)
C
C TERCERA PAGINA
C
-----
WRITE(2,50)CHAR(27),'[2J'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[2,5f'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1,33,47m'
WRITE(2,300)'SPECTRA '
WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,37m'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[2,15f'
WRITE(2,350)'Adquisicion Automatizada Li. Operador Y'
300 FORMAT(1X,A)

```

```

350      FORMAT(' ',5X,A)
C -----
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[4,5f'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1,33,47m'
      WRITE(2,300)'IBOBTAT '
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,37m'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[4,15f'
      WRITE(2,350)'Obtencion Pseudoisostaticas.'
C -----
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[6,5f'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1,33,47m'
      WRITE(2,300)'CIZAMAX '
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,37m'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[6,15f'
      WRITE(2,350)'Lineas de Maxima Cizalladura.'
C -----
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[8,5f'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,5,1,33,47m'
      WRITE(2,300)'ISOCLIN '
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,5,37m'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[8,15f'
      WRITE(2,350)'Procesado Imagenes Isoclinas Corregidas'
C -----
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[10,5f'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1,33,47m'
      WRITE(2,300)'RETARDO '
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,37m'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[10,15f'
      WRITE(2,350)'Calculo Retardo Optico Absoluto.'
C -----
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[12,5f'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1,33,47m'
      WRITE(2,300)'LAPLACE '
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,37m'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[12,15f'
      WRITE(2,350)'Tercer Dato con Ecuacion Compatibilidad'
C -----
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[14,5f'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1,33,47m'
      WRITE(2,300)'SISTEMA '
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,37m'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[14,15f'
      WRITE(2,350)'Tercer Dato con Equilibrio/Compatibilidad'
C -----
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[18,5f'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1,33,44m'
      WRITE(2,300)'IMAGEIMP'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,37m'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[18,15f'
      WRITE(2,350)'Programa Auxiliar Impresion Imagenes.'
C -----
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[20,5f'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1,33,44m'
      WRITE(2,300)'POST '
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,37m'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[20,15f'
      WRITE(2,350)'Paquete Integrado de Postproceso.'
C -----
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1,37m'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[25,55f'
      WRITE(2,250)'INTRO para continuar...'
      WRITE(2,*)CHAR(7)
      READ(*,*)
C -----
C                               CUARTA PAGINA
C -----
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[2J'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1,33,44m'
      WRITE(2,50)CHAR(27),'[1,1f'
      WRITE(2,400)'INFORMACION - AYUDA'
400      FORMAT(' ',30X,A,30X)

```

```

WRITE(2,50)CHAR(27),'[12,1f'
WRITE(2,400)' ENTRADA DE DATOS'
-----
C
WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1;33,47m'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[3,1f'

WRITE(2,450)'
AUXILIAR
WRITE(2,450)'
WRITE(2,450)'
WRITE(2,450)'
WRITE(2,450)'
WRITE(2,450)'
FORMATO DATOS E/S
WRITE(2,450)'
WRITE(2,450)'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[3,42f'
WRITE(2,450)'
GENERAL
WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,30,47m'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[4,42f'
WRITE(2,450)' Procesado de Isoclinas corregidas
WRITE(2,50)CHAR(27),'[5,42f'
WRITE(2,450)' IC- & .IMG mediante operativa con
WRITE(2,50)CHAR(27),'[6,42f'
WRITE(2,450)' variable compleja de angulo duplo.
WRITE(2,50)CHAR(27),'[7,42f'
WRITE(2,450)' Interpolacion en pixels exentos de
WRITE(2,50)CHAR(27),'[8,42f'
WRITE(2,450)' valor angular. Grabacion de resul-
WRITE(2,50)CHAR(27),'[9,42f'
WRITE(2,450)' tado sobre 180.IMG.
WRITE(2,50)CHAR(27),'[10,42f'
WRITE(2,450)'
450
FORMAT(' ',A)
-----
C
WRITE(2,450)CHAR(7)
WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,1;37m'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[24,55f'
WRITE(2,*)' INTRO para continuar...'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[24,55f'
READ(*,*)
WRITE(2,50)CHAR(27),'[24,55f'
WRITE(2,*)'
PROCESO.
WRITE(2,50)CHAR(27),'[4,1f'
WRITE(2,50)CHAR(27),'[0,30,47m'
-----
C
END

```


IMAGEIMP.FOR

```

PROGRAM IMAGEIMP
*INCLUDE:'ITEXPC.INC'
IMPLICIT INTEGER*2 (A-Z)
INTEGER*2 DATUM(128,128)
CHARACTER*127 TS
CHARACTER*20 FNAME
CHARACTER*127 COMLIN
CHARACTER*1 IMP(128),A1,A2,A3
OPEN (1,FILE='PRN')
WRITE(1,*) CHAR(15)
WRITE(1,*) CHAR(27),CHAR(51),CHAR(18)
WRITE(1,*) CHAR(27),CHAR(83),CHAR(0)
CALL BETHDW(14#FF00,14#A000,1)
CALL INITRE
CALL INITLU
CALL SCLEAR (128,1)
TS='--IMPRESION IMAGEN'
CALL TEXT (10,300,0,2,50,127,TS)
TS='IMAGEIMP'
CALL TEXT (3,100,0,8,255,127,TS)
10  WRITE(*,*) 'NOMBRE DEL ARCHIVO ..... =          .IMG ?'
100  READ(*,100) FNAME
    FORMAT (A)
    CALL SCLEAR (128,1)
    X=0
    Y=0
    DX=254
    DY=254
    ERRVAL=READFT(X,Y,DX,DY,FNAME,COMLIN)
    WRITE(*,*) 'POSIBLE ERROR ..... = ',ERRVAL
    IF(ERRVAL.NE.0) GOTO 10
    WRITE(*,*) 'OPCION DE CONVERSION ..... = ? (0/1)'
    WRITE(*,*) ' 0 ..... MANUAL ( 3 niveles )'
    WRITE(*,*) ' 1 ..... AUTOMATICO ( 25+2 niveles )'
    READ(*,*) OP
    IF(OP.EQ.0) THEN
        WRITE(*,*) '                                NIVEL 0 .... = ?'
        READ(*,100) A1
        WRITE(*,*) '                                NIVEL 254 .. = ?'
        READ(*,100) A2
        WRITE(*,*) '                                NIVEL INTERM.= ?'
        READ(*,100) A3
    ENDIF
    DO 21 J=1,128
        DO 20 I=1,128
            X=254-2*(J-1)
            Y=2*(I-1)
            DATUM(I,J)=RPIXEL(X,Y)
            IF (OP.EQ.0) THEN
                IMP(I)='0'
                IF (DATUM(I,J).EQ.0) IMP(I)=A1
                IF (DATUM(I,J).EQ.254) IMP(I)=A2
                IF (IMP(I).EQ.'0') IMP(I)=A3
            ELSE
                IF (DATUM(I,J).LE.1) THEN
                    IMP(I)='O'
                    GOTO 20
                ENDIF
                IF (DATUM(I,J).LE.10) THEN
                    IMP(I)='A'
                    GOTO 20
                ENDIF
                IF (DATUM(I,J).LE.20) THEN
                    IMP(I)='B'
                    GOTO 20
                ENDIF
                IF (DATUM(I,J).LE.30) THEN
                    IMP(I)='C'
                    GOTO 20
                ENDIF
                IF (DATUM(I,J).LE.40) THEN
                    IMP(I)='D'
                ENDIF
            ENDIF
        END DO
    END DO

```

```

GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.50) THEN
  IMP(I)='E'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.60) THEN
  IMP(I)='F'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.70) THEN
  IMP(I)='G'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.80) THEN
  IMP(I)='H'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.90) THEN
  IMP(I)='I'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.100) THEN
  IMP(I)='J'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.110) THEN
  IMP(I)='K'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.120) THEN
  IMP(I)='L'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.130) THEN
  IMP(I)='M'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.140) THEN
  IMP(I)='N'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.150) THEN
  IMP(I)='O'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.160) THEN
  IMP(I)='P'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.170) THEN
  IMP(I)='Q'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.180) THEN
  IMP(I)='R'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.190) THEN
  IMP(I)='S'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.200) THEN
  IMP(I)='T'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.210) THEN
  IMP(I)='U'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.220) THEN
  IMP(I)='V'
  GOTO 20
ENDIF
IF (DATUM(I,J).LE.230) THEN

```



```
                IMP(I)='W'  
                GOTO 20  
ENDIF  
IF (DATUM(I,J).LE.240) THEN  
    IMP(I)='X'  
    GOTO 20  
ENDIF  
IF (DATUM(I,J).LE.250) THEN  
    IMP(I)='Y'  
    GOTO 20  
ENDIF  
IF (DATUM(I,J).LE.255) THEN  
    IMP(I)='.'  
    GOTO 20  
ENDIF  
ENDIF  
20 CONTINUE  
21 WRITE(1,200) (IMP(I),I=1,128)  
200 FORMAT (' ',128A1)  
STOP  
END
```

RETARDO.FOR

```

PROGRAM RETARDO
*INCLUDE: 'ITEXPC.INC'
C -----
C          DEFINICION DE VARIABLES
C -----
IMPLICIT INTEGER*2 (A-Z)
INTEGER*2 L(4), Z(4), NIVEL
INTEGER*2 PIXARRAY(256)
INTEGER*2 TOTAL(256, 256)
INTEGER*4 MM, POS
INTEGER*4 HIST(256)
REAL*4 NN, NMAX
REAL*4 D(50)
CHARACTER*127 TS
CHARACTER*21 FNAME
CHARACTER*127 COMLIN
CHARACTER*8 JOB
CHARACTER*1 VALOR(100)
C -----
C          APERTURA DE CANALES COMUNICACION
C -----
OPEN (1, FILE='PRN')
OPEN (2, FILE='CON')
C -----
C          INICIALIZACION IMPRESORA
C -----
WRITE(1, *) CHAR(15)
WRITE(1, *) CHAR(27), CHAR(51), CHAR(18)
WRITE(1, *) CHAR(27), CHAR(83), CHAR(0)
C -----
C          INICIALIZAR REGISTROS - ROTULOS MONITOR VIDEO
C -----
CALL BETHDW(16#FF00, 16#A000, 1)
CALL INITIA
CALL SCLEAR (128, 1)
TS='-CALCULO RETARDO TOTAL'
CALL TEXT (10, 300, 0, 2, 50, 127, TS)
TS='RETARDO'
CALL TEXT (3, 100, 0, 8, 255, 127, TS)
C -----
C          DEFINICION MONITOR IBM
C -----
WRITE(2, '(1X, 2A)\') CHAR(27), '[2J'
WRITE(2, '(1X, 2A)\') CHAR(27), '[4'
C -----
C          LECTURA Y REGISTRO "CONT.IMG"
C -----
WRITE(2, *) 'TITULO DEL TRABAJO (max 8) = ..... '
READ(*, 1000) JOB
FORMAT (A)
WRITE(2, '(1X/1X)\')
C
CALL SCLEAR(0, 1)
C
ERRVAL=READFT(0, 0, 256, 256, 'CONT.IMG', COMLIN)
IF(ERRVAL.NE.0) WRITE(2, *) 'ERROR LECTURA ARCHIVO CONT.IMG'
DO 10 I=1, 256
    DO 10 J=1, 256
        X=J-1
        Y=I-1
        ZC=RPixel(X, Y)
        IF(ZC.LT.250) TOTAL(I, J)=20000
10 CONTINUE
C
CALL SCLEAR(0, 1)
C
L(1)=405
ERRVAL=READFT(0, 0, 256, 256, 'L1.IMG', COMLIN)
IF(ERRVAL.NE.0) WRITE(2, *) 'ERROR LECTURA ARCHIVO L1.IMG'
C

```



```

DO 137 J=1,256
  X=J-1
  Y=I+255
  IF(TOTAL(I,J).EQ.20000) THEN
    GOTO 137
  ENDIF
  NIVEL=4* RPIXEL(X,Y)
  DIV=4
132  IF(TOTAL(I-1,J+1).EQ.20000) GOTO 133
  NIVEL = NIVEL + RPIXEL(X+1,Y-1)
  DIV= DIV + 1
133  IF(TOTAL(I-1,J-1).EQ.20000) GOTO 134
  NIVEL = NIVEL + RPIXEL(X-1,Y-1)
  DIV= DIV + 1
134  IF(TOTAL(I+1,J-1).EQ.20000) GOTO 135
  NIVEL = NIVEL + RPIXEL(X-1,Y+1)
  DIV= DIV + 1
135  IF(TOTAL(I+1,J+1).EQ.20000) GOTO 136
  NIVEL = NIVEL + RPIXEL(X+1,Y+1)
  DIV= DIV + 1
136  NIVEL= NIVEL / DIV
  CALL WPIXEL(X,Y,NIVEL)
137  CONTINUE
C *****+ PARA L4 *****
DO 147 I=1,256
DO 147 J=1,256
  X=J+255
  Y=I+255
  IF(TOTAL(I,J).EQ.20000) THEN
    GOTO 147
  ENDIF
  NIVEL=4* RPIXEL(X,Y)
  DIV=4
142  IF(TOTAL(I-1,J+1).EQ.20000) GOTO 143
  NIVEL = NIVEL + RPIXEL(X+1,Y-1)
  DIV= DIV + 1
143  IF(TOTAL(I-1,J-1).EQ.20000) GOTO 144
  NIVEL = NIVEL + RPIXEL(X-1,Y-1)
  DIV= DIV + 1
144  IF(TOTAL(I+1,J-1).EQ.20000) GOTO 145
  NIVEL = NIVEL + RPIXEL(X-1,Y+1)
  DIV= DIV + 1
145  IF(TOTAL(I+1,J+1).EQ.20000) GOTO 146
  NIVEL = NIVEL + RPIXEL(X+1,Y+1)
  DIV= DIV + 1
146  NIVEL= NIVEL / DIV
  CALL WPIXEL(X,Y,NIVEL)
147  CONTINUE
IF(NST.LE.NB) GOTO 111
C
C -----
C ANALISIS Y CONVERSION DE LA IMAGEN
C -----
C
WRITE(2,*)'***** REGISTRO L1.IMG / L(1)=405 nm. *****'
WRITE(2,*)'Z[fondo] (Tipico= 30) = ..... '
READ(8,8) ZF
C
CALL HISTOG (0,0,256,256,1,1,HIST)
HH=0
DO 21 I=1,256
  HH= HH + HIST(257-I)
  IF (HH.GT.750) GOTO 22
21  CONTINUE
22  ZMAX=256-I
C
WRITE(2,*)'Z[Max] (Obtenido en Histograma) = ',ZMAX
WRITE(2,*(1X/1X)')
C
DO 23 I=1,256
  Y=I-1
  CALL RHLNE (0,Y,256,PIXARRAY)

```

```

                DO 24 N=1,256
                  PIXARRAY(N)=((PIXARRAY(N)-ZF)*250)/(ZMAX-ZF)
                  IF (PIXARRAY(N).LT.0) PIXARRAY(N)=0
                  IF (PIXARRAY(N).GT.250) PIXARRAY(N)=250
24                CONTINUE
23                CALL WHLINE (0,Y,256,PIXARRAY)
C
-----
WRITE(2,*)'***** REGISTRO L2.IMG / L(2)=470 nm. *****'
WRITE(2,*)'Z[fondo] (Tipico= 30) = ..... '
READ(*,*) ZF
C
CALL HISTOG (256,0,256,256,1,1,HIST)
HH= 0
DO 31 I=1,256
  HH= HH + HIST(257-I)
  IF (HH.GT.750) GOTO 32
31  CONTINUE
32  ZMAX= 256-I
C
WRITE(2,*)'Z[Max] (Obtenido en Histograma) = ',ZMAX
WRITE(2,*(1X/1X)')
C
DO 33 I=1,256
  Y=I-1
  CALL RHLINE (256,Y,256,PIXARRAY)
  DO 34 N=1,256
    PIXARRAY(N)=((PIXARRAY(N)-ZF)*250)/(ZMAX-ZF)
    IF (PIXARRAY(N).LT.0) PIXARRAY(N)=0
    IF (PIXARRAY(N).GT.250) PIXARRAY(N)=250
34  CONTINUE
33  CALL WHLINE (256,Y,256,PIXARRAY)
C
-----

WRITE(2,*)'***** REGISTRO L3.IMG / L(3)=530 nm. *****'
WRITE(2,*)'Z[fondo] (Tipico= 30) = ..... '
READ(*,*) ZF
C
CALL HISTOG (0,256,256,256,1,1,HIST)
HH= 0
DO 41 I=1,256
  HH= HH + HIST(257-I)
  IF (HH.GT.750) GOTO 42
41  CONTINUE
42  ZMAX=256-I
C
WRITE(2,*)'Z[Max] (Obtenido en Histograma) = ',ZMAX
WRITE(2,*(1X/1X)')
C
DO 43 I=1,256
  Y=(I-1)+256
  CALL RHLINE (0,Y,256,PIXARRAY)
  DO 44 N=1,256
    PIXARRAY(N)=((PIXARRAY(N)-ZF)*250)/(ZMAX-ZF)
    IF (PIXARRAY(N).LT.0) PIXARRAY(N)=0
    IF (PIXARRAY(N).GT.250) PIXARRAY(N)=250
44  CONTINUE
43  CALL WHLINE (0,Y,256,PIXARRAY)
C
-----

WRITE(2,*)'***** REGISTRO L4.IMG / L(4)=640 nm. *****'
WRITE(2,*)'Z[fondo] (Tipico= 30) = ..... '
READ(*,*) ZF
C
CALL HISTOG (256,256,256,256,1,1,HIST)
HH= 0
DO 51 I=1,256
  HH= HH + HIST(257-I)
  IF (HH.GT.750) GOTO 52
51  CONTINUE
52  ZMAX=256-I
C

```

```

WRITE(2,*)'Z[Max] (Obtenido en Histograma) = ',ZMAX
WRITE(2,*(1X/1X)')
C
DO 53 I=1,256
  Y=(I-1)+256
  CALL RHLIN (256,Y,256,PIXARRAY)
  DO 54 N=1,256
    PIXARRAY(N)=((PIXARRAY(N)-ZF)*250)/(ZMAX-ZF)
    IF (PIXARRAY(N).LT.0) PIXARRAY(N)=0
    IF (PIXARRAY(N).GT.250) PIXARRAY(N)=250
54      CONTINUE
53      CALL WHLINE (256,Y,256,PIXARRAY)
C
C      -----
C      PETICIONES DE CONTROL
C      -----
WRITE(2,*)'***** LONGITUD DE ONDA MAESTRA *****'
WRITE(2,1010)
1010  FORMAT(' ',L(1)=405nm.'/ ' ',L(2)=470nm.'/ ' ',L(3)=530nm.'/
C      ' ',L(4)=640nm.')
C      WRITE(2,*)'ELECCION L(I). I (1-4) = ..... '
READ(*,*) MM
LM=L(MM)
WRITE(2,*)'LONGITUD DE ONDA MAESTRA = ',LM,'nm.'
WRITE(2,*(1X/1X)')
C
WRITE(2,*)'***** ORDEN ENTERO MAXIMO *****'
WRITE(2,*)'ORDEN MAX. ESPERADO (0-5) (405nm) = ..... '
READ(*,*) NMAX
WRITE(2,*(1X/1X)')
C
WRITE(2,*)'***** LINEA DE CONTROL *****'
WRITE(2,*)'ELECCION FILA (0-255) (1000/NO) = ..... '
READ(*,*) NLIN
WRITE(2,*(1X/1X)')
C
WRITE(2,*)'***** DURACION DEL PROCESO APROX. 20 min. *****'
C
C      -----
C      OBTENCION RETARDO EN 128x128 PTOS.
C      -----
DMAX=0
DO 60 I=2,256,2
  DO 60 J=2,256,2
    IF (TOTAL(I,J).EQ.20000) GOTO 60
C
C      X=J-1
C      Y=I-1
C
C      Z(1)=RPIXEL(X,Y)
C      Z(2)=RPIXEL(X+256,Y)
C      Z(3)=RPIXEL(X,Y+256)
C      Z(4)=RPIXEL(X+256,Y+256)
C
C      NN=ASIN(SQRT(Z(MM)/250.))/3.14159
C
C      D(1)=NN*LM-50
C      D(2)=NN*LM-25
C      D(3)=NN*LM
C      D(4)=NN*LM+25
C      D(5)=NN*LM+50
C      D(6)=(1-NN)*LM-50
C      D(7)=(1-NN)*LM-25
C      D(8)=(1-NN)*LM
C      D(9)=(1-NN)*LM+25
C      D(10)=(1-NN)*LM+50
C      D(11)=(1+NN)*LM-50
C      D(12)=(1+NN)*LM-25
C      D(13)=(1+NN)*LM
C      D(14)=(1+NN)*LM+25
C      D(15)=(1+NN)*LM+50
C      D(16)=(2-NN)*LM-50
C      D(17)=(2-NN)*LM-25
C      D(18)=(2-NN)*LM

```



```

D(19) = (2-NN) *LM+25
D(20) = (2-NN) *LM+50
D(21) = (2+NN) *LM-50
D(22) = (2+NN) *LM-25
D(23) = (2+NN) *LM
D(24) = (2+NN) *LM+25
D(25) = (2+NN) *LM+50
D(26) = (3-NN) *LM-50
D(27) = (3-NN) *LM-25
D(28) = (3-NN) *LM
D(29) = (3-NN) *LM+25
D(30) = (3-NN) *LM+50
D(31) = (3+NN) *LM-50
D(32) = (3+NN) *LM-25
D(33) = (3+NN) *LM
D(34) = (3+NN) *LM+25
D(35) = (3+NN) *LM+50
D(36) = (4-NN) *LM-50
D(37) = (4-NN) *LM-25
D(38) = (4-NN) *LM
D(39) = (4-NN) *LM+25
D(40) = (4-NN) *LM+50
D(41) = (4+NN) *LM-50
D(42) = (4+NN) *LM-25
D(43) = (4+NN) *LM
D(44) = (4+NN) *LM+25
D(45) = (4+NN) *LM+50
D(46) = (5-NN) *LM-50
D(47) = (5-NN) *LM-25
D(48) = (5-NN) *LM
D(49) = (5-NN) *LM+25
D(50) = (5-NN) *LM+50

C
EMIN=10000
DO 73 M=1,50
      IF (D(M).GT.(NMAX*405)) GOTO 74
E=ABS(250*(1-EXP(-1.435E-4*D(M))*COS(D(M)*3.1416/405.))**2)-Z(1))
C +ABS(250*(1-EXP(-0.591E-4*D(M))*COS(D(M)*3.1416/470.))**2)-Z(2))
C +ABS(250*(1-EXP(-0.257E-4*D(M))*COS(D(M)*3.1416/530.))**2)-Z(3))
C +ABS(250*(1-EXP(-0.105E-4*D(M))*COS(D(M)*3.1416/640.))**2)-Z(4))
      IF (E.GT.EMIN) GOTO 73
      EMIN=E
      DMIN=D(M)

73      CONTINUE
C
74      CONTINUE
      DO 75 M=1,5
          D(M)=(DMIN-15)+6*M
E=ABS(250*(1-EXP(-1.435E-4*D(M))*COS(D(M)*3.1416/405.))**2)-Z(1))
C +ABS(250*(1-EXP(-0.591E-4*D(M))*COS(D(M)*3.1416/470.))**2)-Z(2))
C +ABS(250*(1-EXP(-0.257E-4*D(M))*COS(D(M)*3.1416/530.))**2)-Z(3))
C +ABS(250*(1-EXP(-0.105E-4*D(M))*COS(D(M)*3.1416/640.))**2)-Z(4))
      IF (E.GT.EMIN) GOTO 75
      EMIN=E
      DMIN=D(M)

75      CONTINUE
C
      TOTAL(I,J)=DMIN
      IF(DMIN.GT.DMAX) DMAX=DMIN

60      CONTINUE
C
      WRITE(2,*) 'RETARDO MAXIMO EN MODELO =      ',DMAX,' nm.'
      WRITE(2,*(1X/1X)*)
C
C      -----
C      GENERACION SOBRE 256x256 PTOS.
C      -----
      WRITE(2,*) '*****  REGISTRO Y SUAVIZADO RET. IMG      *****'
      WRITE(2,*(1X/1X)*)
      DO 80 I=2,256,2
          DO 80 J=2,256,2
              X=(J/2)-1
              Y=(I/2)-1

```

```

                IF (TOTAL (I, J).EQ.20000) THEN
                    CALL WPIXEL (X, Y, 0)
                ELSE
                    TOTAL (I, J) = (TOTAL (I, J) * 250) / DMAX
                    CALL WPIXEL (X, Y, TOTAL (I, J))
                ENDIF
80      CONTINUE
C
        CALL ZOOM (0, 0, 128, 128, 0, 0, 512, 512, 4, 4)
        CALL LOPASS (0, 0, 512, 512, 0)
        CALL SQUISH
C-----
C          REGISTRO RET. IMG
C-----
        ERRVAL=SAVEFT (0, 0, 256, 256, 0, 'RET. IMG', ' ')
        IF (ERRVAL.NE.0) WRITE (2, *) 'ERROR GRABACION ARCHIVO RET. IMG'
C-----
C          IMPRESION RETARDO COLUMNA
C-----
        IF (NLIN.EQ.1000) GOTO 110
C
        WRITE (1, 1020)
1020      FORMAT (' ', 10X, 'COLUMNA', 105X, 'RETARDO')
C
        DO 100 I=1, 128
            XX=2*I-1
            DATUM=RPIXEL (XX, NLIN)
            POS=(D
ATUM*100)/250
            DO 102 K=1, 100
                IF (K.LT.POS) VALOR (K)='.'
                IF (K.GT.POS) VALOR (K)='.'
102          CONTINUE
                VALOR (POS)='*'
                DELTA=(POS*DMAX)/100
100          WRITE (1, 1030) XX, (VALOR (K), K=1, 100), DELTA
1030          FORMAT (' ', 7X, 18, ' I', 100A1, ' I', 14, 'nm.')
C-----
C          FINAL PROGRAMA
C-----
110      STOP
        END

```

ISOSTAT.FOR

```

B>
C      PROGRAM ISOSTAT
C
C      *INCLUDE: 'ITEXPC.INC'
C
C      -----
C      ***** DEFINICION DE VARIABLES *****
C
C      IMPLICIT INTEGER*2 (A-Z)
C      INTEGER*2 TOTAL (256, 256), AUX, TMIN, TMAX
C      INTEGER*2 X, Y, DX, DY
C      INTEGER*2 ERRVAL
C      INTEGER*2 ZP, ZM, ZI
C      CHARACTER*21 FNAME
C      CHARACTER*127 COMLIN
C      CHARACTER*127 TS
C
C      -----
C      ***** CANALES DE COMUNICACION *****
C
C      -----IMPRESORA-----
C      OPEN (1, FILE='PRN')
C      WRITE (1, *) CHAR(15)
C      WRITE (1, *) CHAR(27), CHAR(51), CHAR(18)
C      WRITE (1, *) CHAR(27), CHAR(83), CHAR(10)
C
C      -----MONITOR IBM-----
C      OPEN (2, FILE='CON')
C      WRITE (2, '(1X, 2A)\') CHAR(27), '[2J'
C      WRITE (2, '(1X, 2A)\') CHAR(27), '[3h'
C
C      -----
C      ***** INICIALIZAR PROGRAMA *****
C
C      CALL BETHDW (16#FF00, 16#A000, 1)
C      CALL INITRE
C      CALL INITLU
C      CALL SCLEAR (128, 1)
C      TS='LINEAS PSEUDO-ISOSTATICAS'
C      CALL TEXT (10, 300, 0, 2, 50, 127, TS)
C      TS='ISOSTAT'
C      CALL TEXT (3, 100, 0, 8, 255, 127, TS)
C
C      WRITE (2, '(1X, 2A)\') CHAR(27), '[2J'
C      WRITE (2, *)
C      WRITE (2, '(1X, 2A)\') CHAR(27), '[33m'
C      WRITE (2, '(1X, 2A)\') CHAR(27), '[47m'
C      WRITE (2, *)
C      WRITE (2, '(1X, 2A)\') CHAR(27), '[40m'
C      WRITE (2, *)
C      WRITE (2, *) 'PROGRAMA PARA LA OBTENCION DE LA RED COMPLETA DE
C      WRITE (2, *) 'PSEUDO-ISOSTATICAS SOBRE EL MODELO FOTOELASTICO.
C      WRITE (2, *) 'UTILIZA LOS REGISTROS I-0/15/30/45/60/75 GENERADOS
C      WRITE (2, *) 'PREVIAMENTE POR ISOCLIN.SCR
C      WRITE (2, *) 'PERMITE LA ELECCION ENTRE DOS TIPOS DE TRAMA Y SAL-
C      WRITE (2, *) 'VA EL RESULTADO FINAL EN UN ARCHIVO _____.IMG
C      WRITE (2, *)
C
C      -----
C      ***** INICIALIZAR MATRIZ TOTAL (256, 256) *****
C
C      DO 10 I=1, 256
C          DO 10 J=1, 256
C              TOTAL(I, J)=0
C
C      -----
C      ***** ELECCION FINURA MALLA *****

```

```

C
WRITE (2, '(1X, 2A)\') CHAR(27), 'E32m'
WRITE (2, 1000)
1000 FORMAT (1X, 50('-'))
WRITE(2, *) 'ELECCION MALLADO (NORMAL=0/FIND=1) = ..... '
READ(*, *) N
CALL SCLEAR (50, 1)

C
C
C -----
C ***** REGISTRO PARCIAL ANGULO = 0 *****
C
IF (N.EQ.0) FNAME='M-45.IMG'
IF (N.EQ.1) FNAME='MF-45.IMG'

ERRVAL=READFT(0,0,256,256,FNAME,COMLIN)

FNAME='I-0.IMG'
ERRVAL=READFT(256,0,256,256,FNAME,COMLIN)

C
DO 20 I=1,256
      DO 20 J=1,256
            X= I-1
            Y= J-1
            ZM= RPIXEL(X,Y)
            ZI= RPIXEL(X+256,Y)
            ZP= (ZM/254.)*ZI
            CALL WPIXEL(X,Y+256,ZP)
20      TOTAL(I,J)= TOTAL(I,J)+ZP

C
C -----
C ***** REGISTRO PARCIAL ANGULO = 15 *****
C
IF (N.EQ.0) FNAME='M-60.IMG'
IF (N.EQ.1) FNAME='MF-60.IMG'

ERRVAL=READFT(0,0,256,256,FNAME,COMLIN)

FNAME='I-15.IMG'
ERRVAL=READFT(256,0,256,256,FNAME,COMLIN)

C
DO 30 I=1,256
      DO 30 J=1,256
            X= I-1
            Y= J-1
            ZM= RPIXEL(X,Y)
            ZI= RPIXEL(X+256,Y)
            ZP= (ZM/254.)*ZI
            CALL WPIXEL(X,Y+256,ZP)
30      TOTAL(I,J)= TOTAL(I,J)+ZP

C
C -----
C ***** REGISTRO PARCIAL ANGULO = 30 *****
C
IF (N.EQ.0) FNAME='M-75.IMG'
IF (N.EQ.1) FNAME='MF-75.IMG'

ERRVAL=READFT(0,0,256,256,FNAME,COMLIN)

FNAME='I-30.IMG'
ERRVAL=READFT(256,0,256,256,FNAME,COMLIN)

C
DO 40 I=1,256
      DO 40 J=1,256
            X= I-1
            Y= J-1
            ZM= RPIXEL(X,Y)
            ZI= RPIXEL(X+256,Y)
            ZP= (ZM/254.)*ZI
            CALL WPIXEL(X,Y+256,ZP)

```

```

40                                     TOTAL(I,J)= TOTAL(I,J)+ZP
C
C -----
C ***** REGISTRO PARCIAL ANGULO = 45 *****
C
C IF(N.EQ.0) FNAME='M-0.IMG'
C IF(N.EQ.1) FNAME='MF-0.IMG'
C
C ERRVAL=READFT(0,0,256,256,FNAME,COMLIN)
C
C FNAME='I-45.IMG'
C ERRVAL=READFT(256,0,256,256,FNAME,COMLIN)
C
C DO 50 I=1,256
C     DO 50 J=1,256
C         X= I-1
C         Y= J-1
C         ZM= RPIXEL(X,Y)
C         ZI= RPIXEL(X+256,Y)
C         ZP= (ZM/254.)*ZI
C         CALL WPIXEL(X,Y+256,ZP)
C         TOTAL(I,J)= TOTAL(I,J)+ZP
50
C
C -----
C ***** REGISTRO PARCIAL ANGULO = 60 *****
C
C IF(N.EQ.0) FNAME='M-15.IMG'
C IF(N.EQ.1) FNAME='MF-15.IMG'
C
C ERRVAL=READFT(0,0,256,256,FNAME,COMLIN)
C
C FNAME='I-60.IMG'
C ERRVAL=READFT(256,0,256,256,FNAME,COMLIN)
C
C DO 60 I=1,256
C     DO 60 J=1,256
C         X= I-1
C         Y= J-1
C         ZM= RPIXEL(X,Y)
C         ZI= RPIXEL(X+256,Y)
C         ZP= (ZM/254.)*ZI
C         CALL WPIXEL(X,Y+256,ZP)
C         TOTAL(I,J)= TOTAL(I,J)+ZP
60
C
C -----
C ***** REGISTRO PARCIAL ANGULO = 75 *****
C
C IF(N.EQ.0) FNAME='M-30.IMG'
C IF(N.EQ.1) FNAME='MF-30.IMG'
C
C ERRVAL=READFT(0,0,256,256,FNAME,COMLIN)
C
C FNAME='I-75.IMG'
C ERRVAL=READFT(256,0,256,256,FNAME,COMLIN)
C
C DO 70 I=1,256
C     DO 70 J=1,256
C         X= I-1
C         Y= J-1
C         ZM= RPIXEL(X,Y)
C         ZI= RPIXEL(X+256,Y)
C         ZP= (ZM/254.)*ZI
C         CALL WPIXEL(X,Y+256,ZP)
C         TOTAL(I,J)= TOTAL(I,J)+ZP
70
C
C -----
C ***** TOTAL(256,256) /VALOR MAX. Y MIN. / REGISTRO *****

```

```

C      DO 75 I=1,256
          DO 75 J=1,256
              AUX=TOTAL(I,J)/4
              X=I-1
              Y=J-1
              CALL WPIXEL(X+256,Y+256,AUX)
75     CONTINUE
C
      TMIN=10000
      TMAX=0
C
      DO 80 I=1,256
          DO 80 J=1,256
              IF(TOTAL(I,J).LE.TMIN) TMIN= TOTAL(I,J)
              IF(TOTAL(I,J).GE.TMAX) TMAX= TOTAL(I,J)
80     CONTINUE
C
      WRITE (2,1000)
      WRITE (2,1010) 'VALOR MINIMO TOTAL(I,J) = ..... ',TMIN
      WRITE (2,1010) 'VALOR MAXIMO TOTAL(I,J) = ..... ',TMAX
1010  FORMAT (1X,A,15)
C
      DO 90 I=1,256
          DO 90 J=1,256
              TOTAL(I,J)= ((TOTAL(I,J)-TMIN)*250)/(TMAX-TMIN)
              X= I-1
              Y= J-1
              CALL WPIXEL(X+255,Y+255,TOTAL(I,J))
90     CONTINUE
C
      -----
C
      **** SALVAR RESULTADO TOTAL (256,256) *****
C
      WRITE (2,1000)
      WRITE (2,*) 'GRABACION IMAGEN FINAL (SI=1 /NO=0) = ..... '
      READ (*,*) N
      IF (N.EQ.0) GO TO 100
C
      WRITE (2,*) 'NOMBRE ARCHIVO (_____ .IMG) = ..... '
      READ (*,1020) FNAME
1020  FORMAT (A)
      ERRVAL=SAVEFT (256,256,256,256,0,FNAME,COMLIN)
C
      -----
C
100   WRITE (2,1000)
      WRITE (2,*) '***** FIN PROGRAMA -ISOSTAT- *****'
      WRITE (2,1000)
      WRITE (2,'(1X,2A\)' ) CHAR(27),'[om'
      STOP
      END

```

