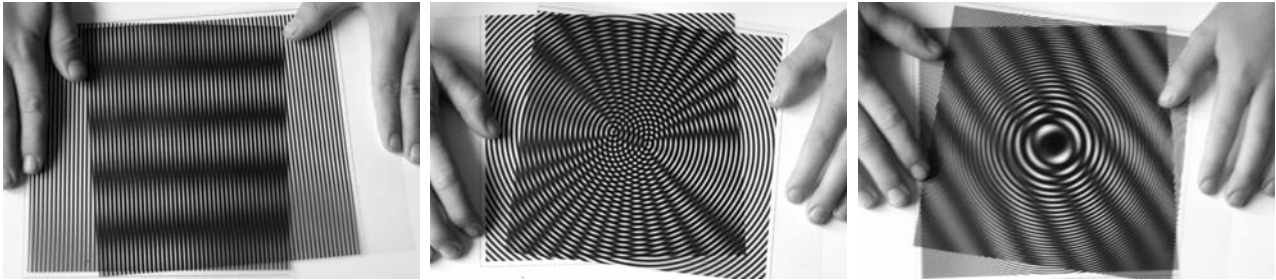


EL EFECTO MOIRÉ

El efecto *moiré* es un fenómeno bien conocido que se produce cuando dos estructuras periódicas o cuasiperiódicas (denominadas genéricamente redes primarias) se superponen, y se manifiesta en forma de un patrón claramente visible que no existe en ninguna de las estructuras originales.



El término *moiré* proviene de la palabra francesa que significa *aguado* o *con apariencia ondulada* y hace referencia a una antigua técnica textil desarrollada en China consistente en un acabado ondulado irregular producido en un tejido al ser presionado entre rodillos estampados o, según otros autores, a dos capas de seda superpuestas que forman un patrón *moiré* de forma cambiante según se mueva la persona que viste esa prenda. Este fenómeno puede contemplarse cotidianamente cuando se observa un presentador de TV que viste una camisa con rayas horizontales, al mirar dos vallas con entramado similar que están una detrás de la otra,...

De todos los patrones que se obtienen en la superposición de las mencionadas redes primarias, el patrón de interés (denominado patrón efectivo y que se va a llamar imagen *moiré*) es aquel cuya frecuencia espacial es igual a la diferencia de las frecuencias espaciales correspondientes a las estructuras originales. La imagen *moiré* suele ser aislada del resto de los otros patrones de mayor frecuencia mediante un filtrado paso bajo. Este patrón amplía a la escala de un periodo (varios órdenes de magnitud mayor que el correspondiente a las redes primarias) las variaciones en el periodo y orientación de las redes primarias, obteniéndose de este modo la información codificada por las redes primarias en una escala magnificada. Así, por ejemplo,

cada vez que una de las redes primarias avanza una distancia igual a su periodo, la imagen *moiré* sufre el mismo desplazamiento pero de su periodo.

El uso del efecto *moiré* empleando redes lineales en el ámbito científico data de 1874 cuando el físico británico Lord Rayleigh lo propuso como una técnica de verificación de redes Ronchi. Posteriormente Righi sugirió el uso de las franjas *moiré* para la medida de desplazamientos laterales empleando redes circulares y lineales, idea que se concretó en un medidor de pequeños desplazamientos mediante la observación visual de las franjas patentado por Giambiasi en 1922.

Asimismo, el efecto *moiré* ha sido empleado con éxito (desde los trabajos pioneros de Rowe y Welford en 1967) en la medida topográfica de superficies mediante el empleo de diversas técnicas cuyo fundamento se encuentra en el mismo, y para cuya realización se requiere el empleo de redes primarias mediante las cuales se ilumina la superficie a medir y/o se recibe la luz que proviene de la misma. Entre estas técnicas se pueden destacar la *deflectometría moiré*, el *moiré de proyección* y el *moiré de sombra*.

Las franjas *moiré* a partir de redes lineales pueden ser de distintos tipos de acuerdo con la relación entre los periodos de las redes primarias y el ángulo que formen ambas. Así podemos distinguir los importantes casos particulares denominados: i) *franjas moiré de rotación*, en las que las redes tienen el mismo periodo pero el ángulo que forman no es cero ($p_1=p_2$, $\theta_{12}\neq 0^\circ$); y ii) *franjas moiré de extensión*, en las que los periodos de las redes no coinciden y no están inclinadas una respecto de la otra ($p_1\neq p_2$, $\theta_{12}=0^\circ$). Estos pueden observarse en la Figura 1.

Se pueden distinguir tres tipos de superposición incoherente de estructuras en la formación de franjas *moiré*: i) *moiré aditivo* en el que se suman las distribuciones de intensidad de las estructuras superpuestas, para lo cual normalmente se requiere exponer en una placa fotográfica las estructuras en dos exposiciones consecutivas, con lo que no se puede realizar en tiempo real; ii) *moiré sustractivo* en el que se restan las distribuciones de intensidad de las estructuras superpuestas, obteniéndose, por ejemplo, empleando redes polarizadas en las que el estado de polarización de la luz es modulado periódicamente; y iii) *moiré multiplicativo*, que es el más sencillo de realizar

pues consiste en poner en contacto (virtual o real) las estructuras e iluminarlas con un haz de luz de modo que la luz detrás o frente a las estructuras es proporcional respectivamente al producto de sus transmitancias o reflectancias.

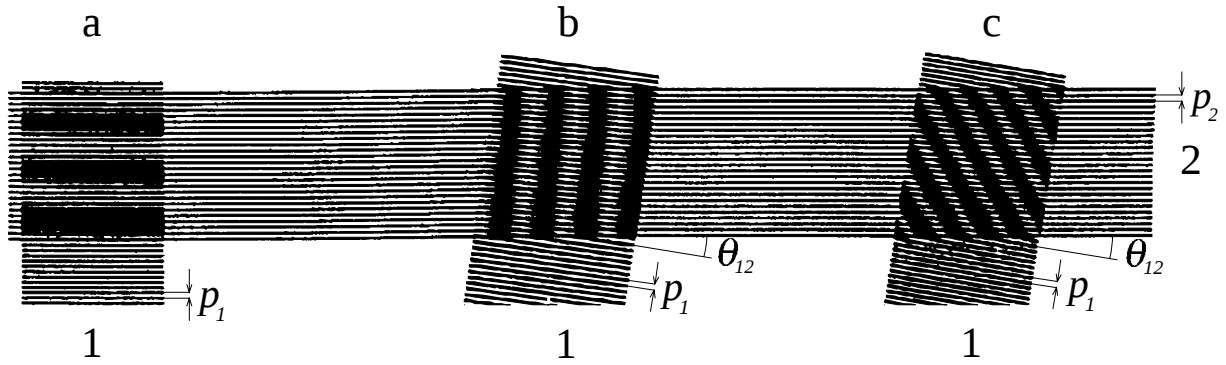


Figura 1. Patrones moiré: a) de extensión: $p_1=0.9 p_2$, $\theta_{12}=0^\circ$; b) de rotación: $p_1=p_2$, $\theta_{12}=9^\circ$; c) genérico: $p_1=0.9 p_2$, $\theta_{12}=9^\circ$.

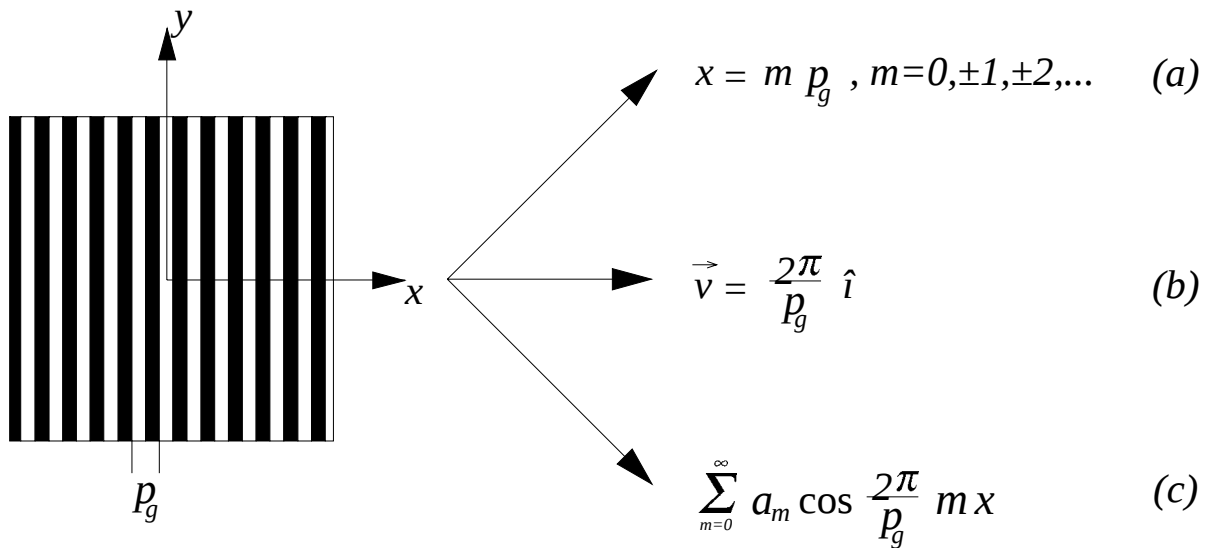


Figura 2. Expresiones matemáticas de una red primaria lineal de periodo p_g : a) ecuación paramétrica de índices, b) vector de franjas y c) serie de Fourier.

Se han desarrollado distintos modelos matemáticos para el estudio de la superposición de las redes primarias (Patorski, 1993), atendiendo a la descripción matemática de estas últimas (ver Figura 2). Estos son:

- a) Ecuaciones paramétricas de índices. Las redes primarias se describen como un conjunto de curvas dependientes de un parámetro índice. El parámetro (número entero) cambia de uno en uno de una curva a su vecina.
- b) Vectores de franjas en el espacio recíproco. Las redes primarias se representan por medio de unos vectores cuyo módulo es la frecuencia espacial de la correspondiente red, su dirección es perpendicular a las líneas de la red y su sentido definible. En este caso, el estudio de la formación del patrón *moiré* se reduce a un sencillo análisis vectorial.
- c) Series de Fourier. Dado que para la formación de patrones *moiré* son requeridas estructuras periódicas o cuasiperiódicas resulta obvio la elección de la representación de estos como series de Fourier. Esta descripción hace uso de la representación de Fourier de las redes primarias proporcionando, además de la propiedades bidimensionales (espaciado y orientación) de las redes primarias y patrones resultantes (como ocurre en las descripciones *a* y *b*), información sobre el perfil de los patrones obtenidos en función de los correspondientes coeficientes del desarrollo.

Referencias

- Creath, K., Wyant, J.C., "*Moiré and Fringe Projection Techniques*", en "Optical Shop Testing", Malacara, D., Ed. Wiley-Interscience Pub., 653-659, (1992).
- Patorski, K., "*Handbook of Moiré Fringe Technique*", Elsevier Science Publishers, (1993).