

SPECKLES

Por: **Francisco F. Medina E., Físico, M. Sc.**
Profesor del Departamento de Física, Universidad de Antioquia

Con el advenimiento de los láseres, ciertos fenómenos ópticos que se consideraban despreciables o imperceptibles se manifestaron en una forma tal, que no se podían ignorar fácilmente. Uno de tales fenómenos es de patrones de moteado, más comúnmente conocidos como *Speckles*.

Los patrones de speckles se generan por las modificaciones, que sobre el campo de luz monocromático, coherente y polarizado, producen las microestructuras de las superficies. Dichas modificaciones sobre el campo de luz quedan codificadas como variaciones fuertes de intensidad; dando el aspecto característico de los patrones de speckles :

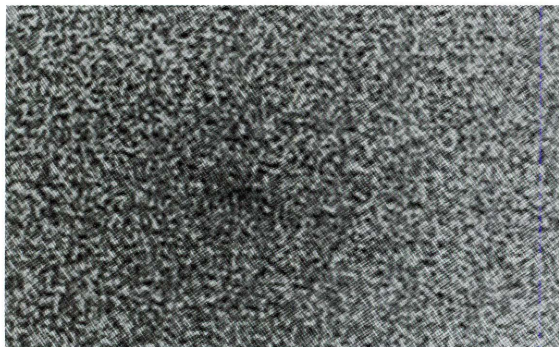


FIGURA 1. PATRÓN DE SPECKLES.

ENTRE LAS TÉCNICAS DE MEDIDA DE SUPERFICIE EN EL CAMPO DE LA ÓPTICA SE DESTACAN LAS DE MOIRÉ, LAS HOLOGRÁFICAS Y LAS DE SPECKLES. EN EL PRESENTE TRABAJO NOS INTERESAN LOS PATRONES SPECKLES. ESTOS SE CARACTERIZAN POR SU APARIENCIA DE PECAS Y ESTÁN EN LA REGIÓN DE CAMPO INTERMEDIO. LOS PATRONES DE SPECKLES SE GENERAN POR LAS MODIFICACIONES, QUE SOBRE EL CAMPO DE LUZ MONOCROMÁTICO, COHERENTE Y POLARIZADO, PRODUCEN LAS MICROESTRUCTURAS DE LA SUPERFICIE.

- fuertes variaciones en la intensidad que se superponen a la imagen o figura considerada, y
- apariencia de pecas o moteado del que se deriva su nombre.

Lo anterior puede observarse claramente en la Figura 1, donde se muestra un patrón de speckles generado por el paso de la luz de un láser de He-Ne a través de un vidrio esmerilado, cuando la forma geométrica del haz de luz sobre la superficie difusora es un círculo.

En la Figura 2, podemos observar el montaje para la generación del patrón de speckles mostrado en la Figura 1.

Su presencia y aspecto resultaban bastante molestos en la observación y manejo de interferogramas y hologra-

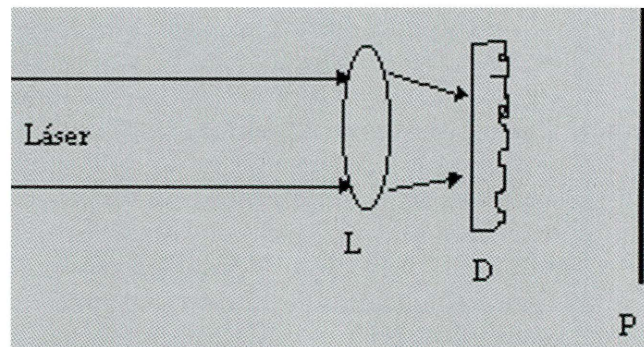


FIGURA 2. MONTAJE PARA OBTENCIÓN DE PATRONES DE SPECKLES. L LENTE, D DIFUSOR Y P PANTALLA DE OBSERVACIÓN.

mas. Por lo que se diseñaron muchas estrategias y métodos para reducirlos y/o eliminarlos.

Sin embargo, se pudo establecer que su presencia era inevitable y que estaba íntimamente conectada con las propiedades estadísticas de esa nueva fuente de luz, el láser, y en forma muy fundamental con la propiedad denominada coherencia.

La coherencia indica el grado de dependencia que tienen entre si los diferentes puntos de un campo luminoso. En los láseres esta dependencia es grande, mientras que en las fuentes naturales de luz es baja.

Así pues, podemos decir que los speckles son el resultado de la interacción entre campos de luz altamente coherentes con superficies que le introducen fuertes alteraciones sobre los parámetros básicos de dichos campos de luz. A tales superficies se les denomina *Superficies Difusoras*.

Por todo lo anterior, se pudo establecer que los patrones de speckles resultaban teóricamente atractivos para la determinación y medida de cambios sufridos por la superficies, tal como se hacía con los métodos interferométricos tradicionales.

Resultó una técnica de bajo costo, relativa alta precisión y exigencia experimental, pero conllevando un cierto grado de dificultad en la interpretación de los resultado.

La forma individual de cada uno de los speckles no es tan caótica como puede aparecer a simple vista, al contrario, presenta una gran dependencia de la forma geométrica que determine el haz de luz sobre la superficie difusora.

Trataremos y analizaremos cada uno de los elementos involucrados en la formación, registro de un patrón de speckles, para poder así, entender las técnicas de metrología con speckles.

DIFUSORES Y SUS PROPIEDADES

Las superficies difusoras, o simplemente difusores, son superficies con una microestructura compuesta por un gran número de irregularidades de relieve, tamaño y localización completamente aleatoria, es decir, que conocida las características de una de dichas irregularidades, no se puede predecir las características correspondientes a ninguna de las otras, aún, por cerca que se encuentren de la conocida. Cada una de dichas irregularidades recibe el nombre de *Dispensor*, y es capaz de desparramar o difundir uniformemente la luz que incide sobre él en el semiespacio que se halle al frente de él. La luz que emerge, de un dispensor indivi-

dual, lleva toda la información sobre ese punto de la superficie, codificada como variaciones en los parámetros del campo óptico portador.

En cada punto del espacio donde concurren rayos de luz difundidos por la superficie, se presenta una superposición de la información codificada por la luz. Superposición que se denomina *Interferencia* y, que se manifiesta como cambios de intensidad del mencionado *Patrón de Speckles*.

Se desprende de lo anterior que:

- el patrón de speckles es un fenómeno tridimensional, es decir, existe en todos los puntos donde llega la luz dispersada,
- el patrón de speckles es una representación codificada, ópticamente, de las propiedades de la microestructura de la superficie difusora que lo produce.

La forma geométrica afecta la forma individual de cada uno de los speckles dentro del patrón, esto se puede observar en la Figura 3 donde se muestra: en el caso (a) el patrón de speckles formado bajo una iluminación lineal (rectángulo de ancho pequeño frente a la altura) y en el caso (b) el formado cuando la forma del área iluminada corresponde a una cuadrada.

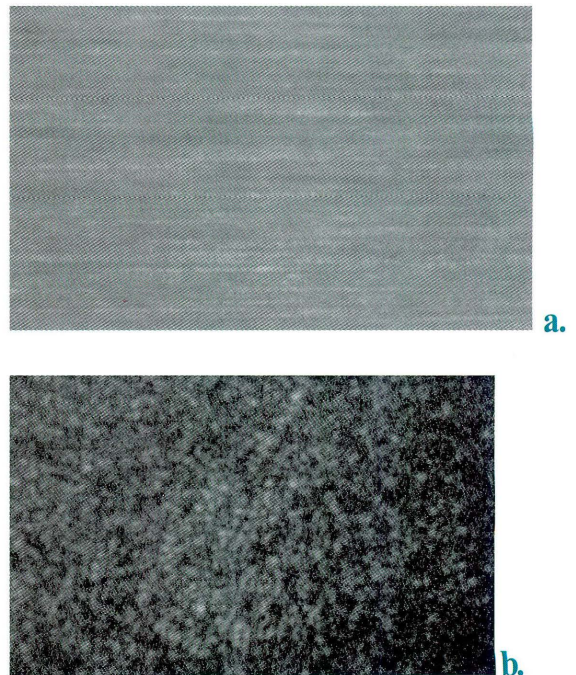


FIGURA 3. (A) PATRÓN DE SPECKLES FORMADO POR UNA ILUMINACIÓN LINEAL Y (B) POR UNA CUADRADA.

Además, el tamaño promedio de los speckles depende de la longitud de onda de la luz, de la distancia entre el difusor y el plano de observación y del diámetro medio del área iluminada sobre el difusor.

PROPIEDADES DE LA LUZ INCIDENTE

Interferencia y Coherencia

Una forma de medir o establecer el mayor o menor grado de coherencia de una fuente luminosa es midiendo el mayor o menor contraste que presentan las franjas de interferencia que puede formar dicha fuente.

Interferencia es hacer concurrir en un punto determinado dos o más haces de luz, para que refuercen o atenúen las intensidades a partir de las diferencias o semejanzas que posean o conlleven codificadas durante su propagación.

En la Figura 4 se muestra el patrón de interferencia producido por muchas fuentes, cuyas iluminaciones se superponen sobre el mismo plano de observación.

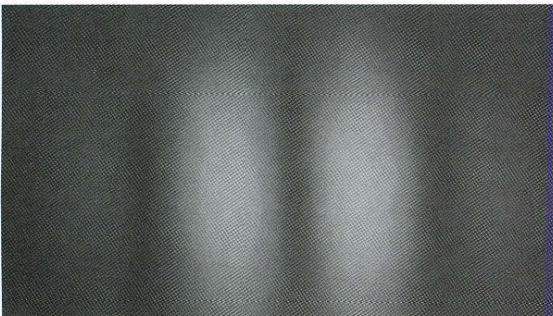


FIGURA 4. PATRÓN DE INTERFERENCIA PRODUCIDO POR UN INTERFERÓMETRO DE MICHELSON.

Para medir el contraste en una determinada zona de un interferograma se determinan las intensidades máxima y mínima dentro de la zona seleccionada y se divide la diferencia por la suma de dichas intensidades. Cambios sufridos por uno o los dos haces implicarán

cambios en la distribución, apariencia y o contraste de las franjas de interferencia. Midiendo los cambios en el interferograma se determinan los cambios en las fuentes o en los medios por los cuales pasaron los haces. Siendo el cambio mejor manipulado e interpretado el asociado con la separación de las franjas.

PROPIEDADES Y APLICACIONES DE LOS SPECKLES

Borrosidad

Cuando el difusor cambia, el patrón de speckles se modifica en su aspecto individual, aunque en su contraste y propiedades estadísticas permanecen inalteradas. Pero, cuando estos patrones cambiantes se registran en forma sucesiva sobre la misma placa fotográfica, se obtiene cada vez, un nuevo patrón más y más uniforme, menos contrastado, más borroso.

Esta propiedad puede ser utilizada para la observación y medida de estados de: vibración en membranas, detección de microdesplazamientos, cambios en la microestructura de superficies (por corrosión, por ejemplo) y determinación de parámetros de soluciones coloidales.

Interferometría

Cuando el registro se realiza entre dos patrones de speckles diferentes, pero, conectados todavía causalmente, se obtiene un patrón de speckles tal que, al transiluminarlo con luz coherente, produce un sistema de franjas. A partir de la separación y orientación de las franjas se puede determinar: microdesplazamientos y microdeformaciones en el difusor.

Las técnicas asistidas por computador, tal como la ESPI (Electronic speckle Pattern Interferometry), hacen uso de la borrosidad o de la interferometría. &



PARA SABER MÁS

- DAINTY, Editor, *Laser Speckle and Related Phenomena*, Springer -Verlag, New York, 1975, Capítulos 2 y 6.
- ERF, *Speckle Metrology*, Academic Press, New York, 1978.
- BURCH y J. TOKARSKI, *Optics Acta*, 15 (1968), 101.
- HENAO, F. MEDINA, H. J. RABAL y TRIVI M., *Three-Dimensional Speckle Measurements with a Diffraction Grating*, *Applied Optics*, 32, (1993), 726.
- TRIVI M. y H. RABAL, *Sign Ambiguity in Speckle Metrology*, *Applied Optics*, 33, (1994), 2206.