

IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA ÓPTICA PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS

Ph D JORGE ENRIQUE RUEDA

Ph D. JAIME SALCEDO

ABSTRACT:

The granulometry is a applied digital technique to the determination of average particles size. In this work one sets out to implement the technique by means of an optical processor based on the Stark model; by means of this analogical technique it is possible to be determined the average particle size in the image and the average space period of the same particle distribution. The implemented method was applied to the classification of the coffee from the measurement of so average grain size; are some experimental results.

KEYWORDS:

Optical processor, Stark model, Granulometry, Optical Diffraction, Fourier Transform.

INTRODUCCION

La granulometría es una técnica de tratamiento digital utilizada en la medida del tamaño medio de una distribución de partículas presentes en una imagen; el Método se fundamenta en operaciones morfológicas sobre la imagen. Esta técnica aplica el siguiente algoritmo de cálculo discreto: operaciones de apertura sobre la imagen original con elementos de estructura de tamaño creciente, cálculo de la diferencia entre la imagen original y su apertura una vez que se haya terminado cada operación con un elemento de estructura diferente, normalización de las diferencias y construcción de un histograma de distribución del tamaño de las partículas.

El modelo de Stark (Stark, 1977; Stark, 1978; Favier Et Al., 1981) es un método estadístico basado en la transformada de Fourier, que permite determinar el tamaño medio y el periodo Espacial de un conjunto de partículas distribuidas en forma aleatoria sobre una misma imagen; la materialización óptica de la técnica es un arreglo de difracción de Fraunhofer. H. Stark demostró, que la intensidad del patrón de difracción de un conjunto de partículas, de forma regular y de distribución casi aleatoria, es una función Bessel.

El patrón de difracción presenta una inflexión de intensidad de simetría radial dentro del orden cero (ver Fig.1); el radio de esta inflexión energética es el parámetro estadístico que está

relacionado con el periodo medio espacial de la distribución de partículas, y el radio del orden cero es el parámetro estadístico relacionado con el tamaño medio de las partículas presentes en la imagen; además, es de agregar que la inflexión de intensidad al interior del orden cero del espectro se produce como consecuencia de la variación aleatoria del periodo espacial de la distribución de partículas.

En este trabajo se utiliza el modelo de Stark para determinar el tamaño medio del grano de café seco a partir de la medida espectro de una distribución aleatoria de ellos en una imagen; la medida se obtiene a partir del patrón de difracción de Fraunhofer de tal imagen. En esta aplicación del modelo de Stark, las partículas no son de forma

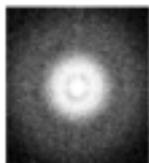


Figura 1. Patrón de difracción de una distribución aleatoria.

regular y los tamaños de los granos son disímiles. Resumiendo, este método óptico permite determinar el tamaño medio geométrico de cualquier distribución de partículas o productos que se puedan representar como una imagen de elementos distribuidos en forma aleatoria, y adicionalmente, se puede determinar el periodo espacial medio de la distribución. En este sentido la técnica se puede utilizar para clasificar productos, siempre que ellos se puedan distribuir en forma aleatoria sobre una escena .

2. MODELADO NUMÉRICO:

Se modeló numéricamente el arreglo óptico implementado; en esta tarea se utilizó el algoritmo rápido de la transformada de Fourier discreta. El modelado numérico facilita demostrar la validez del método a través de la interpretación precisa de la salida del arreglo óptico; en esta base, se demostró que el arreglo implementado permite determinar el tamaño medio de una distribución de granos, estén estos distribuidos espacialmente en forma aleatoria o no; también, se evaluó la inflexión de energía en el orden cero del espectro de difracción, al respecto, se comprobó que tal comportamiento se manifiesta exclusivamente si la distribución espacial de los granos es aleatoria. Algunos de los resultados del modelado numérico se muestran en las Figs.2-5; los resultados de las Figs. 4 y 5, son la demostración de que el método permite determinar el tamaño medio de granos presentes en la imagen.

3. IMPLEMENTACIÓN ÓPTICA

La Fig.6 es un esquema del sistema óptico utilizado para obtener los patrones de difracción de Fraunhofer de las estructuras granulares de café. Sobre el plano (x_0, y_0) se encuentra ubicada la transparencia $a(x_0, y_0)$, la cual está constituida por una distribución aleatoria de granos de café seco; la transparencia se ilumina con una onda plana monocromática, de longitud de onda 632nm; la fuente de esta radiación es un láser de He-Ne de potencia 5mw. Sobre el plano espectral, a través de la lente de longitud focal $f=+100$ cm, se obtiene la repartición de amplitud del espectro de $a(x_0, y_0)$ y cuya intensidad se representa mediante la siguiente expresión (Goodman, 1972):

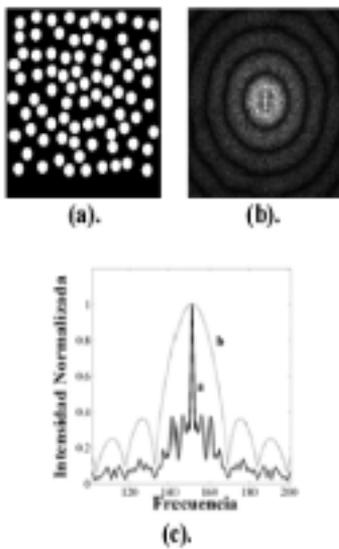


Figura 2. (b): intensidad del espectro de Fourier de (a); (c): a perfil del espectro (b) y b perfil del espectro de un grano.

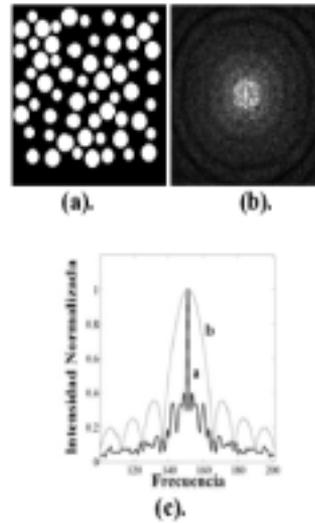


Figura 3. (b): intensidad del espectro de Fourier de (a); (c): a perfil del espectro (b) y b perfil del espectro de un grano que corresponde al tamaño medio de la distribución (a).

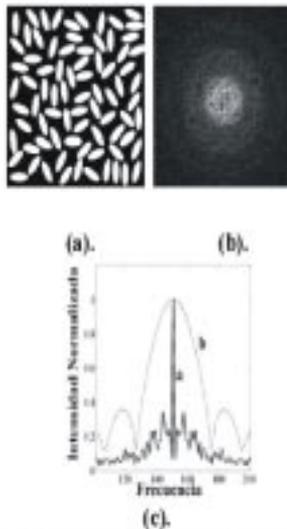


Figura 4. (b): intensidad del espectro de Fourier de (a); (c): a perfil del espectro (b) y b perfil del espectro de un grano de forma circular y que es el circunscrito en un grano de la distribución (a).

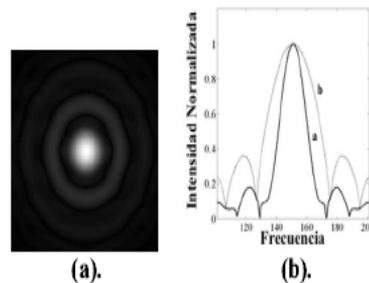


Figura 5. (a): intensidad del espectro de Fourier resultante de la suma en amplitud de 37 espectros de Fourier de un grano elíptico centrado.; (b): a perfil del espectro (a) y b perfil del espectro de un grano circular de tamaño medio correspondiente al de la distribución de la Fig4.(a).

del frente de onda plano que ilumina la transparencia

3.1 ESPECTRO DE UNA DIFRACCIÓN DE UNA DISTRIBUCIÓN REGULAR DE GRANOS DE CAFÉ

En la Fig.7.(a) se muestra una distribución regular de granos de café tostado y en la Fig.7.(b) su respectivo patrón de intensidad del espectro de difracción de Fraunhofer. Es importante observar, como cuando la distribución es de periodo uniforme, entonces, no se produce inflexión de intensidad sobre el orden cero de la función de Bessel, y también que la distribución de energía de esta función no tiene simetría circular; un comportamiento opuesto se produce cuando los granos se distribuyen aleatoriamente (ver Figs.8 y 9)

Si representamos la transmitancia de un grano de café por $g(x_0, y_0)$, entonces la transmitancia de la imagen de la Fig.7.(a) se puede

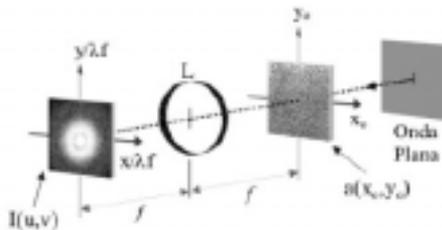


Figura 6. Arreglo experimental de difracción. L es una lente de longitud focal $f=+100$ cm.

Representar mediante la siguiente expresión: donde p y q son los periodos en dirección de x_0 y y_0 , respectivamente. El número de granos en dirección x_0 es N y M es el número de granos en dirección de y_0 . Entonces, en el plano espectral se observará una repartición de

$$I(u, v) = I_0 \left| \left| \sum \sum g_{nm}(x_0, y_0) \exp(-i2\pi(u x_0 + v y_0)) \right| \right|^2; \quad (1)$$

siendo $u = \frac{x}{\lambda f}$ y $v = \frac{y}{\lambda f}$ las coordenadas

intensidad dada por (2)

donde los dos últimos términos de Ec.(3) representan los máximos de intensidad discretos que aparecen sobre la imagen de la Fig.7.(b); tales máximos, se deben a la distribución uniforme de los granos de café.

El término $|\sum \sum g_{nm}|^2$ es el resultado de la contribución energética del espectro de cada grano de café $g_{nm}(x_0, y_0)$, presente en la imagen $a(x_0, y_0)$; en la Fig.7.(b), este término corresponde a los anillos concéntricos.

3.2 DIFRACCIÓN DE UNA DISTRIBUCIÓN CASI ALEATORIA DE GRANOS DE CAFÉ:

En la Fig.8.(a) se muestra una distribución En

Si la estructura granular presenta periodicidad privilegiada, es decir que: donde P es el periodo medio, entonces el producto $L(u)R(v)$ tiene la forma (Stark, 1977; Stark, 1978; Martin and Aime, 1979) donde los máximos de $L(u)R(v)$ se presentan ; entonces para los valores mínimos debe cumplirse que

$2P \gg (1 + 2\epsilon)(P - \Delta)$. El término $L(u)R(v)$ explica la presencia del anillo de intensidad nula (primer mínimo de $L(u)R(v)$) dentro del orden cero del patrón de difracción, representado por el término: $|\sum \sum g_{nm}|^2$ (ver Fig.1 y Fig.8.(b)).

El periodo medio es donde ρ es el radio del primer mínimo de $L(u)R(v)$

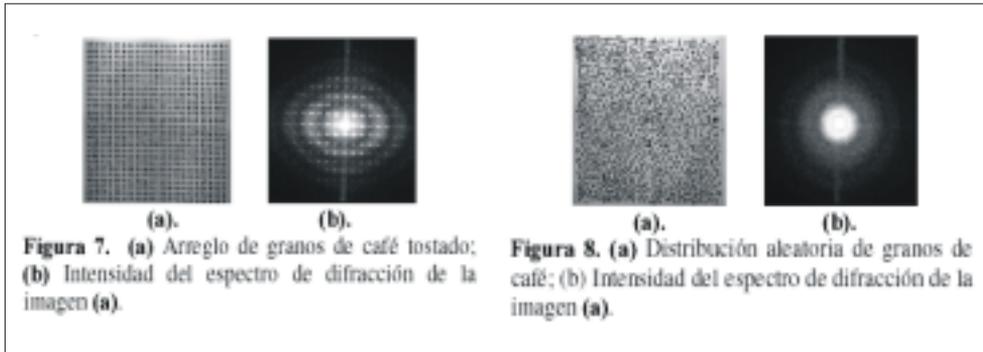


Figura 7. (a) Arreglo de granos de café tostado; **(b)** Intensidad del espectro de difracción de la imagen **(a)**.

Figura 8. (a) Distribución aleatoria de granos de café; **(b)** Intensidad del espectro de difracción de la imagen **(a)**.

3.3 RESULTADOS

Las escenas de las distribuciones de granos de café se registraron en película ASA100, con una reducción de 1:25. Se utilizaron dos muestras de granos de café de la misma variedad: 910 granos que denominamos tipo CS (granos seleccionados) y 1173 granos tipo

$$a(x_n, y_n) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} g_{nm}(x_n - pm, y_n - qm); \quad (2)$$

CNS (granos no seleccionados).

En la Fig.9 las imágenes de granos de café: No.1 y 2 corresponden a café tipo CNS; No.3 a 5 corresponden a café seleccionado CS. El término granos seleccionados significa tamaño uniforme, y no seleccionados significa tamaños disímiles.

Se asumió la aproximación: el grano de café es un elipsoide. Entonces, el tamaño medio del grano de café corresponde al de una esfera

$$I(u, v) = \frac{1}{NM} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} G_{nm}(u, v) \left| \left(\frac{\sin(\pi N u)}{\sin(\pi u)} \right)^2 \left(\frac{\sin(\pi M v)}{\sin(\pi v)} \right)^2 \right|; \quad (3)$$

$$a(x_n, y_n) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} g_{nm}(x_n - pm - \Phi_{nm}, y_n - qm - \Psi_{nm}); \quad (4)$$

$$I(u, v) = \frac{1}{NM} \left| \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} G_{nm}(u, v) \right|^2 L(u)R(v); \quad (5)$$

circunscrita en el grano equivalente de forma elipsoidal, donde el radio de esta esfera es igual al radio menor promedio de la población de partículas; bajo este argumento se midió, utilizando un instrumento óptico de campo (resolución: 5x10⁻²mm), el tamaño medio de cada grano de café; así, se midieron 391 granos del tipo CNS (tamaño medio determinado por este método mecánico: $\Delta_{cns} \cong 8.68 \pm 0.05 \text{ mm}$ y del tipo CS se midieron 455 granos (tamaño medio

$$L(u)R(v) = \frac{1}{NM} \left(\frac{\sin(\pi N u)}{\sin(\pi u)} \right)^2 \left(\frac{\sin(\pi M v)}{\sin(\pi v)} \right)^2; \quad (6)$$

$u, v = \frac{\ell}{p}$, siendo $\ell = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, y los mínimos en $u, v = \frac{1+2\ell}{2p}$; entonces, para los valores mínimos

determinado:

$$\Delta_{\text{med}} \cong 9.72 \pm 0.05 \text{ mm}$$

Los tamaños medios determinados mediante el método óptico son: $\Delta_{\text{opt}} \cong 8.17 \pm 0.05$ mm para el tipo CNS y $\Delta_{\text{opt}} \cong 9.27 \pm 0.05$ mm para el tipo CS. Con respecto a la proximación asumida para el grano de café, se tomó en virtud de que los puntos emisores del grano que contribuyen a la forma: $F = \left[\frac{A_f}{M_x} \right] \frac{1}{P}$ en cero de la figura de difracción, que se encuentran entorno del ancho menor de cada grano; en este sentido, el método óptico permite obtener información del ancho menor del grano de café, a través de la medida del radio del orden cero del patrón de difracción de Fraunhofer.

4. CONCLUSIONES

Resultados experimentales.

En este trabajo se demostró que el modelo de Stark es también válido para estructuras granulares amorfas y disímiles. La técnica se implementó mediante un arreglo óptico, y se utilizó para clasificar muestras de café, a partir de la medida del tamaño medio del grano de una población de este producto distribuido espacialmente en forma aleatoria.

La técnica se valoró numéricamente y mediante la implementación de un arreglo óptico de difracción de Fraunhofer. Se utilizaron dos tipos de muestras de café tostado; con estas muestras se comprobó que el parámetro estadístico tamaño medio de granos, determinado mediante el método implementado, se puede utilizar como parámetro discriminante de clases; obsérvese en los resultados obtenidos, que el método es capaz de discriminar diferencias relativas en tamaño del orden del milímetro; por otro lado, la precisión se puede controlar mediante el número de componen tres de lapoblación utilizada en la medida, y en este sentido,

consideramos que el método granulométrico óptico resulta en un herramienta metrológica de alta resolución. Esta técnica se puede utilizar en la clasificación de cualquier tipo de semillas, frutas, en el análisis bacteriológico, la clasificación de aceros, ó en general de cualquier conjunto discreto de formas distribuidas aleatoriamente dentro de una imagen. La implantación del método estudiado requiere mínimas condiciones de estabilidad y permite su acondicionamiento para una respuesta en tiempo real utilizando un sistema de visión artificial espacial.

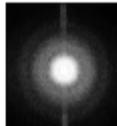
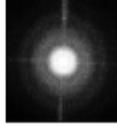
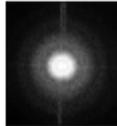
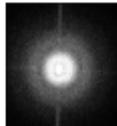
No	Imagen granos de café	Espectro	Δ (mm)
1	 CNS: 1173		8.30±0.05
2	 CNS: 1173		8.04±0.05
3	 CS: 910		9.08±0.05
4	 CS: 806		9.19±0.05
5	 CS: 806		9.53±0.05

Figura 9. Resultados experimentales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Javier J Monlevat J. and Duvernoy J Methods of analysis of the regularity lamellar eutectic structure of a difraccion the laser beam. Metallurgical transaction B 14B 105. 108 (1981)
- (2) Godman J W, introduction a l'optique de fourier l'holographie paris (1972).
- (3) Martin F and Aime C. some spectral properties of random arrays of grains J opc. Soc. Am. 69,9 1315- 1319 (1979).
- (4) Stark H. Diffraction patterns of nonoverlapping circular grains. J ocp Soc Am 67, 5 700- 7003 (1977).
- (5) Stark H. some spectral properties of random arrays of grains comments J. Opt Am 68-12, 1785-1786 (1978).