

*Artículo Científico*

DOI: <https://doi.org/10.52428/20758944.v11i34.704>

**APLICACIÓN DE LA TECNICA DE LA FOTOELASTICIDAD EN MODELOS SUJETOS A FLEXIÓN**

*APPLYING PHOTOELASTICITY TECHNIQUE IN MODELS SUBJECT TO BENDING*

Raúl F. Castellón Torrico (1)

**RESUMEN**

La técnica de la fotoelasticidad nos permite analizar tensiones en cualquier sistema desde uno simple hasta las geometrías más complejas. El principio físico que nos permite realizar este análisis está formado por un equipo llamado polariscopio, un haz de luz polarizada que atraviesa un modelo fotoelástico. Este modelo es sometido a cargas externas; por la acción del haz de luz se pueden observar diferentes fajas de colores, donde cada color define un nivel de tensión.

Para nuestro caso, se analiza una viga pequeña sujeta a cargas de flexión; se usó un modelo a base de gelatina, glicerina y agua, el cual ha permitido obtener buenos resultados en cuanto a la apreciación de las franjas de colores.

Palabras clave: Fotoelasticidad. Deformaciones en sólidos. Flexión en vigas. Polariscopio.

**ABSTRACT**

Photoelasticity technique allows us to analyze pressures in any system from single to complex geometries. A team called polariscopio, a beam of polarized light passing through a photoelastic model, forms the physical principle that allows us to perform this analysis. This model is subjected to external loads; by the action of the light beam bands of different colors can be observed, wherein each color defines a stress level.

For our case, a small beam subject to bending loads is

analyzed; a model based on gelatin, glycerin and water was used, which has yielded good results in terms of the appreciation of color bands.

Keywords: Photoelasticity. Deformation in solids. Bending beams. Polariscopio.

**INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, existen muchas técnicas utilizadas para la determinación de la distribución de tensiones, entre ellas técnicas tenemos: electro-resistividad, transductores de fuerza y desplazamiento, holografía e interferometría y la fotoelasticidad. La fotoelasticidad es una técnica que permite un rápido análisis cuantitativo del nivel de tensiones a través de efectos ópticos (1).

Antes de que los ordenadores aparecieran, la fotoelasticidad se utilizaba para determinar los factores de concentración de esfuerzos para una variedad de formas estructurales, tanto de dos y tres dimensiones. De hecho, es particularmente útil en el análisis de componentes de geometría compleja y de carga. Su limitación principal es que es un método de modelo; es decir, se debe utilizar un modelo de plástico (y no el prototipo) (2).

**TEORÍA DE LA ONDA DE LUZ**

Para la interpretación de fenómenos fotoelásticos, la luz puede ser representada como un tren de ondas sinusoidales que se propagan mediante vibraciones

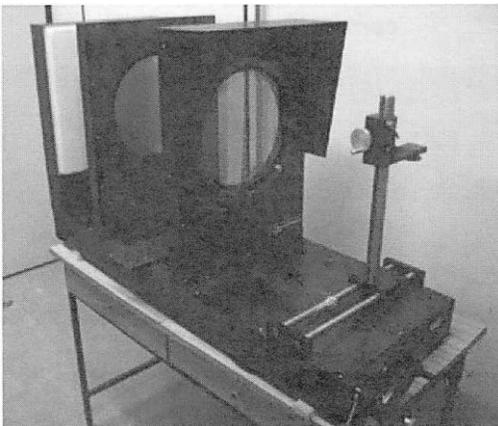
1) Ingeniero Mecánico; Magíster Scientiarum; Docente Univalle Cochabamba. rcastellont@univalle.edu;raul.castellon@gmail.com

desorganizadas. La longitud de onda y la velocidad de propagación de la luz dependen de las características ópticas del medio en el cual se propagan; la frecuencia de vibración es una característica que permanece constante y no depende del medio en el cual la luz se propaga.

Un rayo de luz natural es admitido como un conjunto de ondas independientes con frecuencia y planos de orientación en forma aleatoria en torno a la dirección de propagación. Es posible introducir orden en esas ondas caóticas; el lugar geométrico del vector luminoso es una recta y puede ocupar posiciones sobre esa recta. Si la dirección del plano de propagación y el vector luminoso se tienen fijos en el tiempo, la luz presentará ondas vibrantes en apenas un plano de propagación (luz polarizada) (1).

Para transformar la luz natural en luz polarizada, son utilizados lentes llamados filtros polarizadores; éstos tienen la característica de absorber los componentes de la luz que no vibran en la misma dirección del eje de polarización. El polariscopio es un instrumento utilizado en los análisis fotoelásticos. Este equipo es comúnmente usado para medir la diferencia de fase o la retardación relativa producida cuando la luz polarizada atraviesa un modelo fotoelástico sometido a tensión, ver Figura Nº 1.

Figura Nº 1. Polariscopio



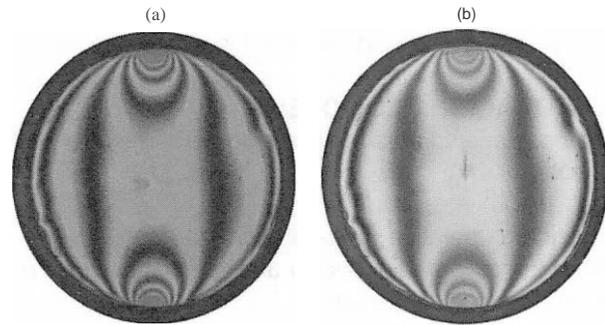
Fuente: (1).

#### PATRÓN DE FRANJAS

A través del análisis fotoelástico es posible visualizar simultáneamente dos diferentes sistemas de franjas. En luz blanca, estos dos sistemas pueden ser distinguidos, las isóclinas son negras y las isocromáticas son coloridas. En luz monocromática, ambos sistemas son negros.

En un modelo sometido a carga, examinado con luz blanca; éste mostrará una serie de colores. Para cada valor de  $\sigma_1 - \sigma_2$  existirá un color correspondiente. En puntos en donde es posible visualizar franjas con el mismo color, el valor de  $\sigma_1 - \sigma_2$  en esos puntos será el mismo (3), ver Figura Nº 2.

Figura Nº 2. Franjas Isocromáticas (a) Luz monocromática. (b) luz blanca



Fuente: (1).

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para el desarrollo de los ensayos con la técnica de la fotoelasticidad es necesario el uso de un material fotoelástico, el cual permita la obtención de un modelo fotoelástico que sea manejable y admita apreciar la franja de colores bajo la acción de la luz blanca. El presente trabajo busca la reproducción de un material fotoelástico que permita el estudio de un modelo sujeto a cargas de flexión.

#### NATURALEZA Y ALCANCE

La naturaleza del estudio es experimental y el alcance está dentro del análisis experimental de tensiones.

#### OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son:

- Reproducir un material fotoelástico de acuerdo a la bibliografía disponible referida a materiales fotoelásticos.
- Obtener un modelo fotoelástico, donde en un polariscopio y bajo la acción de cargas externas observar el patrón de franjas obtenidas.
- Comparar el modelo experimental con un modelo numérico mediante el método de los elementos finitos.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

##### DESARROLLO DEL MATERIAL

Para el desarrollo del material y en base a la bibliografía consultada se necesitan los siguientes materia-

les mostrados en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1. Materiales para el desarrollo del modelo

Ingredientes	Proporción en masa
Gelatina Incolora	15%
Glicerina	25%
Agua	60%

Fuente: Elaboración propia. Septiembre 2012.

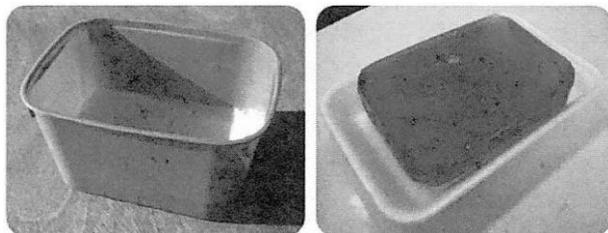
### PREPARACIÓN DEL MODELO

El procedimiento para el desarrollo del modelo es el siguiente:

- Mezclar la gelatina, glicerina con agua fría.
- Mezclar los ingredientes por unos minutos y luego reposar por unos 10 minutos.
- Calentar esta mezcla en baño María hasta alcanzar una temperatura de 50 a 60 °C.
- Vibrar la mezcla para evitar las burbujas.
- Obtener una mezcla homogénea.
- Sacar la mezcla del fuego.
- Esperar que la mezcla enfríe hasta los 35 °C.
- Colocar en un molde adecuado y enfriar a temperatura de 5 °C.

El material resultante de la combinación de los ingredientes se puede observar en la Figura N° 3.

Figura N° 3. Modelo resultante en molde y fuera del.



Fuente: Elaboración propia

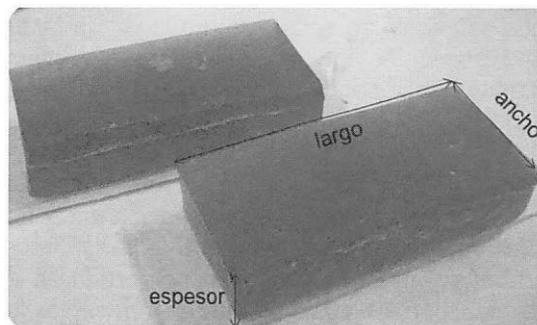
Las dimensiones que se tendrá para nuestro modelo se pueden apreciar en la Tabla N° 2 y la Figura N° 4.

Tabla N° 2. Dimensiones del modelo

Largo (mm)	Espesor (mm)	Ancho (mm)
120.06 ± 0.05	2.95 ± 0.05	45.05 ± 0.05

Fuente: Elaboración propia. Septiembre 2012.

Figura N° 4. Dimensiones del modelo



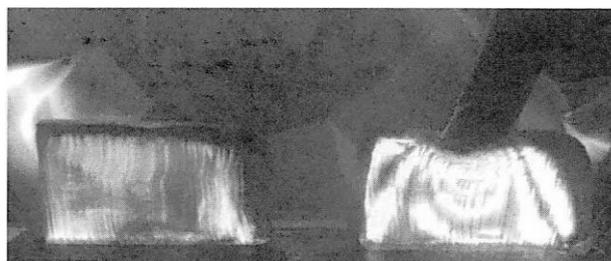
Fuente: Elaboración propia. Septiembre 2012.

### RESULTADOS

El modelo presentado en la Figura N° 4 estará sujeto como una viga simplemente apoyada y sujeta a cargas puntuales en la mitad de esta.

El primer resultado que podemos apreciar en el polariscopio, es que el material está libre de la concentración de tensiones que se puede generar en la obtención del material de trabajo, este efecto puede observarse cuando se tiene una muestra del modelo; donde no se aprecia las franjas típicas de un elemento sujeto a tensión, solo éstas se aprecian cuando apretamos encima de ella; este efecto puede apreciarse en la Figura N° 5.

Figura N° 5. Muestra del modelo libre de la concentración de tensiones

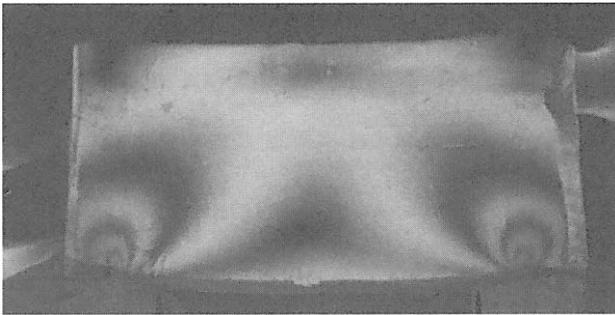


Fuente: Elaboración propia. Septiembre 2012.

### MODELO SOMETIDO A FLEXIÓN

El modelo es ubicado en la posición de una viga simplemente apoyada y se puede apreciar que en su estado inicial está sujeto a su peso propio, ya se pueden ver las franjas de colores para este estado, ver Figura N° 6.

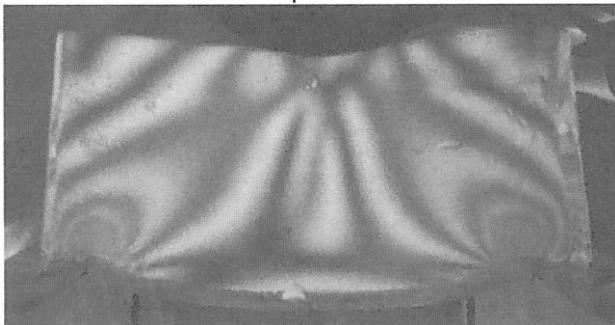
Figura N° 6. Modelo simplemente apoyado con la acción de su peso propio



Fuente: Elaboración propia. Septiembre 2012.

Luego, éste es sometido a una masa de 385 gr en la parte superior, puede apreciarse que se van incrementando las franjas de colores, ver Figura N° 7.

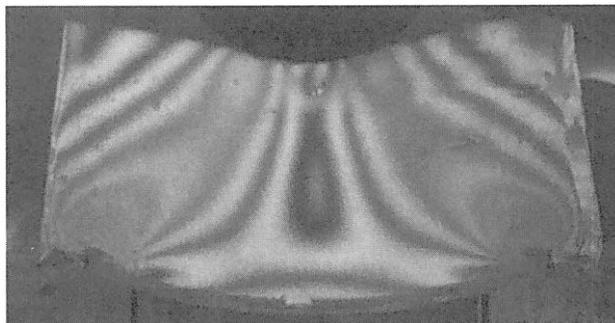
Figura N° 7. Modelo sujeto a una carga en la parte superior



Fuente: Elaboración propia. Septiembre 2012.

Después, éste es sometido a una masa de 561 gr en la parte superior, puede notarse que se van incrementando las franjas de colores, ver Figura N° 8.

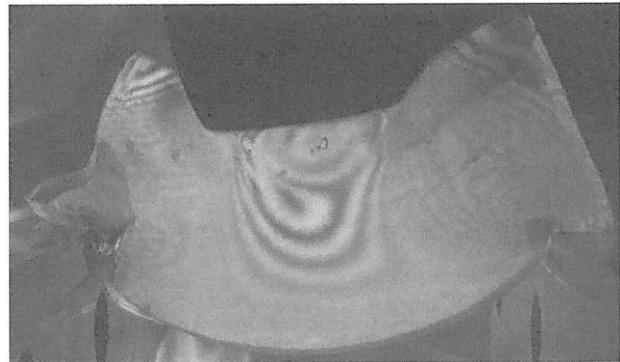
Figura N° 8. Modelo sujeto a una carga en la parte superior



Fuente: Elaboración propia. Septiembre 2012.

Finalmente, se puede apreciar que el modelo llega a su estado final de trabajo con una carga de 1233 gr, donde se puede percibir que se forman más franjas de colores, pero más concentradas, ver Figura N° 9.

Figura N° 9. Modelo sujeto a una carga en su estado limite

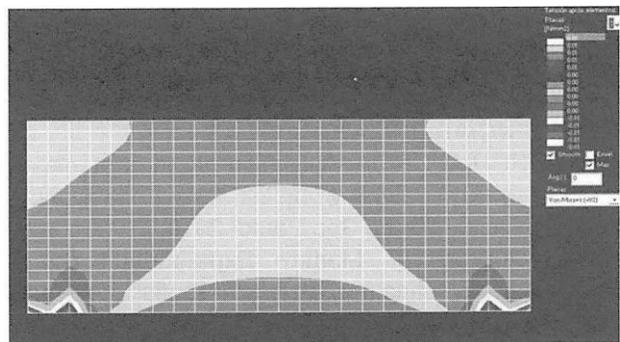


Fuente: Elaboración propia. Septiembre 2012.

#### MODELACIÓN VÍA ELEMENTOS FINITOS

Se ha realizado una modelación vía elementos finitos con software comercial RAM Advance; los resultados se observan en las Figura N° 10 y 11.

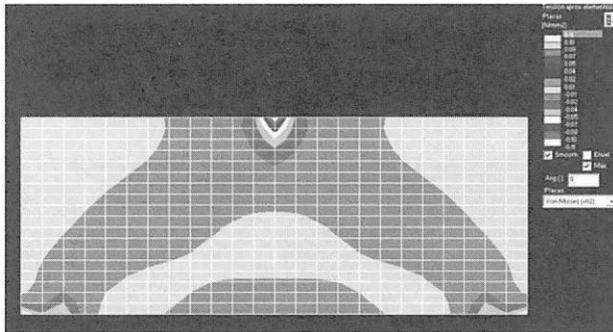
Figura N° 10. Modelaje con elementos finitos, carga inicial



Fuente: Elaboración propia. Septiembre 2012.

Tanto en la Figura N° 10 como en la Figura N° 11, se puede observar un comportamiento cercano al modelo experimental; pero no se han podido alcanzar resultados más próximos a los reales.

Figura N° 11. Modelaje con Elementos finitos, carga final



Fuente: *Elaboración propia* Septiembre 2012.

### DISCUSIÓN

- Los resultados alcanzados en la forma experimental eran los esperados.
- Se pudo obtener modelos sin concentración de tensiones.
- El modelaje vía elementos finitos no reflejo un comportamiento similar, pero se aprecia un comportamiento parecido.

### RECOMENDACIONES

- Buscar otros tipos de combinación de materiales para poder obtener diferentes modelos de material.
- Realizar otro tipo de modelos con diferentes tipos de carga.
- Realizar un modelaje con paquetes comerciales más sofisticados como Ansys o Abaqus.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SCHIAVON JA. Application of the photoelastic method to the analysis of helical screw pile foundations. Universidade de Sao Paulo; 2010.
- (2) DOYLE JF. Modern Experimental Stress Analysis: Completing the Solution of Partially Specified Problems. 2004. <https://doi.org/10.1002/0470861584>
- (3) LEÓN JB DE. Estudios de Fotoelasticidad: Desarrollos y aplicaciones. Rev Politécnica 2013

**Fuentes de financiamiento:** Esta investigación fue financiada con fondos de los autores.

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2015 Raúl F. Castellón Torrico



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

**Atribución:** Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)