



LOS COLORES Y CALORES DEL ESFUERZO

En un mundo de constante movimiento, los materiales con que se construyen nuestras máquinas y estructuras enfrentan un desgaste que es necesario identificar para evitar fallos, ahorrar costos y salvar vidas.

Las necesidades de nuestra sociedad demandan una constante cadena de acciones para responder a ellas y cada una depende, en alguna medida, de materiales: con los que se hacen las máquinas industriales, los contenedores, los medios de transporte y mucho más.

Estas estructuras se ven sometidas a distintas cargas que generan esfuerzos y deformaciones que podrían desembocar en fallas que no sólo detendrían la parte de la cadena, sino que pondrían en riesgo el bienestar y la vida de miles de personas.

Para evitar esto se han desarrollado varias técnicas de análisis de los esfuerzos a que se ve sometida una pieza o estructura para identificar cómo se distribuyen las fuerzas y los puntos críticos en donde podría ocurrir una falla, como explica el profesor Alejandro Restrepo, líder del grupo de promoción e investigación en mecánica aplicada GPIMA de la UN.

Precisamente una de sus líneas de trabajo es la potenciación de técnicas como la fotoelasticidad y la termografía digital, que facilitan un registro visual de los esfuerzos y deformaciones de los materiales. Estas investigaciones han llevado a la decodificación de esos registros en valores de cargas específicos, a la elaboración de dispositivos de experimentación de menor costo y al uso de estas técnicas en el estudio de geometrías bioinspiradas.

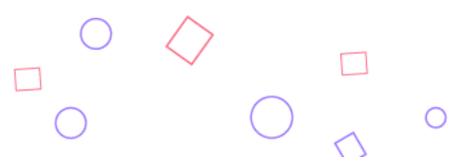
Colores convertidos en números

La fotoelasticidad es una técnica que con procedimientos ópticos obtiene un registro visual de una pieza sometida a unas cargas, unos patrones de franjas de colores, similares a los que vemos en una burbuja de jabón, que representan los esfuerzos del material.

Esos patrones se logran registrar con un polariscopio, instrumento que permite ver la refracción, es decir cómo cambia la velocidad y dirección de la luz cuando interactúa con un objeto. “Los esfuerzos son proporcionales a los índices de refracción, donde tenga mayores concentraciones de esfuerzo voy a tener un índice diferente y eso se refleja en los patrones de franjas de color” explica Juan Carlos Briñez, investigador de GPIMA.

Sin embargo, no es suficiente asociar el valor de esfuerzos con las franjas de colores que se generan en la pieza ya que esa relación se logró en un ambiente controlado específico que no serviría como referencia cuando se tomen imágenes en otro espacio con condiciones diferentes de luz y los colores no corresponderían a los esfuerzos encontrados en el ensayo experimental.

Para solventar esto, se propone un método basado en reconocer cómo cambian los colores a medida que cambia la carga sobre el objeto en distintos momentos en el tiempo: la frecuencia, con la cantidad de picos que genera la señal, con la cantidad de cambios de fase, cantidad de cambios de valores de textura.





Esta información mejora la evaluación del campo de esfuerzos de la pieza analizada y con los datos obtenidos se pueden hacer modelos matemáticos y realizar simulaciones. “¿Qué ha permitido esto? Obtener variabilidad experimental de manera rápida” explica Briñez.

Se pueden obtener en muy poco tiempo una gran cantidad de análisis de esfuerzos y deformaciones de un material simulando diferentes condiciones de iluminación, de sensores de cámara, de polarizadores, de atenuadores y condiciones de esfuerzo. Esto le brinda una ventaja en costos considerable a los análisis de fotoelasticidad.

Adicionalmente, se propusieron estrategias computacionales que decodifican esa información obtenida en las franjas de colores y convertirla en unidades de esfuerzos (megapascuales) y generar superficies de esfuerzos que evalúan los puntos críticos del material para identificar las potenciales fallas de antemano y tomar así las medidas adecuadas.

Un análisis en caliente

Otra de las líneas de trabajo del GPIMA ha sido la termografía infrarroja, una técnica de imagen en la cual se capta la radiación que emite un cuerpo, de manera natural o inducida, y cuya longitud de onda en el espectro electromagnético está asociada a la temperatura

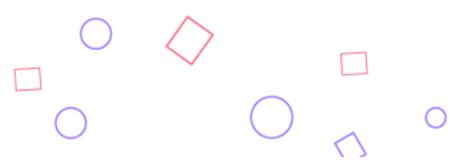
Para obtener estas imágenes o termogramas, se usan cámaras sensibles a esa radiación que muestran la distribución de la temperatura que proviene de una superficie. Para que estas mediciones sean confiables se debe tener claro un parámetro físico del objeto a analizar: la emisividad.

Esta es la capacidad que un material o pieza tiene de emitir energía o radiación electromagnética sin verse alterado por fuentes de radiación externa, que es el parámetro físico más importante que se debe ajustar al tomar estas imágenes para obtener valores certeros de temperatura. “Si se tiene una superficie con una emisividad muy baja y el experimento lo permite, se puede aplicar un recubrimiento de alta emisividad” señala el investigador de GPIMA, Hermes Fandiño.

¿Cuál es la ventaja de usar esta técnica para evaluar esfuerzos y deformaciones de un material? Para obtener el campo de esfuerzos de un objeto de forma experimental con otras técnicas de imagen se mueven los elementos del polariscopio o se hacen pequeñas variaciones de carga que pueden llevar a pequeños errores de alineación de la pieza o de los instrumentos que terminan afectando las mediciones.

Lo que ha hecho GPIMA es hacer esas pequeñas variaciones dilatando la muestra al calentarla. Así se generan modificaciones en el campo de esfuerzos sin mover los elementos del polariscopio o sin cambiar la carga del instrumento, obteniendo los registros visuales de la fotoelasticidad.

“Estamos buscando cuantificar con la cámara termográfica cuál es la variación de temperatura que se necesitó para producir unos desplazamientos de las franjas de colores que yo obtendría de manera mecánica” explica Hermes Fandiño. La idea es poder integrar la fotoelasticidad y la termografía para conseguir datos más robustos de los esfuerzos y deformaciones de un material.





Un plus importante es que en esa búsqueda se ha desarrollado dispositivos experimentales con un costo mucho menor del que tienen los instrumentos de medición tradicionalmente usados. Una máquina universal de ensayos, donde los materiales se someten a pruebas de compresión, tracción o flexión, puede costar millones de pesos.

Pero el grupo, para calentar la muestra en los registros de termografía usó una placa de calentamiento tomada de una plancha para cabello. Y cuando necesitaron hacer pruebas de fatiga, en las que se aplican cargas cíclicas a un material, pusieron un indentador en una sierra caladora y diseñaron una instalación horizontal para ubicar la muestra.

“Se aplicó un doble recubrimiento a la muestra de resina epóxica y se pudo analizar por un lado los patrones de franjas de colores (el campo de esfuerzos) y por el otro lado, el campo térmico” comenta Fandiño. Y todo gracias a herramientas con una fracción del costo de los instrumentos generalmente usados.

Estos resultados experimentales, aunque son análisis cualitativos, muestran que GPIMA va en la dirección correcta y que en el mediano plazo estarían generando valores concretos de esfuerzos y temperaturas en el mediano plazo.

La gran fuerza de la pequeña raíz del arroz

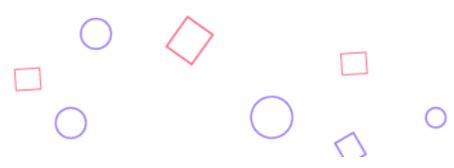
Para el ser humano la naturaleza siempre ha sido fuente de inspiración para el desarrollo de innovaciones, lo que se conoce como bioinspiración. GPIMA, gracias a su experticia en el análisis de esfuerzos y deformaciones de los materiales, se encuentra explorando la estructura de las raíces del arroz para identificar geometrías que podrían replicarse en distintas aplicaciones.

“Resulta que hay un montón de perforaciones en el núcleo de la raíz del arroz, el cilindro vascular por donde pasa la savia” señala el investigador Juan Camilo Hernández. Estas geometrías aguantan presiones bastante altas para su tamaño y lo que busca el grupo es extrapolar estas estructuras a escalas más grandes e identificar sus potenciales ventajas mecánicas.

Para lograr este objetivo se han utilizado las técnicas de fotoelasticidad ya reseñada y la correlación digital de imágenes. Esta última es una técnica en que se hace una toma de imágenes digitales de la estructura a la que se le ha aplicado un recubrimiento adecuado y un moteado aleatorio de color negro para generar el máximo contraste posible.

Esos puntos se convierten en las referencias que permiten determinar la deformación que sufre el objeto al ser sometido a varias cargas, comparando en las imágenes cómo cambian su. “El ojo no alcanza a distinguir esas deformaciones tan pequeñas - son nanométricas - y por eso necesitamos la ayuda de cámaras” aclara Hernández.

En este caso se elaboró un disco con una geometría similar a la de las raíces del arroz, con perforaciones de distintas formas y tamaños para compararlas con muestras que representan tuberías o piezas de geometría tradicional en el transporte de fluidos y que soportan altas presiones internas.





“Uno puede identificar ciertos valores de esfuerzos en diferentes puntos de la pieza. Entonces uno puede asociar la geometría con un valor de esfuerzo, esa es la ruta que queremos seguir” indica Hernández. Los indicios preliminares muestran un desempeño mecánico superior de la geometría bioinspirada.

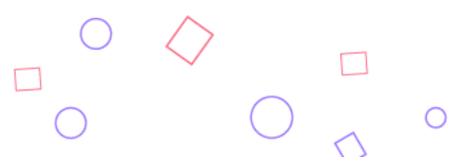
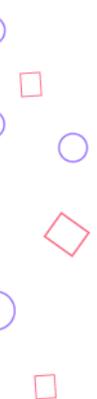
Este proyecto aún está en una fase de desarrollo y está ajustando las técnicas para poder integrarlas y obtener resultados más certeros y mediciones más robustas y confiables. Esto facilitaría el desarrollo de materiales compuestos, combinando características de dos materiales para obtener ventajas mecánicas considerables como una resistencia mayor a pesar de ser más livianos.

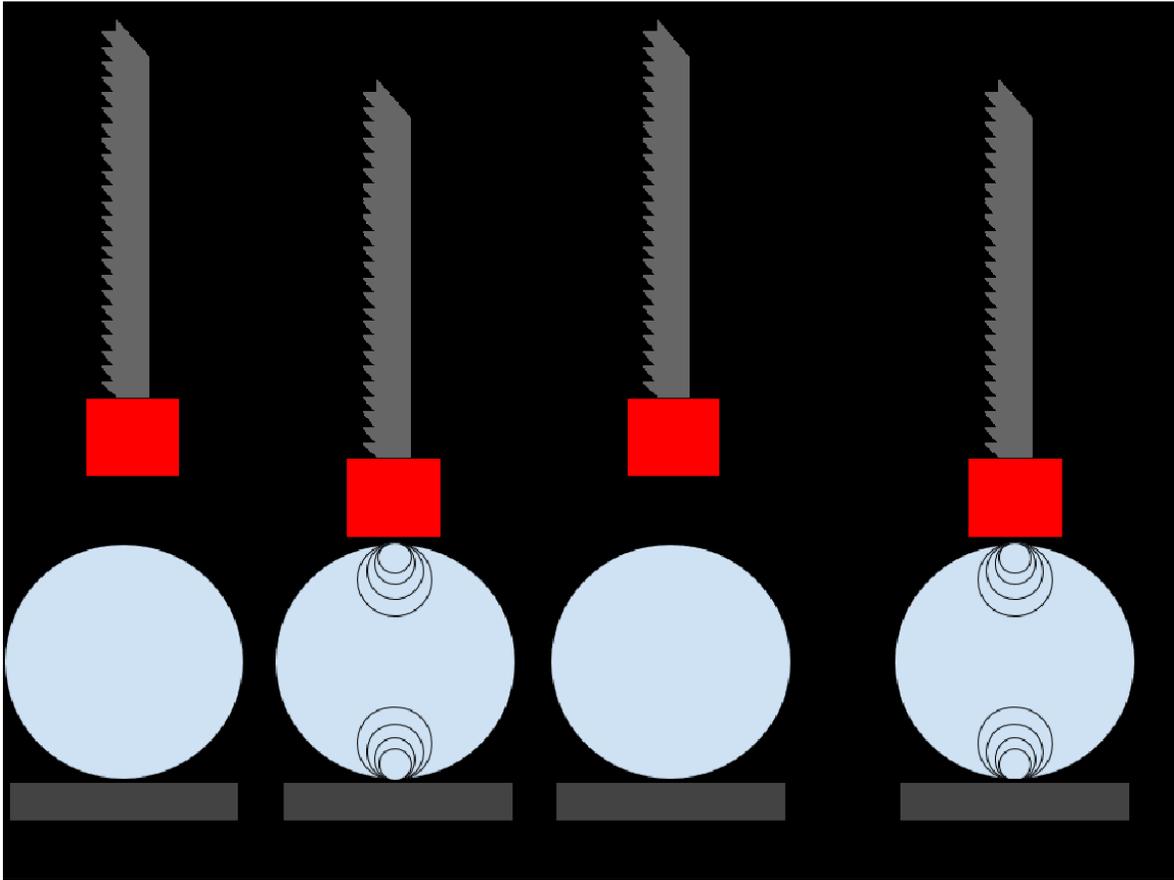
Por eso GPIMA sigue trabajando con las técnicas de fotoelasticidad y termografía para convertir los registros visuales de franjas de colores y temperaturas de los esfuerzos y deformaciones de un material, en cifras y valores concretos que permitan elaborar superficies de esfuerzos certeras y facilitar el análisis.

Las potenciales aplicaciones de estas investigaciones tendrían impactos en múltiples sectores y con alcances difíciles de dimensionar aún. Pero el tiempo y los costos que se podrían ahorrar y, más importante, las vidas que se podrían proteger, hacen de la búsqueda del grupo algo fundamental para nuestro futuro.

Como el proverbial tesoro al final del arco iris.

Palabras claves: análisis de esfuerzos y deformaciones; fotoelasticidad; termografía digital; geometrías bioinspiradas; polariscopio; modelación matemática; simulaciones; espectro electromagnético; correlación digital de imágenes;





Representación de las cargas cíclicas aplicadas al material con una sierra modificada.

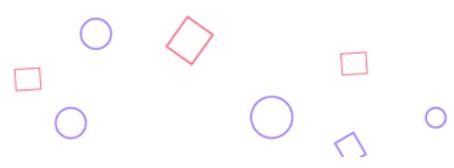
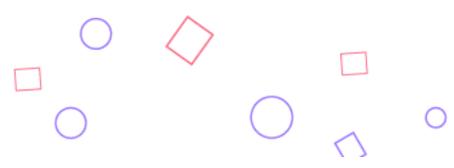
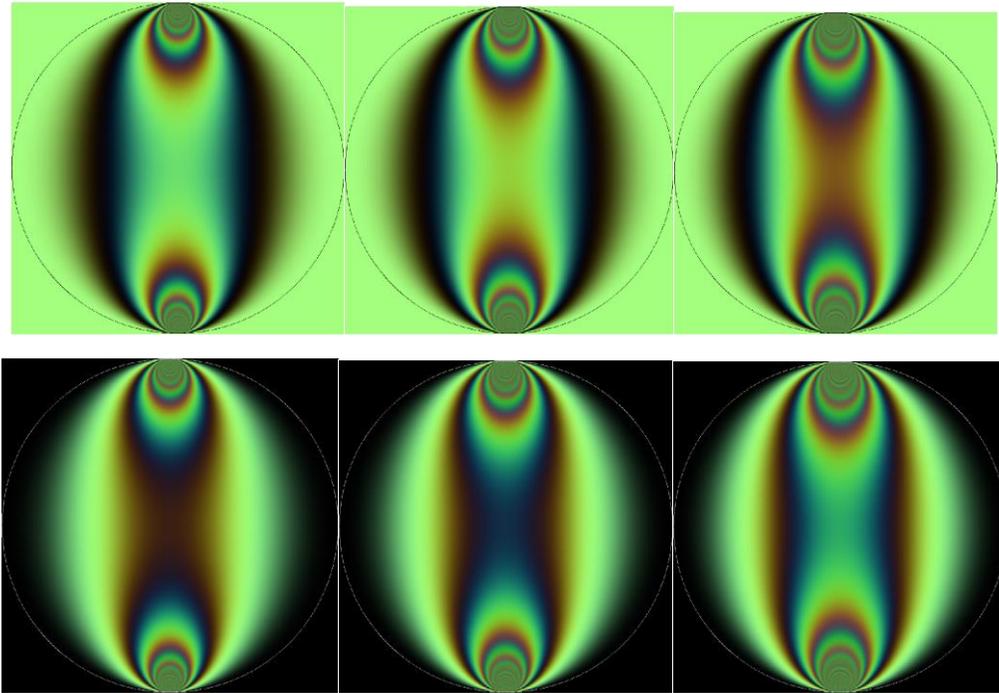


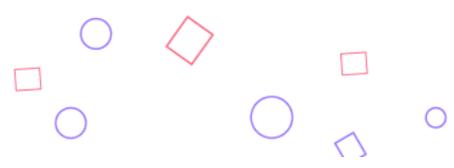


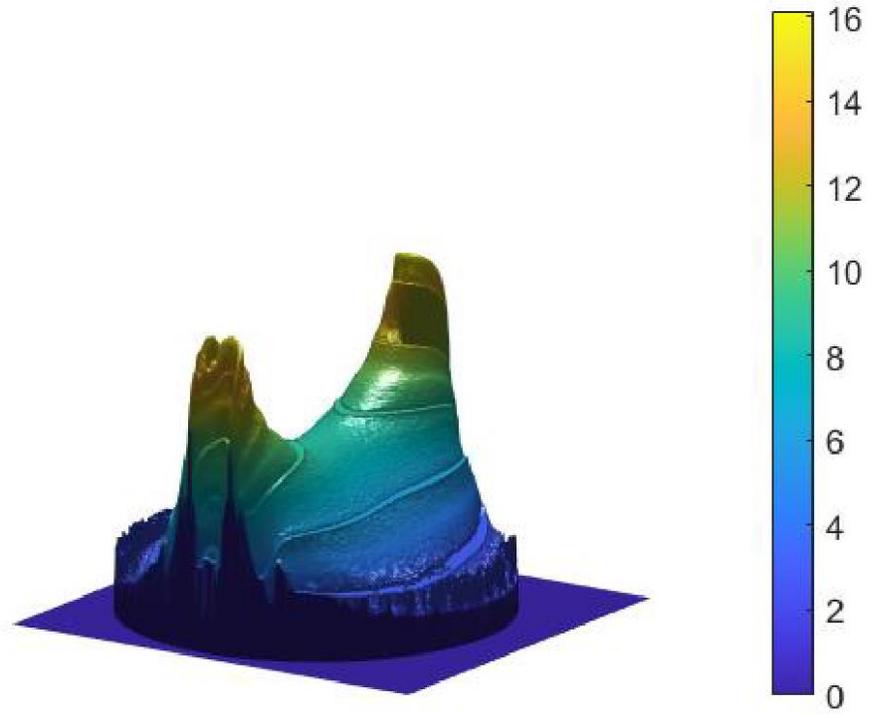
Imagen digital del patrón de franjas de color observado en el material. (Tomado Revista EIA Año XIV / Volumen 14 / Edición N.28 / Julio-diciembre 2017 / pp. 117-131)





Termografía obtenida con una modelación a partir de la aplicación de tres cargas diferentes.





Superficie de esfuerzos generada a partir de las imágenes de los discos bajo carga.

