

## Sistema optoelectrónico para la determinación de grupos sanguíneos\*

A.S. OSTROVSKY<sup>†</sup>, E. PINO<sup>‡</sup>, M.A. VARGAS Y S. VERGARA

Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,  
Apartado postal 1152, 72000 Puebla, Pue., México

Recibido el 30 de mayo de 1996; aceptado el 10 de julio de 1996

RESUMEN. El método utilizado en la práctica médica para determinar el grupo sanguíneo se fundamenta en el registro visual de la presencia de aglutinación de eritrocitos en los sueros normales, lo que no elimina la posibilidad de errores originados por la subjetividad de la percepción visual. Se propone un sistema optoelectrónico sencillo para clasificar automáticamente las muestras de sangre con aglutinación y sin aglutinación de eritrocitos. El principio de operación del sistema se basa en la discriminación de campos aleatorios según la forma de sus densidades espectrales de potencia.

ABSTRACT. The method commonly used in the practical medicine to define the blood group consists in the visual registration of the presence of erythrocyt agglutination in the normal serum, that does not eliminate the possibility of errors originated by the subjectivity of visual perception. It is proposed a simple optoelectronic system for the automatic classification of the blood samples with and without agglutination. The principle of operation of the system is based on the discrimination of random fields by the form of their spectral power densities.

PACS: 85.60.-q; 42; 79

En la medicina actual la transfusión de sangre es un medio importante en la lucha para salvar una vida o curar una enfermedad. Como se sabe [1], la transfusión únicamente puede ser realizada exitosamente cuando la sangre del donador y del receptor son químicamente compatibles. La incompatibilidad química de diversos grupos de sangre origina que los eritrocitos se aglutinen. Existen cuatro grupos fundamentales de eritrocitos, mismos que se diferencian entre sí por la presencia de aglutinógenos (tipo de antígeno) A o B en los eritrocitos y de aglutininas (tipo de anticuerpo) *a* o *b* en el plasma. Las características de los grupos sanguíneos y sus posibles combinaciones se muestran en la Tabla I. En condiciones normales ninguna sangre puede aglutinar sus propios eritrocitos, ya que los correspondientes aglutinógenos y aglutininas no se presentan en ella al mismo tiempo.

---

\*Trabajo parcialmente apoyado por el CONACyT (Proyecto No. 3644-E9311).

<sup>†</sup>Anteriormente en el Instituto Politécnico de Kiev, Ucrania.

<sup>‡</sup>También en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Tonanzintla, Pue.

TABLA I. Clasificación AOB de grupos sanguíneos.

Grupo sanguíneo	Aglutinógeno en eritrocitos	Aglutinina en el plasma	Grupos a los que se puede transferir sangre	Grupos de los cuales se puede trasferir sangre
O		a, b	O, A, B, AB	O
A	A	b	A, AB,	O, A
B	B	a	B, AB,	O, B
AB	A, B		AB	O, A, B, AB

En este hecho se fundamenta el método para definir los grupos de sangre mostrados en la Fig. 1. Como está claro de esta figura, el proceso para definir el grupo de sangre consiste en la inspección visual de las características del cuadro de aglutinación de los eritrocitos en los sueros normales preparados de los plasmas de sangre correspondientes. Con tal tipo de determinación del grupo de sangre no es posible, en principio, excluir la posibilidad de error generado por la subjetividad de la percepción visual. Por lo anterior resulta importante la automatización del proceso de reconocimiento de las muestras de sangre, consistente en la determinación de la ausencia o presencia de aglutinación en cada muestra particular.

En la Fig. 2 pueden verse fotografías de muestras de sangre en las que se observan cuadros de aglutinación de eritrocitos y cuadros en los que no hay aglutinación. Como puede observarse en esta fotografía, las muestras de sangre representan imágenes con una forma caótica, las cuales pueden tratarse como campos bidimensionales aleatorios de dos clases: 1) “ausencia de aglutinación”; y 2) “presencia de aglutinación”. Aceptando la hipótesis de la homogeneidad estadística de estos campos, los últimos se pueden caracterizar por medio de la densidad espectral de potencia

$$S_n(u, v) = \lim_{D \rightarrow \infty} \frac{1}{D} \left\langle \left| \iint_D f_{nk}(x, y) \exp[-i2\pi(ux + vy)] dx dy \right|_k^2 \right\rangle, \quad (1)$$

donde  $n = 1, 2$  es el número de clase del campo aleatorio,  $u, v$  son las frecuencias espaciales,  $f_{nk}(x, y)$  es la función de transmitancia de amplitud de la muestra  $k$  de sangre de clase  $n$ ,  $D$  es el área ocupada por la muestra de sangre y los paréntesis angulares significan el promedio del conjunto de muestras sanguíneas. Con el fin de estimar las densidades espectrales de potencia de los campos aleatorios que corresponden a la presencia y ausencia de aglutinación fue usado el procesador coherente de Fourier que se muestra en la Fig. 3.

Como es bien conocido [2], si el objeto en el plano de entrada de este procesador está iluminado con una onda plana monocromática, entonces la distribución de la amplitud del campo luminoso en el plano  $(x', y')$  de salida de este procesador se describe por medio de la transformada de Fourier bidimensional

$$F_{nk}(u, v) = \iint_D f_{nk}(x, y) \exp[-i2\pi(ux + vy)] dx dy, \quad (2)$$

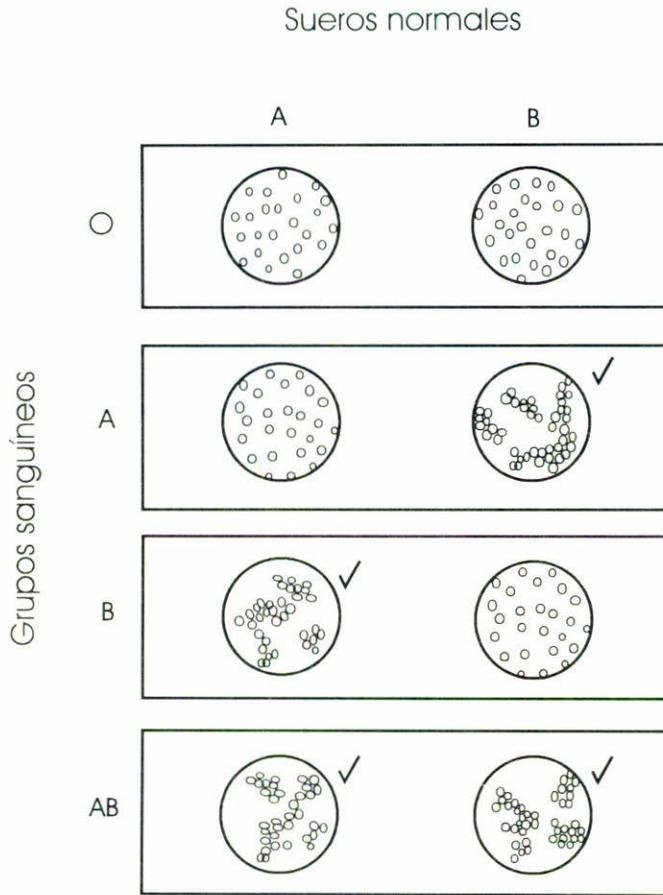


FIGURA 1. Determinación de los grupos sanguíneos por el método de aglutinación de eritrocitos en sueros normales: sobre el portaobjetos con sueros normales preparados de plasma sanguíneo del grupo correspondiente se deposita la sangre analizada y en correspondencia con la aparición de aglutinación de eritrocitos (está marcado por un signo) se decide acerca de la pertenencia de la muestra a tal o cual grupo.

donde  $u = x'/\lambda f$ ,  $v = y'/\lambda f$ ,  $\lambda$  es la longitud de onda y  $f$  la distancia focal de la lente de Fourier. Tomando en cuenta el carácter isótropo de los campos aleatorios examinados, para el registro de la distribución (2) nosotros usamos un fotodetector con una abertura puntual y se barrió a lo largo del eje  $x'$ . Además, la señal registrada por el medidor de potencia óptica aparece igual a

$$\hat{S}_n(u) = \iint_{-\infty}^{+\infty} \text{circ}\left(\frac{\sqrt{(u-u')^2 + (v')^2}}{R}\right) \left| \iint_D f_{nk}(x, y) \exp[-i2\pi(ux + vy)] dx dy \right|^2 du' dv', \quad (3)$$

donde  $R$  es el radio de la abertura puntual. Como se sabe (Ref. [2], pp. 14, 23), la función (3) representa el así llamado periodograma, suavizado por medio de una ventana espectral, el cual puede ser aceptado como un estimador consistente de la sección transversal

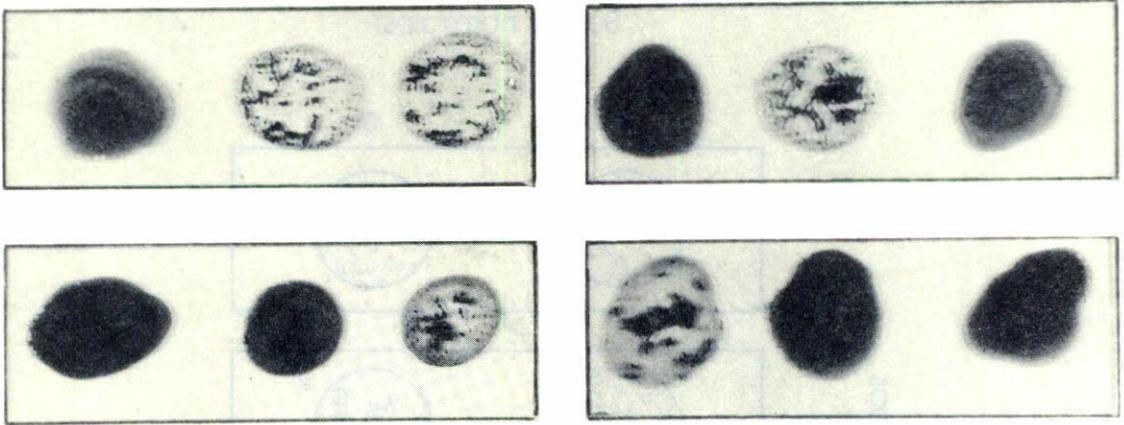


FIGURA 2. Muestras de sangre con y sin aglutinación de eritrocitos.

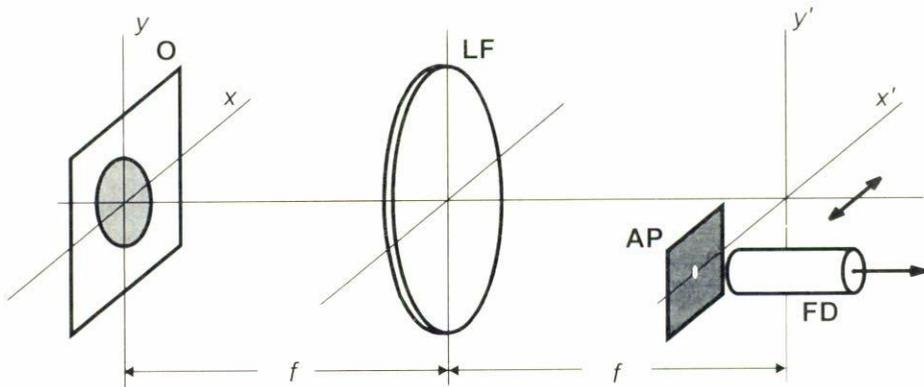


FIGURA 3. Procesador coherente de Fourier: O: objeto (muestra de sangre), L: lente de Fourier con distancia focal  $f$ , AP: abertura puntual, FD: fotodetector.

de la densidad espectral de potencia (1). Para mejorar la calidad de estimación de la densidad espectral de potencia fueron promediados los estimadores (3) obtenidos para las diferentes muestras de sangre de cada una de las clases. Adicionalmente el mejoramiento de la calidad de estimación de la densidad espectral de potencia se alcanzó promediando los valores obtenidos durante la rotación continua de las muestras alrededor del eje óptico del procesador de Fourier.

Los estimadores de las densidades espectrales de dos clases, obtenidos como resultados de los experimentos se muestran en la Fig. 4. Como puede verse de esta figura, las densidades espectrales de potencia de los campos aleatorios correspondientes a la presencia y ausencia de aglutinación, prácticamente ocupan un mismo diapasón de frecuencias espaciales, lo anterior impide realizar la clasificación de las muestras por medio del método de separación de señales en frecuencia. Al mismo tiempo, sobre la base de las gráficas obtenidas se puede extraer la conclusión acerca de la independenciam lineal de las funciones  $S_1(\rho)$  y  $S_2(\rho)$ , lo que permite abordar la cuestión de la clasificación de las

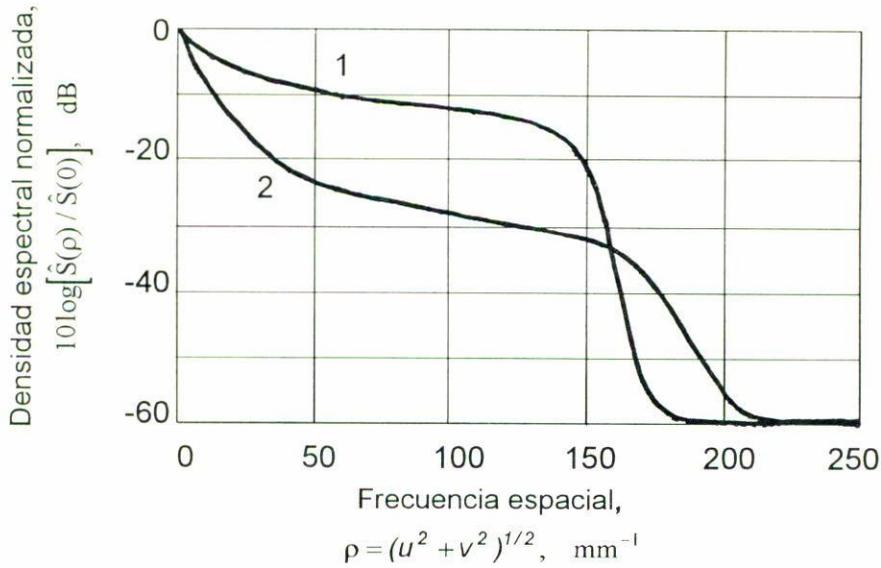


FIGURA 4. Resultados experimentales: estimadores relativos de los espectros de potencia de las muestras de sangre sin (1) y con (2) aglutinación de eritrocitos.

muestras de sangre como un problema de separación de campos aleatorios según la forma de sus densidades espectrales de potencia.

Efectivamente, siempre se puede escoger un número real  $a$ , tal que se cumpla la igualdad

$$\int_0^{\rho_0} S_1(\rho) d\rho + a \int_{\rho_0}^{\infty} S_1(\rho) d\rho = 0, \tag{4}$$

donde  $\rho_0$  es una frecuencia espacial fija. Entonces, como consecuencia de la independencia lineal de las funciones  $S_1$  y  $S_2$ , y considerando la forma concreta de las gráficas en la Fig. 4, tendremos

$$\int_0^{\rho_0} S_2(\rho) d\rho + a \int_{\rho_0}^{\infty} S_2(\rho) d\rho > 0. \tag{5}$$

En estas condiciones es obvio que si para una muestra sanguínea desconocida la cantidad

$$Q_n \equiv \int_0^{\rho_0} \hat{S}_n(\rho) d\rho + a \int_{\rho_0}^{\infty} \hat{S}_n(\rho) d\rho \tag{6}$$

resulta ser aproximadamente igual a cero, entonces esto significa ausencia de aglutinación de eritrocitos en esta muestra. Si  $Q_n$  tiene un valor sustancialmente alejado de cero, entonces estaremos en presencia de aglutinación de eritrocitos en la muestra bajo estudio. Con el objeto de elevar la certidumbre en la clasificación, el valor de la frecuencia espacial  $\rho_0$  debe escogerse bajo la condición de que la cantidad  $Q_2$  sea máxima, al mismo tiempo que la cantidad  $Q_n$  registrada en el experimento debe someterse a un procedimiento de umbral.

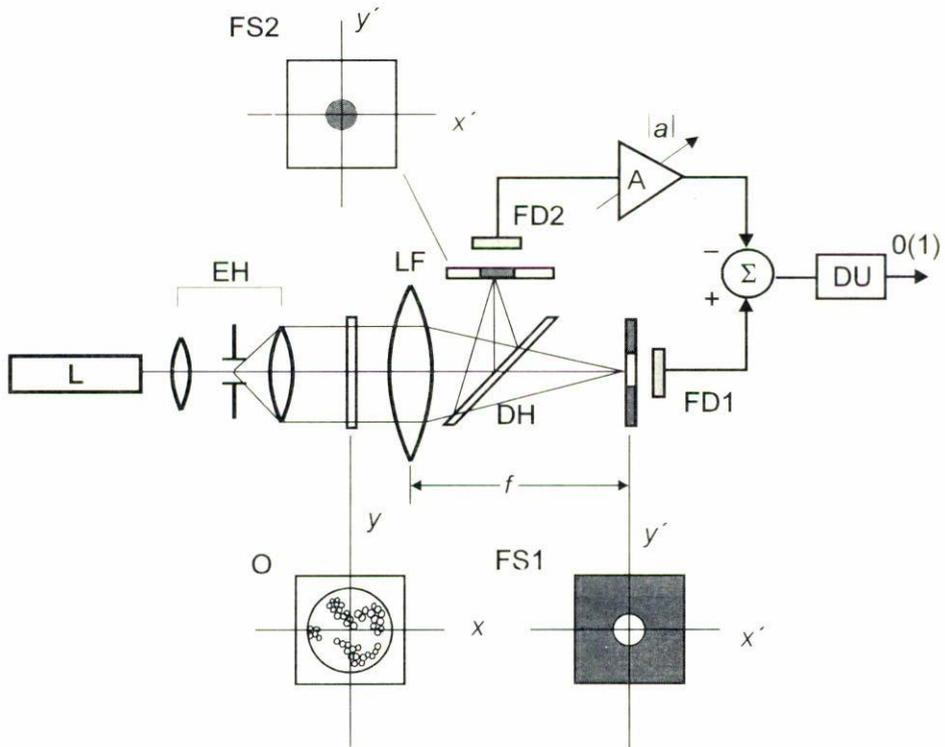


FIGURA 5. Sistema optoelectrónico para la clasificación de muestras de sangre: L: láser, EH: expansor de haz, O: objeto (muestra de sangre). LF: lente de Fourier, DH: divisor de haz, FS: filtro espacial, FD: fotodiodo, A: amplificador ( $|a|$ : coeficiente de amplificación variable),  $\Sigma$ : sumador, DU: dispositivo de umbral.

El método descrito de clasificación de campos aleatorios fue puesto como base del funcionamiento de un sistema optoelectrónico sencillo para clasificar automáticamente las muestras sanguíneas mostrado en la Fig. 5. La base de este sistema consiste en un sistema óptico de filtraje espacial de dos canales. En uno de los canales se utiliza un filtro espacial pasa-baja con las características en frecuencia

$$H_{P-B}(\rho) = \text{circ}(\rho/\rho_0), \quad (7)$$

y en el segundo un filtro espacial pasa-alta con la característica

$$H_{P-A}(\rho) = 1 - \text{circ}(\rho/\rho_0), \quad (8)$$

donde  $\rho_0 = 100 \text{ mm}^{-1}$ . La simetría central de los filtros espaciales utilizados garantiza el promedio de los valores medidos de las densidades espectrales de potencia en diferentes direcciones del plano de las frecuencias espaciales. La obtención de la cantidad (6) tiene lugar por medio de un esquema electrónico simple basado en un amplificador operacional con coeficiente de amplificación variable y un sumador. En estas condiciones el ajuste del coeficiente de amplificación  $|a|$ , que exige el cumplimiento de la igualdad (4), se

realizó por el método iterativo cuando al sistema se le presentaban muestras de sangre sin aglutinación de eritrocitos. Como fuente de radiación del sistema fue utilizado un láser Spectra Physics de He-Ne ( $\lambda = 0.63 \mu\text{m}$ ) de 4.5 mW de potencia, en calidad de lente de Fourier, un doblote de 300 mm de distancia focal y como fotodetector un medidor de potencia óptica de Newport.

La certeza en la clasificación alcanza un porcentaje de 90%. Los errores de clasificación observados se pueden explicar por el fenómeno de "aglutinación falsa", que aparece cuando las muestras de sangre ya están resecas, situación en que se encontraban las muestras al realizar los experimentos. Esta situación se elimina al trabajar con muestras frescas, lo cual tiene lugar en condiciones operativas.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento al personal del Hospital Universitario de Puebla por el material sanguíneo gentilmente proporcionado.

#### REFERENCIAS

1. C.A. Ville, *Biology*, Saunders, Philadelphia (1977) p. 311.
2. H. Stark (ed.), *Applications of Optical Fourier Transforms*, Academic Press, New York (1982) p. 9.