

alto que lleve el agua para mejora de los riegos de Urgel y para la Segarra y Garrigas, entregando al Urgel el caudal que corresponde en el punto conveniente del actual Canal; ensanche del Canal de Urgel hasta la capacidad necesaria para la mejora de sus riegos y para las ampliaciones posibles, con elevaciones de agua en los puntos convenientes para el riego de tierra situadas más altas, etc. A todas las soluciones, como hemos indicado, les es común la construcción de embalses de regularización en el río Segre o afluentes para acumular el agua necesaria.

En estos estudios se han tenido en cuenta los diversos elementos que entran en juego: zona de preponderancia del factor agrícola en el río, volumen de agua que el régimen de circulación y aprovechamiento del río permite acumular, ubicación posible y conveniente de presas de embalse, caudales necesarios para el riego normal de Urgel, Segarra y Garrigas; situación de concesiones actuales, etc.

El resultado del estudio técnico lo podemos condensar en las siguientes conclusiones:

- 1.^a El límite de la preponderancia del factor agrícola puede señalarse en el trayecto del río situado en los alrededores del pueblo de Oliana, por donde pasa la curva de nivel 450 y el río tiene una pendiente media del 4,50 por 1 000.
- 2.^a Los caudales necesarios para el riego normal de la zona de Urgel y nuevas comarcas, que comprenden una extensión aproximada de 80 000 hectáreas, son: marzo, 16,538 m³ por segundo; abril, 29,568; mayo, 31,849; junio, 48,475; julio, 45,518; agosto, 46,305; septiembre, 25,175, y octubre a febrero, 14,500 m³ por segundo.
- 3.^a Las diferencias de caudales de aportación del río y de los de consumo de riego señalados en el párrafo anterior, teniendo en cuenta los 8 m³ del canal auxiliar, regulados ya por embalses del Noguera Pallaresa, señalan como capacidad necesaria de embalse las de 175 000 000 de metros cúbicos.
- 4.^a Los aprovechamientos industriales que hoy se

encuentran solicitados en ese tramo del río pueden hacerse compatibles con el de riego y permiten llegar a la cooperación de ambos intereses. Los aprovechamientos industriales más importantes hoy solicitados son: el de Clúa, en el Segre, con presa de 60 metros y embalse de unos 140 000 000 de metros cúbicos; el de Oliana, también en el Segre, presa de 70 metros y embalse de 70 000 000 de metros cúbicos, y Vansa, en el afluente del mismo nombre, con presa de 97 m y 60 000 000 de metros cúbicos de embalse.

La redacción de los proyectos de embalse mencionados, con el estudio del régimen de explotación de los mismos y cooperación de las entidades industriales que deseen aprovechar la fuerza, el estudio y redacción de los diversos proyectos de ampliación y mejora de los riegos de Urgel más arriba esbozados, para deducir de los resultados técnicos y económicos la manera más conveniente de resolver el problema, la formación del plan de obras de conjunto y la realización del mismo, teniendo en cuenta las disponibilidades, previo el acuerdo de todos los interesados en la participación que le corresponda a cada uno y forma de hacerla efectiva, y la terminación de las obras del canal auxiliar de los riegos de Urgel, que esperan con ansia los regantes de aquella zona, es la labor que queda por realizar a la Mancomunidad Hidrográfica del Ebro para dar cima a este importante problema del Segre, y con él, en lo esencial, al aprovechamiento integral del río, quedando después la sola misión de favorecer y regular la construcción de aprovechamientos hidráulicos, principalmente de cabecera, donde puedan proyectarse embalses de acaparamiento, así como las pequeñas ampliaciones posibles de riego, obras que habrán de ejecutarse siguiendo las normas establecidas o que se establezcan, con cooperaciones de todos los elementos interesados y siguiendo el ritmo que permitan las necesidades del mercado y la construcción de aprovechamientos en otras cuencas próximas.

Carlos VALMAÑA
Ingeniero de Caminos

Fotoelasticimetría

La fotoelasticidad reposa en la birrefringencia accidental de ciertos cuerpos cuando se les somete a esfuerzos ¹.

¹ Para mejor inteligencia del artículo reunimos las siguientes nociones de Física:

Rayo de luz natural: vibraciones transversales del éter en todas direcciones; las ondas de propagación están contenidas en todos los planos que pasan por la recta que define geométricamente el rayo.

Rayo de luz polarizada: vibraciones transversales del éter en ciertas direcciones.

La *polarización* puede ser *rectilínea*: vibración en una sola dirección; las ondas de propagación estarán, por consiguiente, contenidas en el plano definido por el rayo y esta dirección (el perpendicular a éste se denomina *plano de polarización*). O *elíptica*: vibración según los diámetros de una elipse centrada en el rayo; éste puede considerarse integrado por dos polarizados rectilíneamente, según los ejes de la elipse. Caso particular es la *polarización circular* cuando la elipse degenera en circunferencia.

Birrefringencia: fenómeno de polarización elíptica de un rayo luminoso al atravesar ciertos cuerpos, que por esta causa se de-

Existen correlación entre dos fenómenos físicos, uno mecánico — estado de tensión interna del cuerpo — y otro óptico — birrefringencia accidental —.

nominan *birrefringentes*. También se aplica la palabra birrefringencia para denotar la propiedad correspondiente del cuerpo, que puede ser *natural o accidental*, y, en este último caso, a consecuencia de la aplicación de esfuerzos, que es la interesante para nosotros. Teniendo en cuenta lo que hemos dicho de la polarización elíptica, podemos considerar la birrefringencia como la descomposición de un rayo incidente en dos polarizados linealmente, que se propagan a distinta velocidad (ésta es proporcional a \sqrt{E} , según la ley de Newton) y en direcciones divergentes (teniendo en cuenta el fenómeno de la *refracción* que siempre tiene lugar al atravesar un medio, y que los dos rayos virtuales tienen distinto índice de refracción, proporcional a la velocidad de propagación respectiva).

En cuanto a sus propiedades ópticas, podemos establecer una primera clasificación de los cuerpos en *transparentes y opacos*. Los primeros se comportan de diferente modo con respecto a las vibraciones luminosas (y en general respecto a toda clase de vibraciones), según que estén constituidos por materia *isó-*

Fundamento del método

Se comenzó científicamente por estudiar el segundo en función del primero, invirtiéndose después esta ordenación valorativa en vista de las aplicaciones técnicas.

La teoría fotoelástica se elaboró en el siglo pasado con:

Brewster: "Birrefringencia del vidrio". *Philosophical Transaction*, 1814-1816.

Fresnel: "Birrefringencia del vidrio comprimido". *Annales de Chimie et Phisique*, 1822.

Wertheim: "Birrefringencia accidental". *Annales de Chimie et Phisique*, 1854.

Neuman: "Teoría general de la birrefringencia de los cuerpos isótropos transparentes sometidos a un estado de sollicitación de tres dimensiones". 1841.

La teoría general de Neumann ha sido comprobada por: Mach (1873), Voigt, Kerr (1883), Pockels (1889), etc.

Las aplicaciones tienen sus preliminares en:

Leger: "Transmisión de fuerzas exteriores a través de cuerpos sólidos". *Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils de France*, 1878.

Kerr: "Experiencias sobre la birrefringencia en el vidrio sometido a esfuerzos". *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 1888.

Wilson: "Influencia del contorno en la flexión de vigas". *Ibidem*, 1891.

Una solución definitiva de la cuestión para el caso de sollicitación plana la obtiene Mesnager en 1900. Desde entonces los métodos se perfeccionan por las aportaciones de ingenieros investigadores, entre los cuales tienen primera fila:

Mesnager: Del Laboratorio de la Ecole des Ponts et Chaussées, París.

Cocker: Idem del University College, Londres.

Colonnetti: Idem de la Scuola Politecnica, Turín.

Favre: Idem del Eidg. Techn. Hochschule, Zurich.

Hoy queda por resolver el problema para el caso de sollicitación en tres dimensiones:

tropa o anisótropa. Así, podemos establecer: *cuerpos isótropos*, los que ofrecen a la transmisión de vibraciones un medio idéntico en todas direcciones, y *cuerpos anisótropos*, los que ofrecen a la transmisión de vibraciones un medio con propiedades variables según la dirección de propagación. En éstos existen ciertas direcciones privilegiadas, que se denominan *ejes* (en el caso de vibraciones luminosas, *ejes ópticos*).

Este modo de comportarse los cuerpos depende de la estructura íntima de la materia, la cual puede representarse geométricamente, bien mediante las figuras de los sistemas cristalinos: cubo, paralelepípedo recto-rectángulo, etc., o bien mediante las figuras de los sistemas elásticos: esfera, elipsoide de revolución, elipsoide, etc., clasificándose en sistemas cúbico, ortorrómbico, etc., o en sistemas con infinitos ejes elásticos, tres ejes, uniejes, etc.

Es evidente que los cuerpos que producirán la polarización de la luz son los anisótropos, puesto que poseen direcciones privilegiadas de propagación.

Los materiales más interesantes en la polarización de la luz son: espato de Islandia, cuarzo, esmeralda turmalina; producen polarización elíptica en el caso general, obteniéndose polarización circular mediante turmalina tallada a 45° (en cuarto de onda). Para conseguir la polarización lineal se recurre al artificio de eliminar uno de los rayos virtuales, lo que se consigue corrientemente mediante los *nicos*, que son cristales de espato de Islandia, tallados según sus planos de cristalización (paralelepípedo recto-paralelogramo) y cortados por un plano diagonal en dos trozos simétricos que se han vuelto a soldar con bálsamo de Canadá; el plano constituido por la capa de esa sustancia realiza la reflexión total de uno de los rayos; el que emerge tiene su plano de polarización perpendicular al plano principal del sistema.

Consideremos el caso de sollicitación plana; es decir, una placa que suponemos de un material isótropo y transparente, sometida a esfuerzos situados en su plano. Para conocer de un modo completo el estado

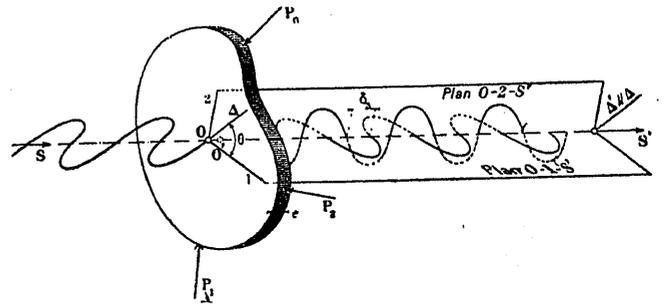


Figura 1.ª Birrefringencia accidental en el caso de sollicitación plana
1 y 2, direcciones de las tensiones principales actuando en O.
A, dirección de vibración del rayo incidente.
O-1-S' y O-2-S' planos de polarización de los rayos emergentes.
δ, defasamiento de estos rayos.

de tensiones interiores es preciso determinar en cada punto:

- 1.º La dirección de las tensiones principales; es decir, el ángulo de inclinación de cualquiera de ellas.
- 2.º El valor de estas tensiones.

Se trata, por consiguiente, de un problema con tres incógnitas; veamos cómo se determinan éstas:

En cuanto se aplican los esfuerzos se destruye la isotropía de la materia, obteniéndose una *distribución ortorrómbica* con ejes según las direcciones de los esfuerzos principales. Es como si existiera alrededor de cada punto un cristal de sistema *ortorrómbico*, el cual poseerá la propiedad de birrefringencia. Por consiguiente, todo rayo de luz monocromática que incida perpendicularmente a la placa (fig. 1.ª), emergerá polarizado elípticamente, y podemos suponerlo integrado por dos rayos:

- 1.º Polarizados según los dos planos definidos por las tensiones principales en el punto.
- 2.º Defasados entre sí una longitud cuantificada por la ley de Wertheim:

$$\delta_3 = c \cdot e \cdot (\sigma_1 - \sigma_2)$$

donde *c* es una constante que depende de las cualidades ópticas del material de la placa y de la longitud

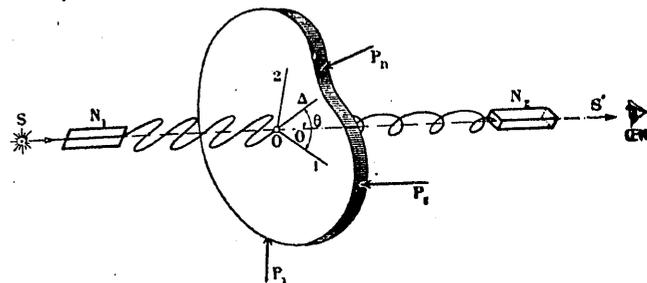


Figura 2.ª Determinación del ángulo de inclinación de las tensiones principales
S, fuente luminosa.
N1, juego de nicos, polarizador.
N2, juego de nicos, analizador.

de onda del rayo; *e* el espesor de la misma; σ_1 y σ_2 los valores de las tensiones principales.

El primero de los fenómenos, considerado aisladamente, permite determinar la primera de las incógnitas: ángulo de inclinación de las tensiones prin

principales. En efecto (fig. 2.^a), suponiendo el rayo incidente previamente polarizado en un plano (mediante un juego de nicoles, por ejemplo), los dos rayos vir-
 tuales emergentes tendrán distinta intensidad, según la inclinación de aquel plano, reduciéndose a uno solo, en las coincidencias de plano y direcciones principales.

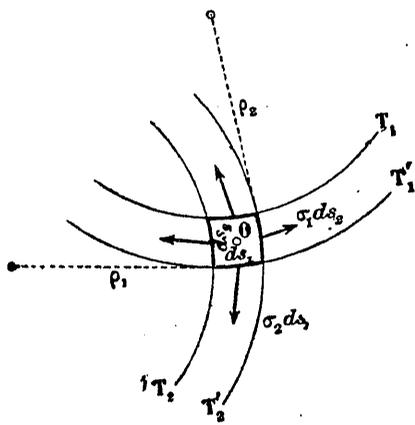


Figura 3.^a Fundamento del método de M. Filon

$T_1 T_1'$, isostáticas de la misma familia.
 $T_2 T_2'$, ídem íd.
 $\rho_1 \rho_2$, radios de curvatura.

principales, lo que puede observarse mediante otro juego de nicoles (analyzer), cuyo plano de polarización esté en ángulo recto con el primero, pues a estos casos corresponde extinción completa de luz cuando se intercala dicho juego.

Para la determinación de las otras dos incógnitas, σ_1 y σ_2 , hemos establecido una primera ecuación: ley de Wertheim, pudiendo obtener la segunda por procedimientos distintos, que caracterizan a los métodos, y que son:

a) *Procedimientos mecánicos*: midiendo la deformación transversal de la placa, que, según la teoría elástica, vale:

$$\epsilon = -\frac{\nu}{E} e(\sigma_1 + \sigma_2)$$

donde ν es el coeficiente de Poissons, y E el módulo de elasticidad del material de la placa.

b) *Procedimientos ópticos*: midiendo los desfases δ_1 y δ_2 de los rayos emergentes con relación al incidente, que valen, según la teoría de Favre,

$$\delta_1 = a\epsilon\sigma_1 + b\epsilon\sigma_2$$

$$\delta_2 = b\epsilon\sigma_1 + a\epsilon\sigma_2$$

donde a y b son constantes que dependen de la naturaleza del material.

c) *Procedimientos gráficos*: mediante una integración gráfica a lo largo de las isostáticas, teniendo en cuenta que para el rectángulo elemental, determinado por la intersección de dos pares de isostáticas infinitamente próximas, se verifica (fig. 3.^a):

$$\frac{\delta\sigma_1}{\delta s_1} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\rho_1} = 0$$

$$\frac{\delta\sigma_2}{\delta s_2} + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\rho_2} = 0$$

donde ρ_1 y ρ_2 son los radios de curvatura.

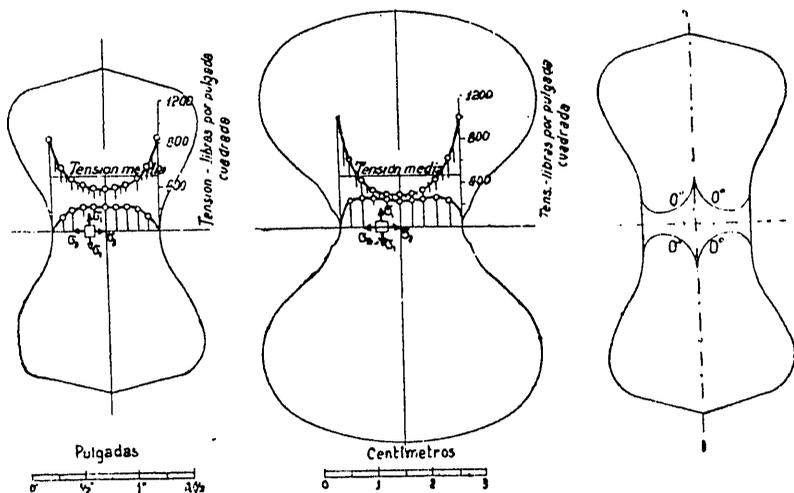


Figura 4.^a Cocker, 1912: Estudios sobre la forma más conveniente de las probetas para ensayos de cemento a tracción.

- a) *Probeta tipo inglés*: Tracción máxima, 1,74 veces tracción media.
- b) *Probeta tipo francés*: Tracción máxima, 2,10 veces tracción media.
- c) *Probeta de tracción uniforme*: Se representan las isoclinas para 0° que comprenden la zona de tracción uniforme.

Hasta ahora hemos considerado un punto aislado; pero si suponemos el cuerpo atravesado por un haz de rayos, la continuidad del fenómeno da lugar a la aparición de las siguientes familias de curvas:

a) *Curvas isoclinas* en negro, que son lugares geométricos de puntos con igual inclinación de las tensiones principales. Suponiendo giratorio el plano de polarización del rayo incidente, cada posición definiría un sistema de isoclinas, que alinean los puntos en que una de las tensiones principales es normal a dicho plano.

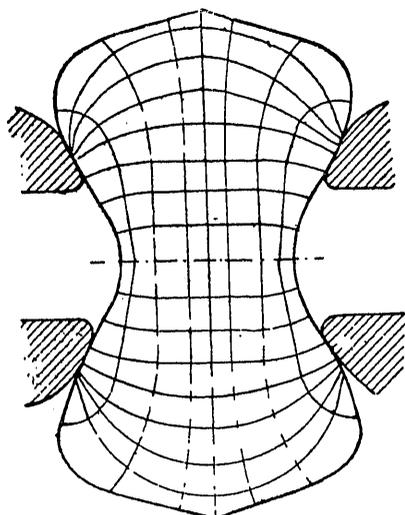


Figura 5.^a Isostáticas en la probeta de ensayos tipo inglés.

b) *Curvas isocromáticas* en todos los colores del iris, que son lugares geométricos de puntos en los que la diferencia de las tensiones principales es constante: $\sigma_1 - \sigma_2 = k$. Estas curvas permanecen, claro está, idénticas, al hacer girar el plano de polarización. Mediante un número suficiente de curvas isocli-

nas pueden dibujarse las curvas isostáticas de primero y segundo orden por un procedimiento gráfico sencillísimo.

te si ambas son nulas, se obtienen las *líneas y puntos neutros*. Estas curvas no se confunden con las isoclinas, pues persisten al girar el plano de polarización.

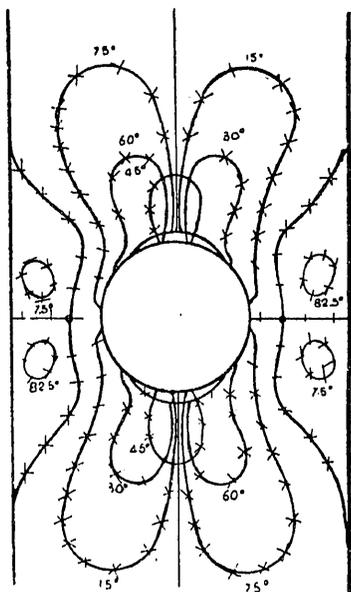


Figura 6.^a Cocker: Curvas isoclinas en el caso de una chapa con orificio circular.

De las curvas isocromáticas, bien por *comparación* en una escala colorimétrica obtenida sometien-

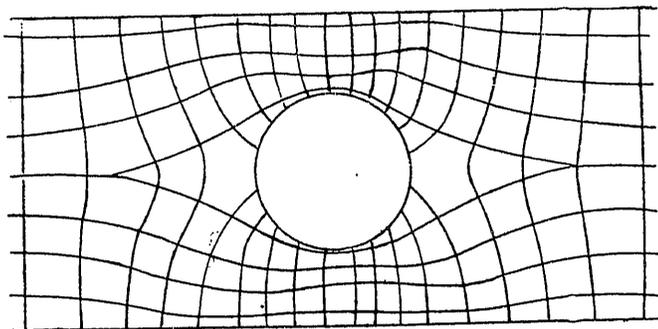


Figura 7.^a Isostáticas correspondientes al caso de la figura 6.^a

do una muestra de la placa a solicitaciones simples de intensidad creciente, o bien por *compensación* del color lograda por la interposición de un cuerpo birrefringente natural o accidentalmente (*compensador*), cuyas características ópticas, geométricas y mecánicas se conocen, se llega a obtener el valor de la diferencia de los valores algebraicos de las tensiones principales en todos los puntos. De acuerdo con esto habrá que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1.^a Una tensión de tracción y otra de compensación del mismo valor absoluto producen idéntico efecto cromático.
- 2.^a Cuando las tensiones principales son iguales y de sentido contrario, el efecto cromático es idéntico al obtenido por aplicación de una sola con intensidad doble.
- 3.^a Cuando las tensiones principales son iguales y del mismo signo se produce oscuridad. Particularmen-

Filón). — Basados en la teoría de Favre, cuyo fundamento hemos expuesto. Este investigador utiliza

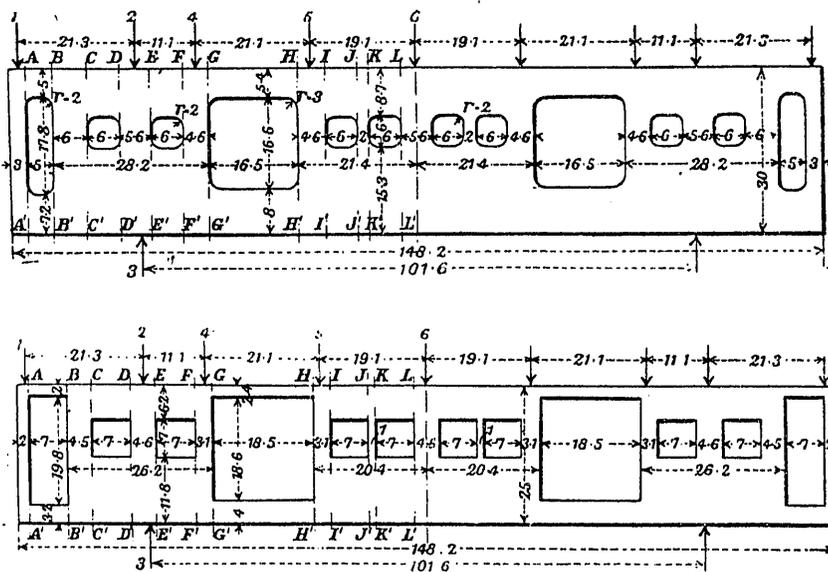


Figura 8.^a Ziro Tuzi: Estudio de un bastidor lateral de vagón. Modelos ensayados.

Métodos actuales

Los perfeccionamientos aportados al método fotoelástico se han encarrilado en las siguientes direcciones:

A) *Métodos ópticomecánicos* (Cocker, Mesnager).—Se utilizan las curvas isoclinas y las isocromáticas: bien directamente, obteniéndose mediante calco de la imagen o fotografía; bien indirectamente, midiéndose en puntos sucesivos el ángulo de inclinación y el color; esto puede llevarse a cabo, como ya hemos apuntado, por comparación colorimétrica o mediante compensador.

La segunda de las relaciones entre σ_1 y σ_2 se obtiene por medición de la deformación transversal que se realiza con un extensómetro (Cocker), o bien teniendo en cuenta la compresión de la capa de aire inmediata a la placa (Mesnager).

B) *Métodos puramente ópticos* (Favre, Favry,

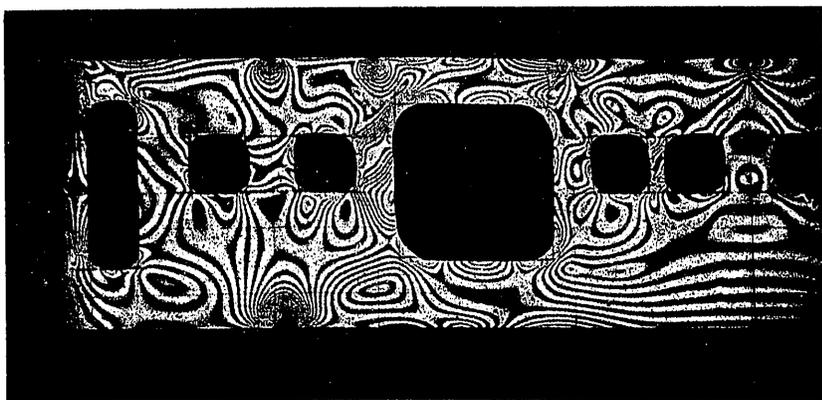


Figura 9.^a Ziro Tuzi: Distribución de isocromáticas en uno de los modelos de la figura 8.^a

un interferómetro para la medición de los defasamientos, operando además por mediciones puntuales, para lo cual recubre la placa con una plantilla opaca perforada con orificios de 5 mm en los puntos donde se quieren obtener las determinaciones. Así se miden sucesivamente en cada punto el ángulo de inclinación y los defasamientos $\delta_1, \delta_2, \delta_3$; esta característica del método es de un extraordinario valor, pues las curvas isoclinas e isocromáticas no aparecen delimitadas con precisión, siendo más bien zonas de una cierta anchura.

Fabry determina los defasamientos mediante la

do el fenómeno de la birrefringencia accidental a la aplicación de esfuerzos. Ninguno de los utilizados en construcción posee estas propiedades, pero el método es aplicable, pues los resultados obtenidos no dependen de la naturaleza del material (salvo en casos especiales), según ha quedado plenamente demostrado por Mitchel y Maurice Levy.

Por consiguiente, en el caso de estudio de una estructura, se fabricará un modelo a escala reducida, con un material que presente las propiedades apuntadas. Este material es el vidrio, casi unánimemente reconocido por todos los investigadores como supe-

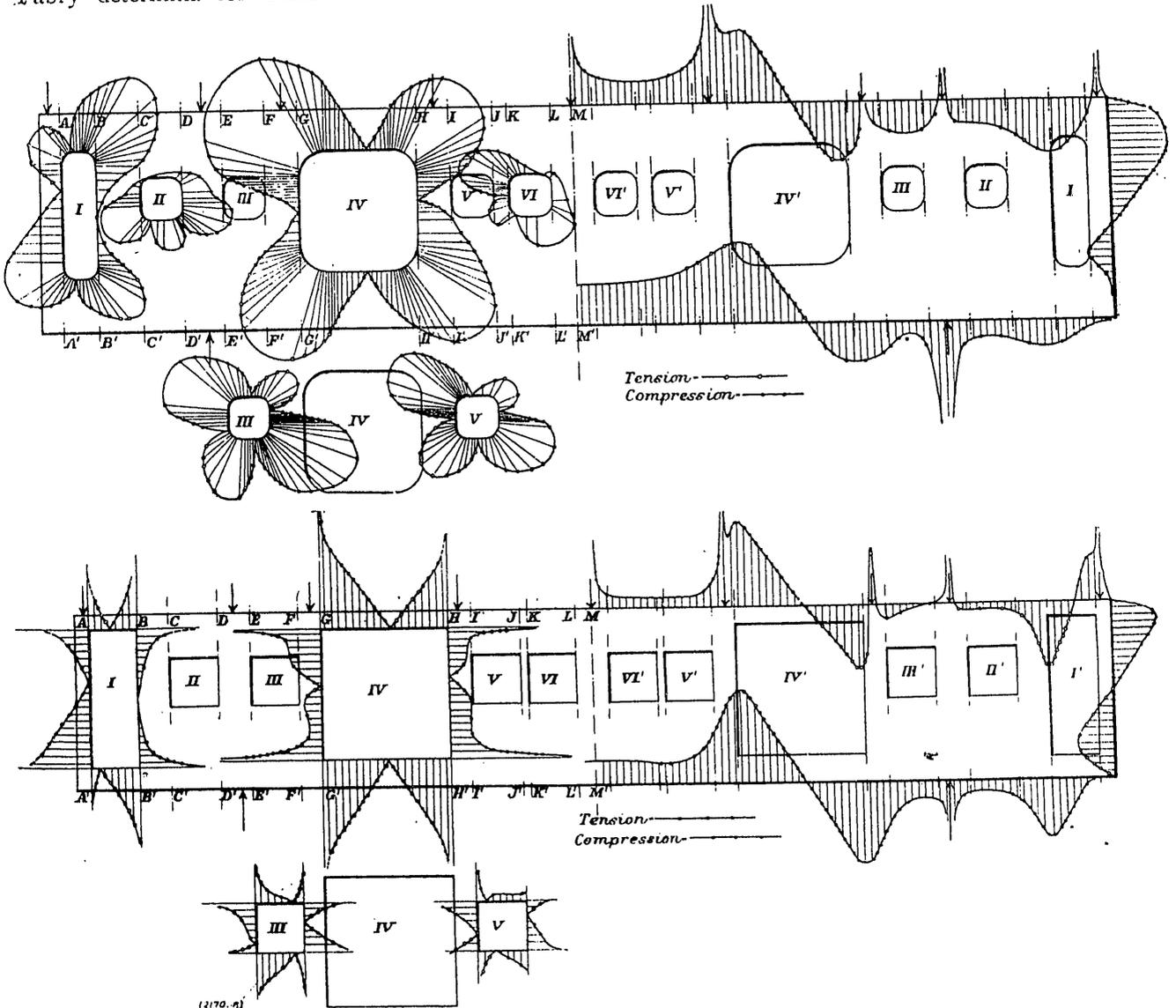


Figura 10. Ziro Tuzi: Curvas de tensión normal en los contornos interior y exterior de los modelos de la figura 8.¹

medición de los espesores ópticos, para lo cual recubre de azogue la cara posterior del modelo y obtiene directamente las interferencias.

Podemos agrupar entre estos métodos el de Filon, basado en la integración gráfica, que se utiliza por el investigador japonés Ziro Tuzi y por el Laboratorio del Institute of Technology de la Universidad de Massachussets (U. S. A.).

Valor del método

La fotoelasticimetría supone materiales isótropos, transparentes y que presenten de un modo acentua-

rior a la xilonita, fenolita, celuloide, que también se han empleado en los primeros tiempos ¹.

¹ Esta opinión hemos recogido de boca de Marcotte, Favre y Pugno. El investigador japonés Ziro Tuzi empleó fenolita y celuloide en los estudios que más adelante exponemos (figuras 8.^a, 9.^a y 10); pero recomienda el vidrio como material más adecuado. Favre probó la xilonita, quedándose con el vidrio. Mesnager no ha utilizado otro material. Solamente Cocker es partidario de la xilonita, producto de fabricación inglesa; tiene la ventaja de su fácil talla, pero los inconvenientes de poseer birrefringencia natural y de inutilizarse una zona de unos dos milímetros de borde por el tallado.

Utilidad de la fotoelasticimetría

Dado el perfeccionamiento actual de las instalaciones y métodos de trabajo, y con la seguridad de las

teral de coche ferroviario (figuras 8.^a, 9.^a y 10).

e) Estudios de Colonnetti y Favre sobre transmisión de presiones en estructuras de fábrica, y especialmente en presas de embalse.

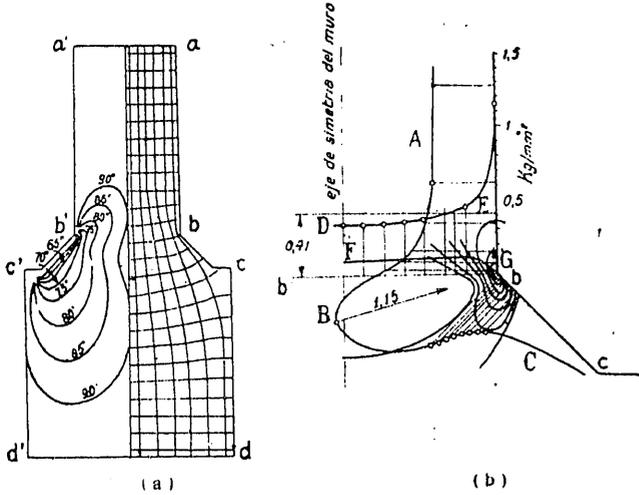


Figura 11. Cocker: Estudio de un muro de fábrica.

a) Distribución de isoelinas (a la izquierda) y de isostáticas (a la derecha)
 b) Tensiones de contorno (curvas ABC) y en la sección horizontal (curvas DE y FG) en la zona de ensanchamiento.

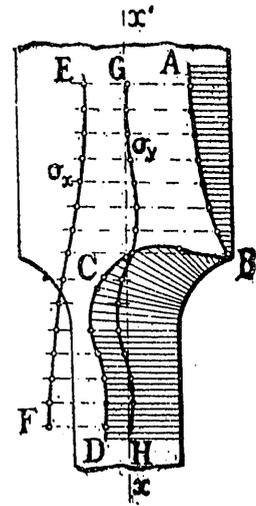


Figura 12. Cocker: Estudio de la probeta para ensayo de materiales metálicos a tracción.

Curva ABCD, tensiones de contorno. Curvas, EF y GH, tensiones de tracción y de compresión en el eje.

comprobaciones obtenidas, se comprende la extraordinaria utilidad que puede rendir la fotoelasticimetría.

Podemos establecer:

1.º Es el único método de cálculo posible en el caso de estructuras de gran complicación geométrica.

2.º Tiene un gran valor en el caso de estructuras no corrientes para enfocar el problema haciendo hipótesis acertadas y para comprobar los cálculos obtenidos analíticamente.

3.º Permite investigar sobre la mejor forma y disposición de los diferentes elementos de una estructura en vista de la distribución de los esfuerzos interiores.

Ejemplos patentes del interés de estas cuestiones podemos citar:

a) Estudios de Mesnager para comprobar la teoría de Bresse en el cálculo de arcos y comprobación del puente sobre el Ródano en Balme (arco de 92 m de luz, con tablero solidario).

b) Estudios de Cocker sobre la forma más conveniente de las probetas para ensayo de cementos a tracción (figuras 4.^a y 5.^a).

c) Estudios sobre la influencia de orificios de distintas formas en placas y de entalladuras en vigas (figuras 6.^a y 7.^a).

d) Estudios de Ziro Tuzi sobre un bastidor la-

f) Transmisión a un macizo de fuerzas concentradas.

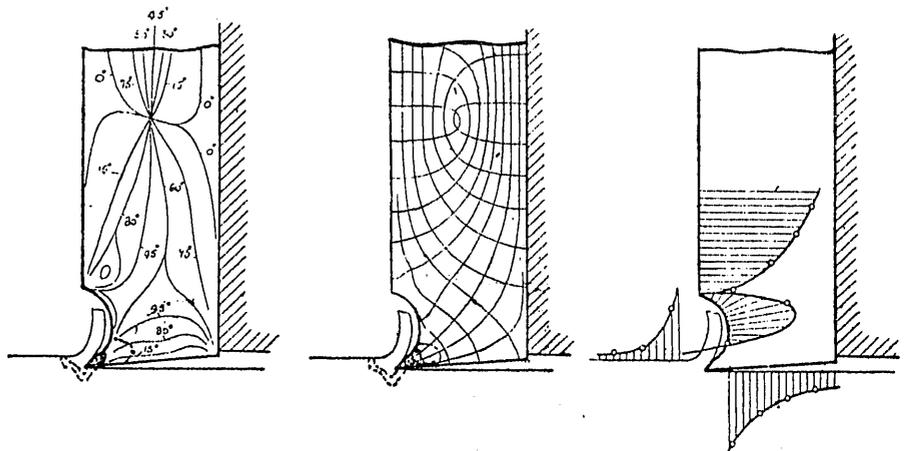


Figura 13. Cocker: Estudio del útil de una cepilladora. Curvas isoelinas, isostáticas y de tensiones de contorno

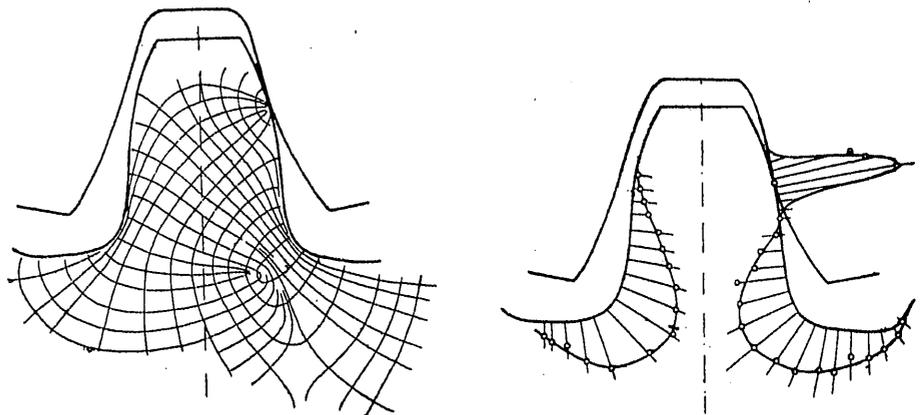


Figura 14. Cocker: Estudio de los dientes de engranaje. Curvas isostáticas y tensiones de contorno.

g) Efecto de las herramientas cortantes en el trabajo de materiales (fig. 13).

h) Transmisión de presiones entre órganos de máquinas, engranajes, etc. (fig. 14).

Podemos resumir en tres grupos las aplicaciones de la Fotoelasticimetría:

- 1.º Investigación.
- 2.º Estudio de casos prácticos.
- 3.º Didácticas.

Laboratorios

Existen ya muchos laboratorios de fotoelasticimetría, entre los cuales:

Laboratorio de la Ecole des Ponts et Chaussées, París.

Laboratorio del University College, Londres.

Laboratorio del Politécnico, de Zurich.

Laboratorio de la Scuola Politecnica, de Turín.

Laboratorio del Institute of Technology, Massachusetts (U. S. A.).

Laboratorio del Institute d'Optique, París.

Laboratorio de la Ecole de Génie Civil, Lyon.

Laboratorio de la Universidad de Charleroi.

Laboratorio de la Universidad de Lieja.

Laboratorio de la Universidad de Gante.

Laboratorio de la Universidad Politécnica, de Milán.

Laboratorio de la Universidad Politécnica, de Roma.

Laboratorio del Instituto de Investigaciones Físicas y Químicas, de Tokio.

Laboratorio de la Universidad de Columbia (New-York).

Laboratorio de la Universidad de Michigán.

Laboratorio de la Universidad de Washington.

Laboratorio de la General Electric Co.

Laboratorio de la Westinghouse and Mfg. Co.

Además, actualmente se procede al montaje de una instalación en Moscú, por el profesor Olzeczoff; otra en Milán, por el profesor Révere, y otras dos, dirigidas por el profesor Favre, para las Universidades de Buenos Aires y Montreal.

La organización de todos ellos está dirigida hacia la investigación de problemas generales y la resolución de casos de aplicación inmediata que se presentan en la construcción. Los instalados en las Escuelas de Ingenieros se dedican también a fines didácticos.

* * *

Expuestos los fundamentos de la Fotoelasticimetría, dedicaremos tres artículos a la descripción de los trabajos llevados a cabo en los laboratorios que hemos visitado recientemente: *Ecole des Ponts et Chaussées*, *Politécnico de Zurich* y *Politécnico de Turín*.

Carlos FERNANDEZ CASADO
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

BIBLIOGRAFIA

Cocker: "The Applications of Polarized Light to Mechanical Problems of Stress Distribution".

Mesnager: "Cours de résistance des matériaux".

Marcotte: "Les matériaux des constructions civiles et des travaux publics".

Favre: "Sur une nouvelle méthode optique de détermination des tensions intérieures"¹.

Colonnetti: "Statica delle costruzioni".

Filon: "On Stresses in Multiply Connected Plates".

Artículos de revistas

Mesnager: "Contribution a l'étude de la déformation élastique".—*Annales des Ponts et Chaussées*, 1901.

— "Etude complète sur un model réduit des tensions qui se produiront dans un ouvrage".—*Annales des Ponts et Chaussées*, 1913.

— "Les tensions intérieures rendues visibles".—*La Technique Moderne*, 15 marzo 1924.

— "Optical Analysis of Stress in Steel Railway Carriage Side Framing".—*Engineering*, 20 enero y 13 febrero 1931.

E. G. Cocker: "Photo-elasticity".—*Engineering*, 6 enero, 21 y 28 abril 1911; 25 febrero 1916, 20 y 27 febrero 1920, 7 enero 1921, 6 enero 1922 y 19 octubre 1923.

— "The distribution of Stress at a Minimum section of a Cement Briquette".—*International Association for Testing Materials*, 1912.

— "Photo-Elastic Measurements of Stress Distribution".—*Journal of the Royal Society of Arts*, septiembre 23-1927.

— "An Account of Some Experiments on the Action of Cutting Tools".—*Proceeding of Institution of Mechanical Engineers*, 1922, núm. 3.

G. Mesmer: "Spannungsoptische Untersuchungen der Spannungszustände in Seitenwänden von Eisenbahnwagen".—*Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 1.º marzo 1931.

Favre: "Sur une nouvelle méthode optique de détermination des tensions intérieures".—*Revue d'Optique*, 1929; *Schweizerische Bauzeitung*, 3 y 10 diciembre 1927; *Génie Civil*, 8 marzo 1930.

Fabry: "Sur une nouvelle méthode pour l'étude expérimentale des tensions élastiques".—*Génie Civil*, 8 marzo 1930.

Buich: "El método fotoelástico para la determinación del régimen de tensiones en los casos de resistencia plana".—*La Ingeniería*, diciembre 1930.

López Franco: "Fotoelasticidad".—*Revista de Obras Públicas*.

Delange: "La Photo-elasticimetrie. Theorie, méthodes et applications".—*Revue d'Optique*, 7-1928.

Heymans: "La Photo-elasticimetrie. Ses principes, ses méthodes et ses applications".—*Bulletin de la Société Belge des Ingénieurs et des Industriels*, 1921-2.

— "La détermination par la photo-elasticimetrie des surtensions dues a certaines discontinuités internes et a certaines variations de profil extérieur dans les pièces sous tension".—*Bulletin de la Société Belge des Ingénieurs et des Industriels*, 1922-1.

Filon: "On the Graphical Determination of Stress from Photo-elastic observations".—*Engineering*, 19 octubre 1923.

Pugno: "La determinazione degli sforzi e dalla loro distribuzioni nei solidi mediante la luce polarizzata".—*Ingegneria*, junio 1926.

Volterra: "La fotoelasticità le sue applicazioni nell'interno dei corpi elastici".—*L'Ingegnere*, agosto-diciembre 1930.

Baud: "Further Development in Photoelasticity".—*Journal of the Optical Society of America*, mayo 1929.

Frocht: "Recent Advances in Photoelasticity".—*Transactions American Society Mechanical Engineers*, 1931.

— "Kinematography in Photoelasticity".—*Memoria presentada al Annual Meeting of the A. S. M. E.*, diciembre 1931.

Solakian & Karelitz: "Photoelastic Study of Shearing Stresses in Keys and Keyways".—*Memoria presentada al Annual Meeting of the A. S. M. E.*, diciembre 1931.

¹ Las figuras 1.^a, 2.^a y 3.^a están tomadas de esta obra.