

## MÉTODO FOTO ELÁSTICO PARA OBSERVAR TENSIONES RESIDUALES EN DISCOS COMPACTOS

Melchor Llosa D<sup>a</sup>, Javier Gómez B.<sup>a</sup>, Luis Zapata A.<sup>a</sup>, Daniel Guillén M.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos

### RESUMEN

Las tensiones residuales y la orientación molecular a través de un producto proporcionan la información importante sobre cómo ese producto se comportará. Esto es una preocupación importante en la producción de los plásticos por los usos tales como almacenamiento de información. En este trabajo se evaluó un método de ensayo no destructivo opcional de evaluación de la calidad de los discos compactos y se hizo un análisis cuantitativo del estado de tensión de diferentes CD's.

**Palabras clave:** Foto elasticidad; Análisis de tensiones; Birrefringencia.

### ABSTRACT

The residual stresses and the molecular direction through a product provide the important information on how that product will behave. This is an important preoccupation in the production of plastics by the uses such as information storage. In this work a method of optional non-destructive testing of evaluation of the quality of compact discs was evaluated and a quantitative analysis became of the state of different tension of CD's.

**Keywords:** Photo elasticity; Tension analysis; Birefringence.

### INTRODUCCIÓN

Las tensiones residuales tienen un efecto substancial en la utilidad a largo plazo de los discos compactos (CDs). A veces, la redistribución de tensiones residuales es responsable de la iniciación de la grieta en discos en una de las etapas de la producción o por una redistribución que los incrementos de tensiones a un valor crítico para el cual una carga externa insignificante causa la fractura de CDs. Las tensiones residuales son introducidas por casi todas las técnicas usadas para la fabricación de polímeros.

Se producen como resultado de protuberancias, de estirar, de moldear o de otros procesos que inducen una tensión.

Las tensiones se pueden introducir por la contracción diferenciada, desigual, o flujo no uniforme. La relajación es una de las principales razones de la redistribución de la tensión residual, y este proceso puede ocurrir sin una carga o calentamiento externo.

En un ambiente de la producción, los procesos pueden cambiar para una variedad de razones. Pequeños incrementos en los patrones de la producción, temperatura del ambiente, o la composición del material puede causar nuevos problemas. Los inspectores de calidad pueden encontrar, por ejemplo, que los productos moldeados en poliestireno se comban o tuercen dentro de un tiempo corto después de emerger de la prensa, que las superficies de acrílico trabajadas a máquina

se agrietan, que la película orientada no puede ser dibujada sin agrietarse, o que los productos se decoloran.

Estos tipos de problemas se pueden remontar a menudo a las tensiones o a las relajaciones residuales de la tensión. Las tensiones residuales se deben evaluar en cada etapa del ciclo del producto, del diseño a la producción completa. Supervisando el proceso y regulando la calidad, ayuda a mantener calidad y productividad del producto, usando medidas directas para determinar la conveniencia de varios acercamientos y eliminar tensiones indeseables. La uniformidad y la distribución de tensiones en un producto deben también ser evaluadas cuidadosamente.

Los CDs modernos se hacen de policarbonato, que es un material birrefringente. Esto permite que las tensiones en CDs sean estimadas por un método fotoelástico. Una capa metalizada aplicada a una de las superficies del CD asegura las condiciones ideales para registrar un patrón de interferencia de la luz reflejada. Para el estudio de las tensiones en CDs usamos un arreglo óptico. El presente discute los resultados de la observación de tensiones residuales en CDs con diversas maneras de obtener el agujero central, producidos por diversos fabricantes usando las tecnologías modernas disponibles.

### Parte teórica

La fotoelasticidad es un método experimental para el análisis de la tensión y es especialmente útil en estudios de objetos con geometría compleja bajo condiciones de carga variables. En algunos casos donde los métodos teóricos son laboriosos o inaplicables, un análisis experimental es preferido para estudios de problemas dimensionales, problemas de carga dinámica, tensiones residuales, y comportamiento inelástico de materiales<sup>1</sup>.

Algunos materiales, especialmente plásticos, son isotrópicos en ausencia de carga pero llegan a ser anisotrópico bajo carga. La

birrefringencia, o anisotropía óptica, se relaciona con las tensiones elásticas y las tensiones de orientación que prevalecen en los polímeros orientados.

Cuando un rayo de luz polarizado con una amplitud  $a$  se propaga a través de un CD hecho del policarbonato con grosor  $t$ , éste es separado en dos rayos polarizados que propagan en los planos  $X$  e  $Y$  coincidiendo con la dirección de la tensión principal en el punto considerado (Figura. 1). Si las tensiones son  $a$  lo largo de los ejes  $X$  e  $Y$  son iguales a  $s_1$  y  $s_2$  y la velocidad de la luz en estas direcciones son  $V_x$  y  $V_y$ , respectivamente, el relativo desfase  $\delta$  entre estos dos rayos es dado por:

$$\delta = C \cdot \left( \frac{t}{V_x} - \frac{t}{V_y} \right) = t(n_x - n_y) \quad (1)$$

Donde  $n$  es el índice de refracción

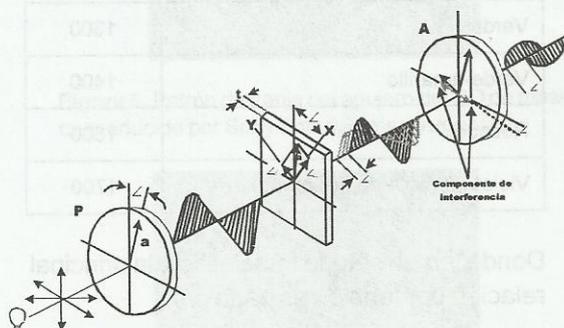


Figura 1. Plano del arreglo. Polarizador (P), analizador (A), capa (x) desplazamiento de fase (y).

De acuerdo con la ley de Brewster:

$$n_x - n_y = K(\sigma_1 - \sigma_2) \quad (2)$$

La constante  $K$  se llama el coeficiente de actividad óptica y es una propiedad física del material. Esta constante es usualmente determinada por calibración<sup>2</sup>.

Para las ecuaciones (1) y (2), tenemos  $\delta = t K(\sigma_1 - \sigma_2)$  por transmisión y  $\delta = 2t K(\sigma_1 - \sigma_2)$  por reflexión (la luz pasa dos veces a través de la muestra).

COLOR	RETARDO (nm)
Negro	-
Gris	150
Blanco-amarillo	250
Amarillo	300
Naranja (Amarillo oscuro)	450
Rojo	500
Indigo-violeta (Franja de 1er orden)	570
Azul	600
Azul-verde	650
Verde-amarillo	750
Amarillo	850
Naranja (amarillo oscuro)	950
Rojo	1050
Indigo-violeta (Franja de 2do orden)	1140
Verde	1300
Verde-amarillo	1400
Rosado	1500
Violeta (Franja de 3er orden)	1700

Donde, en el método fotoelástico, la principal relación por tensión es dada por:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{\delta}{2 \cdot t \cdot K} = \frac{N \cdot \lambda}{2 \cdot t \cdot K} \quad (3)$$

Debido al desfase relativo  $d$  (retardo), estas dos ondas luminosas no están en fase cuando pasan a través de una muestra plana. El analizador A permite solamente un componente (paralelo al eje del analizador) de estas dos ondas al pasar, según lo demostrado en la figura 1. Estas ondas interfieren, y la intensidad resultante es una función del desfase  $\delta$  y en ángulo entre el eje del analizador y la dirección de la principal tensión<sup>3</sup>  $\beta - \alpha$ .

Midiendo el retardo permite así la medida de la birrefringencia en cualquier localización deseada, de modo que obtendremos la ten-

sión residual siguiendo este proceso. Con la ayuda de la tabla 1, tendremos una referencia para evaluar cualitativamente la tensión existente<sup>4</sup>.

### Parte experimental

La manera más simple de observar tensiones de plásticos transparentes es colocar una muestra del material entre dos hojas polarizadas iluminadas. Cuando estos elementos se alinean correctamente, el patrón de la tensión llega a ser visible. En algunos casos, las franjas del color se pueden utilizar para evaluar birrefringencia, puesto que cada banda del color correlaciona al grado de la tensión en la muestra examinada (véase la Tabla I).

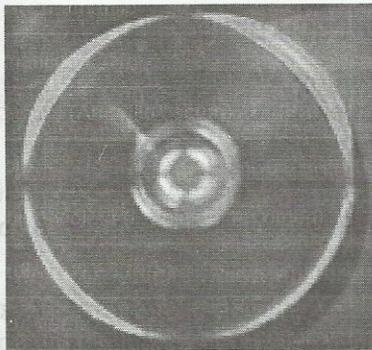
En una gran mayoría de usos, el patrón del color es difícil de interpretar y puede ser engañoso, puesto que un «rojo» o una franja «verde» se podría observar en los niveles múltiples de la tensión. Sin embargo, este método puede ser muy útil para una identificación simple de las áreas máximas de la tensión.

### Resultados y discusión

Se ha estudiado diferentes tipos de CDs, musicales y digitales. La información sobre como el CDs fue grabado, sea por un método industrial o usando quemador de CD fue parámetro de esta investigación. Durante la examinación de los CDs, los isocromas aparecieron como franjas de color secuencial, en el cual cada punto correspondió a los diferentes grados de birrefringencia y, por lo tanto, a las diferentes tensiones del segmento estudiado. Porque las franjas del color aparecen en una secuencia constante, el patrón foto elástico de la franja se puede leer como mapa topográfico, que permite una visualización de la distribución superficial de la tensión en las partes examinadas de los CDs.

La figura 2 muestra los patrones de franja típicos de discos compactos de música producidos Sony Music Entertainment Argentina. La información en los CDs es

almacenada a una muy alta densidad. El tamaño de cada pit (célula de la unidad) es algo pequeño - cerca de  $0.6 \mu\text{m}$ , y el ancho del espiral de la pista en la superficie de disco<sup>5</sup> es de solo  $1.6 \mu\text{m}$ .

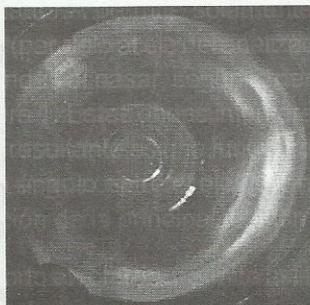


**Figura 2.** Patrón de franja de disco compacto de música producido por Sony Entertainment Argentina.

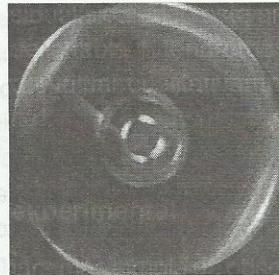
En la fabricación industrial de CDs, el policarbonato fundido se aplica a la matriz bajo alta presión. La presión es necesaria para formar pits de alta calidad. El tiempo de la fabricación de un disco es aproximadamente 4 segundos, que conduce inevitable a la ocurrencia de un campo de tensión no homogéneo y de un patrón correspondiente de franja.

El mismo método fue utilizado para obtener patrones foto elásticos en los análisis de las tensiones de CDs digitales. Los patrones de franja obtenidos se presentan en las figuras 3 y 4. Es fácil ver que el patrón de franja en la figura 3 es similar a la demostrada en la figura 4.

La carencia de un patrón de franja sensible 4 sugiere la alta calidad de este CD.



**Figura 3.** Patrón de franja de CD digital Princo.



**Figura 4.** Patrón de franja de CD digital Sony.

Asimismo observamos también que la forma de maquinado en la cual fue elaborado el agujero central propio de los CD's, determina también una tensión adicional como podemos apreciar en las figuras 5, 6 y 7 para cada CD, lo cual influye también para la acumulación de tensión residual.



**Figura 5.** Patrón de franja del agujero del CD de música producido por Sony Entertainment Argentina.



**Figura 6.** Patrón de franja del agujero del CD digital Sony.



**Figura 7.** Patrón de franja del agujero del CD digital Princo.

Las tensiones residuales en discos compactos se pueden estimar usando un método óptico simple. Una distribución no uniforme de las tensiones residuales en discos y de su relajación con el tiempo puede causar una pérdida de información almacenada en el disco. Los resultados del actual estudio demuestran que los CDs de los diferentes marcas se diferencian en la naturaleza de los patrones de franja. Los resultados de los experimentos pueden ser útiles para el control de daños óptico efectivos de los procesos de producción en las plantas de manufacturas de los CDs, para obtener un método mejorado mediante este procedimiento se puede hacer un análisis digital de imágenes obtenidas por este método, es decir hacer un «escaneo» de stress conectado a la PC para un estudio más detallado y este puede ser comparado con imágenes de CDs saliendo de una línea de producción, como un método de hacer un control de calidad antes de su comercialización.

## AGRADECIMIENTOS

A los colaboradores del presente estudio y al Instituto de Física por su aprobación como estudio de investigación para el año 2005.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Vishay Measurements Group, Inc. Raleigh, North Carolina, *Tech. Note N.º 702*, 1989.
2. Hech E. Zajac A. *Optica*. Editorial Adisson Wesley. Capítulo 8, p. 273 México, 1986.
3. Gerasimov S. I. *Journal of applied mechanical and technical physics*. Vol 45, N.º 3, 2004.
4. Redner A., Hoffman B. *Medical plastics and biomaterials magazine*. January 1997.
5. Newton C. Braga. *Saber electrónica*. N.º 261, Junho, 1996.