

# Evaluación de microesferas de vidrio, por tratamiento digital de imágenes, para su utilización en pinturas de marcas viales <sup>(1)</sup>

M.<sup>c</sup> C. ANGEL MARTINEZ (\*)

M. BLANCO FERNANDEZ (\*\*)

N. PRENDES RUBIERA (\*\*\*)

**RESUMEN.** Se utilizan las microesferas de vidrio en la pintura empleada en las marcas viales de la señalización horizontal, para generar el fenómeno de retrorreflexión, mejorando así la visibilidad, incluso en las condiciones menos favorables.

Estas microesferas deben tener una serie de cualidades físicas y químicas que garantizan su durabilidad e idoneidad para la verificación del fenómeno de retrorreflexión.

Empleando los métodos digitales disponibles, pueden clasificarse las microesferas en relación a la forma y transmisión de luz, desarrollando una metodología fiable y rápida para los ensayos de calidad.

## DIGITAL IMAGE-PROCESSING ASSESSMENT OF GLASS MICROBEADS FOR USE IN HORIZONTAL ROAD MARKINGS

**ABSTRACT.** *Glass microbeads are used in the painting of horizontal road markings in order to generate the light retrorreflection phenomenon and improve visibility even in the most adverse conditions.*

*These microbeads have to have several physical and chemical properties which guarantee their durability and suitability for the verification of the retrorreflection problem.*

*The digital methods available make it is possible to classify them, on the basis of their shape and light transmission, and a rapid and reliable methodology has been developed for testing their quality.*

## INTRODUCCION

Las microesferas de vidrio son las responsables de la visibilidad nocturna en la señalización horizontal de carreteras, ya que producen el fenómeno de la retrorreflexión, que consiste en proyectar cualquier haz de luz en

la misma dirección, pero en sentido contrario que los incidentes, manteniendo la anchura de aquéllos.

Este fenómeno requiere, por tanto, que el material utilizado cumpla una serie de requisitos como son su forma esférica perfecta, con superficies lisas y brillantes, de gran dureza y totalmente transparente.

Por ello, la determinación y análisis morfológico va a definir, perfectamente, las que garantizan este tipo de fenómenos ópticos.

Los cuerpos, por consiguiente, que cumplen esta propiedad son, únicamente, esferas perfectas, por lo que la determinación de su forma nos permite cuantificar el porcentaje de microesferas válidas.

Debido a su sistema de fabricación, normalmente no todas tienen la misma forma e incluso algunas presentan, en su interior, burbujas y defectos de cierta importancia.

Dentro de las microesferas de vidrio tenemos aquellas que son esféricas (válidas); otras, en cambio, son esferoides o están unidas por puentes de vidrio o entre

(1) Este artículo ha sido presentado como ponencia en el V Simposio Nacional de Reconocimiento de Formas y Análisis de Imágenes. Institut de Robòtica. Universitat de València. Septiembre de 1992.

(\*) Licenciado en Ciencias Geológicas. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente).

(\*\*) Dr. en Ciencias Químicas. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente).

(\*\*\*) Licenciado en Ciencias Geológicas. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente).

sí, y por último aparecen gránulos, amorfos y que no verifican dicho fenómeno.

Dado el carácter estadístico de las muestras, existen tolerancias en la presencia de gránulos y microesferas defectuosas que condicionan la idoneidad de una partida de este material en la utilización de pinturas retrorreflectantes.

Otro problema a considerar es la granulometría de las mismas, ya que su heterogeneidad garantiza una mayor durabilidad del fenómeno, puesto que, a medida que se va produciendo la abrasión por los neumáticos de los coches, van aflorando a la superficie de la pintura las más pequeñas. Se sabe, además, que los diámetros mayores (1 y 2 mm) permiten, con lluvia, garantizar este fenómeno.

Los límites granulométricos se muestran en la tabla 1, a modo indicativo.

En este trabajo no se abordará este problema ya que por técnicas de tratamiento de imagen no plantea ninguna dificultad.

Los métodos de caracterización, utilizados hasta ahora, se basaban en contajes subjetivos de las mismas, de acuerdo con la norma MELC 12.30, en el que se de-

terminan los porcentajes de cada tipo de microesferas. Este sistema estaba sujeto a la experiencia del operario y, lógicamente, introducía errores de identificación en las formas.

Las nuevas técnicas de procesado de imagen, en cambio, no requieren experiencia previa, pudiendo cuantificarse parámetros morfológicos con gran precisión.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las microesferas deben tener una serie de propiedades que las caracterizan. De ellas, son dos las que nos interesan; por una parte, su forma, entendiendo como tal su esfericidad, y por otra, las impurezas, inclusiones, burbujas, etc., que presenten, ya que van a condicionar su carácter retrorreflexivo.

En este sentido, la citada normativa, en su apartado 1.1, considera como defectuosas aquellas que son opalescentes, opacas, arañadas, rotas, con ángulos agudos, de color lechoso, angulares, con burbujas de aire con un total superior al 25 % de su superficie, y además, que no sean esféricas, o estén soldadas entre sí. Como se puede ver, la norma, básicamente, establece estos

| Tipo                 | $\varnothing$<br>$\mu$ | ASTM MESH<br>AFNOR MESH(*) | %<br>DE ACEPTACION | %<br>DE RECHAZO |
|----------------------|------------------------|----------------------------|--------------------|-----------------|
| <b>PULVERIZACION</b> |                        |                            |                    |                 |
| MICROPERL OV         | 1.000                  | 18                         | 100                | 0               |
|                      | 840                    | 20                         | 95 - 100           | 0 - 5           |
|                      | 590                    | 30                         | 40 - 80            | 20 - 60         |
|                      | 420                    | 40                         | 0 - 20             | 80 - 100        |
|                      | 250                    | 60                         | 0 - 10             | 90 - 100        |
| MICROPERL 3FH        | 630                    | 29 (*)                     | 90 - 100           | 0 - 10          |
|                      | 500                    | 28 (*)                     | 60 - 90            | 10 - 40         |
|                      | 315                    | 26 (*)                     | 25 - 50            | 50 - 75         |
|                      | 250                    | 25 (*)                     | 0 - 25             | 75 - 100        |
|                      | 125                    | 22 (*)                     | 0 - 5              | 95 - 100        |
| MICROPERL 3E         | 710                    | 25                         | 100                | 0               |
|                      | 590                    | 30                         | 95 - 100           | 0 - 5           |
|                      | 500                    | 35                         | 90 - 100           | 0 - 10          |
|                      | 350                    | 45                         | 20 - 70            | 30 - 80         |
|                      | 125                    | 120                        | 0 - 5              | 95 - 100        |
| <b>PREMEZCLADO</b>   |                        |                            |                    |                 |
| MICROPERL HB         | 500                    | 35                         | 100                | 0               |
|                      | 350                    | 45                         | 90 - 100           | 0 - 10          |
|                      | 177                    | 80                         | 20 - 60            | 30 - 80         |
|                      | 88                     | 170                        | 0 - 5              | 95 - 100        |
| MICROPERL 2U         | 250                    | 60                         | 100                | 0               |
|                      | 210                    | 70                         | 90 - 100           | 0 - 10          |
|                      | 105                    | 140                        | 15 - 55            | 45 - 85         |
|                      | 62                     | 230                        | 0 - 10             | 90 - 100        |

TABLA 1. Límites granulométricos, de acuerdo con los diferentes normas, con sus correspondientes rangos de aceptación y rechazo.

criterios, selectivos, en función de la capacidad de dispersión de la luz y su forma, por lo que esta problemática puede ser tratada, perfectamente, por técnicas digitales de imagen.

A consecuencia del fenómeno de la reflexión y si la microesfera no tiene ningún defecto, la luz debería producir una uniformidad en su interior, ya que los rayos incidentes y refractados, en las dos superficies de la microesfera, coincidirían totalmente; si existe, en cambio, una desviación anómala de dichos rayos al atravesar la misma, se evidenciará por la aparición de zonas oscuras o caída de niveles de gris, y que por técnicas de imagen se pueden discriminar.

En cuanto a su morfología, en la obtención de la imagen binaria e identificación, podemos establecer una serie de relaciones paramétricas que la definan.

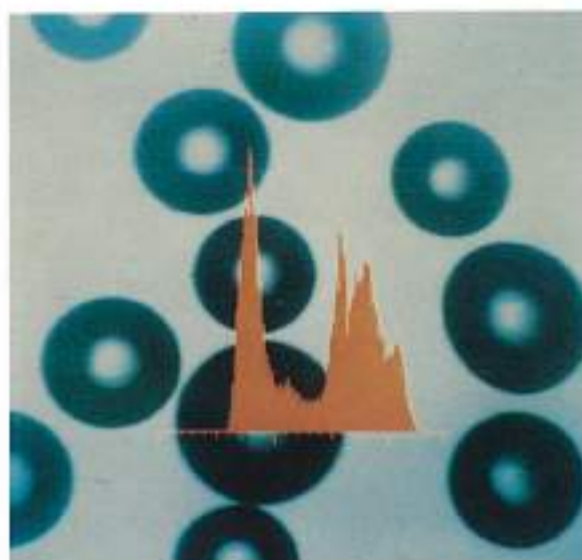
Las imágenes han sido obtenidas por microscopía óptica de transmisión, a bajos aumentos para registrar mayor campo y corregir los problemas de foco que pueden derivarse de la distinta granulometría de las microesferas.

Debido a su naturaleza silicea, la luz debe atravesar dos medios con diferentes índices de refracción, que producen una desviación del rayo (en las superficies tangente a aquél, sobre la microesfera) generando una zona de sombra u otra oscura a su alrededor. Este fenómeno vendrá condicionado por el ángulo de incidencia (constante en todas las microesferas) y los índices de refracción de la misma (que es también constante) así como del medio en el que se encuentre (variable pero conocido en cada caso). Si tenemos en cuenta que el índice de refracción ( $n$ ) de las microesferas, debido a su naturaleza, es  $n = 1,5$  y el del aire es  $n = 1$ , para el caso de que aquellas las observamos en este medio, por su diferencia de índices de refracción, forman halos oscuros en su interior, ya que aquél es muy alto ( $n_1 - n_2 = 0,5$ ). Este fenómeno, determinado por la ley de Snell, viene definido por la ecuación:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

siendo  $n_1$  y  $n_2$  los índices de refracción del medio y la microesfera, respectivamente;  $\alpha$  y  $\beta$ , los ángulos de incidencia y refracción en la superficie de la misma.

En este caso, y si bien obtenemos muy buenas imágenes, en cuanto a su definición de bordes, perdemos visibilidad en su interior, enmascarándonos las inclusiones de materiales extraños, tal y como ilustra la fotografía 1. La solución es aproximar, de acuerdo con la anterior ecuación, los dos índices de refracción. Así, sumergiendo aquellas en un alcohol, cuyo índice de refracción es más próximo al de las microesferas ( $n_1 = 1,2$ ), obtenemos el resultado de la fotografía 2. La inmersión en este tipo de líquidos, a su vez, hace que disminuya la viscosidad del medio, lo que, consecuentemente, genera una «migración» de cada microesfera hacia las adyacentes, debido a la carga estática que tienen; por ello, unas se adhieren a las otras, planteando dificultades en la discriminación morfológica.



FOTOGRAFIA 1. Aspecto general de las microesferas, tomadas sin sumergirlas en ningún líquido lare,  $\Delta n = 0,5$ .

Para evitarlo, se buscó un líquido cuyo índice de refracción fuera muy próximo al de la microesfera, aunque no igual, ya que, y de acuerdo con la anterior ecuación, el medio se transformaría en isotrópico y «desaparecerían» éstas; por ello, la diferencia mínima ha de ser  $n_1 - n_2 = 0,1$ , y a la vez fuese lo suficientemente viscoso como para evitar este tipo de desplazamientos en su seno.

El que mejor se adaptaba a estas características era la trietanolamina ( $n_1 = 1,4$ ), tal y como podemos ver en la fotografía 3.

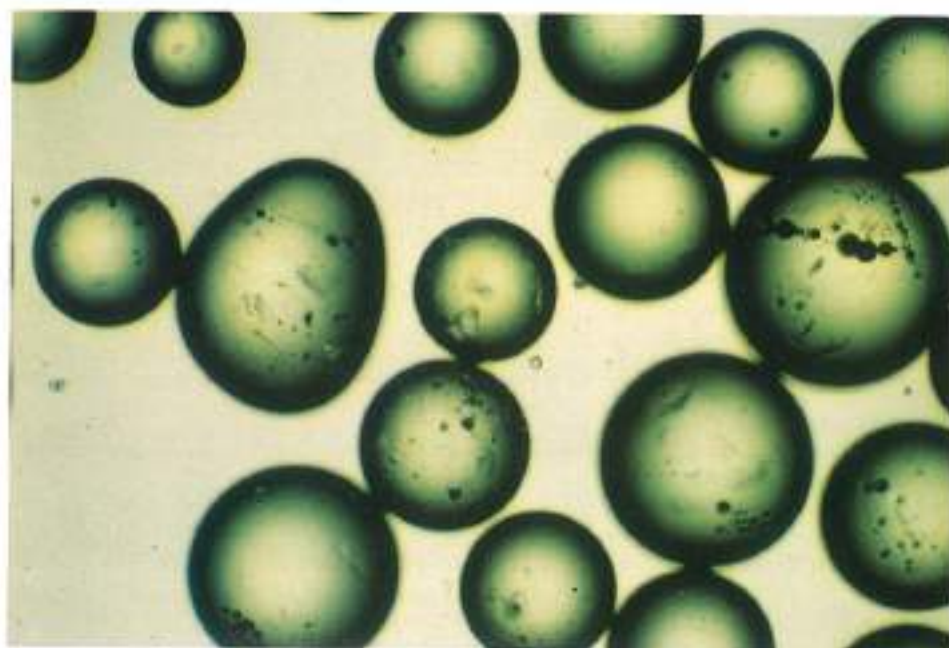
La geometría, especificada de acuerdo con la ASTM mash y la AFNOR mash para microesferas de vidrio, presentaba el inconveniente del enfoque en todos los rangos de tamaño; por ello, se ha propuesto una selección de tamaños, en base a tamices intermedios, reduciendo la variación del mismo en cada secuencia captada, integrando, al final, los resultados en un mismo fichero.

Esto permite enfocar óptimamente el campo estudiado y, por ello, la aplicación de algoritmos de restauración de imágenes (realce de contornos) se simplifica mucho, como se explicará en el siguiente epígrafe.

## PROCESO DIGITAL DE IMAGENES

Una vez preparada la muestra representativa, mediante sucesivos cuarteos, utilizando un reductor Tyler 16 a 1 (norma MELC 12.32) y sumergiendo aquellas en la solución anteriormente propuesta, se captó la imagen correspondiente y se procedió al estudio de su histograma de niveles de gris.

Evidentemente, éste va a tener un carácter bimodal,



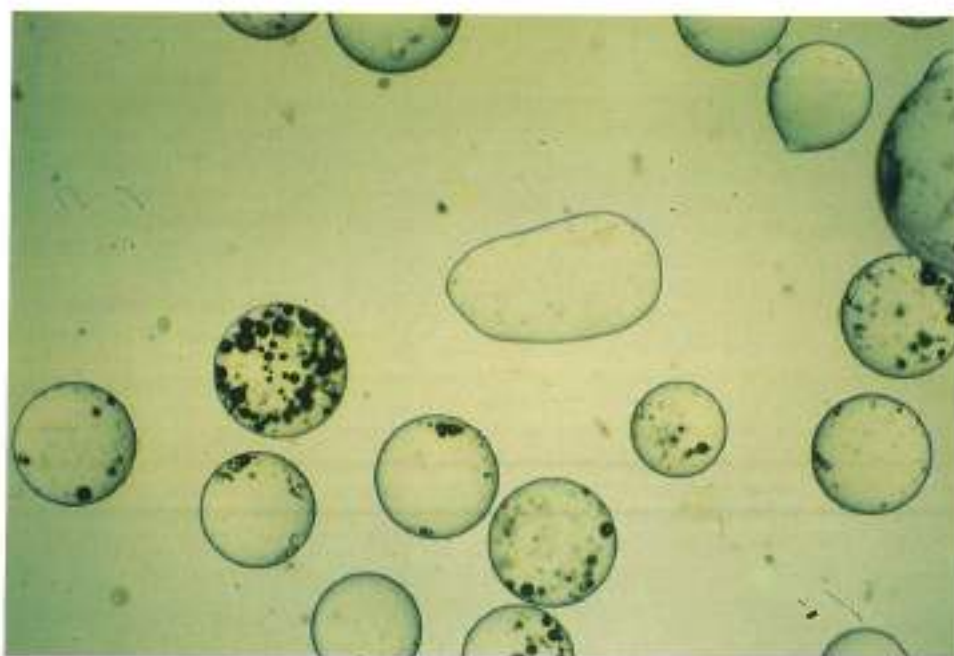
**FOTOGRAFIA 2.** Aspecto general de las microesferas, en un medio de índice de refracción más próximo al de ellas (alcohol  $\Delta = \Delta_1 = 0,3$ ). Como se puede apreciar, ganamos definición en su interior.

en el que los defectos y los bordes de las microesferas nos van a generar un primer pico, próximo a los niveles de gris inferiores del histograma; y otro, mayor, que corresponde al sustrato de la imagen que, lógicamente, estará más iluminado, (fotografía 1).

A partir de los datos que nos proporciona este histograma tenemos, por una parte, que su rango de niveles de gris no es total, es decir, está restringido a un campo de su valor; ello sugiere la posibilidad de una mejora de

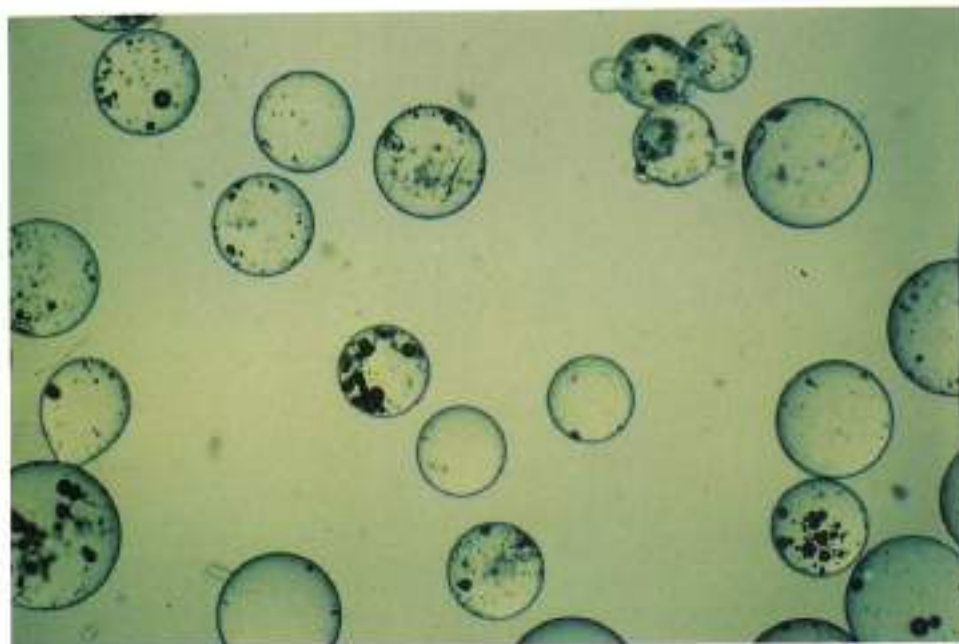
la imagen en base a una expansión lineal del mismo (proceso de normalización) con un posterior filtrado matricial de realce de contornos y cuya matriz base de definición vendrá dada por un rango  $R$ , calculado por la siguiente relación:

$$\text{Rango} = \frac{D_{\text{máx}} - D_{\text{mín}}}{2}$$

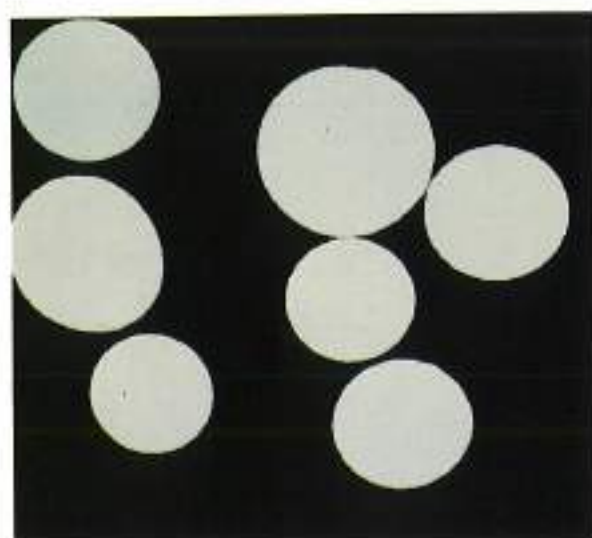


**FOTOGRAFIA 3a.** Aspecto general de las microesferas en un medio cuyo índice de refracción es el más óptimo, Trietanolamina ( $\Delta = \Delta_1 = 0,1$ ). En ella se distingue, perfectamente, el borde de las microesferas (fornel) y las inclusiones de aire que contiene.

**FOTOGRAFIA 3b.**  
Diferentes formas de microesferas, con inclusiones que las hacen no aptas para el fenómeno de retroreflexión (>25% de su área ocupada por inclusiones).



Siendo  $D_{\max}$  y el  $D_{\min}$  los límites correspondientes a la retícula por la que se ha obtenido la muestra (a bajos aumentos, este rango suele oscilar desde 3 [3\*3] a 5 [5\*5]). Con el proceso de restauración y mejora de la señal digital estamos en condiciones de obtener la imagen binaria, por procesos de segmentación, que consiste en establecer unos valores de corte máximos y mínimos, dentro de los que reasignamos, a sus pixels correspondientes, con sus niveles de gris asociados, los valores de



**FOTOGRAFIA 4.** Imagen binaria, obtenida a partir del histograma base de frecuencia de niveles de gris, acotando aquellos que definen la misma. El resultado es una imagen binaria con los pixels señalados de las microesferas.

0 si están fuera del rango acotado, y de 1 si están dentro de las microesferas de los gránulos, ya que éste puede estar más bajo entre los dos picos del histograma (Rosenfeld & Kak, 1976). El resultado es la fotografía 4. Sobre esta imagen binaria se aplicarán procesos de morfología matemática para limpiar y corregir esta señal (cribas selectivas que eliminan los ruidos de fondo y distorsiones en la captura, relleno de fases por reflexiones internas en las microesferas, etc.), recomponiendo las estructuras incompletas (conexión de objetos y relleno de fases binarias, ya cuantificadas, para calcular porcentajes de áreas no cubiertas y que posteriormente se explicará).

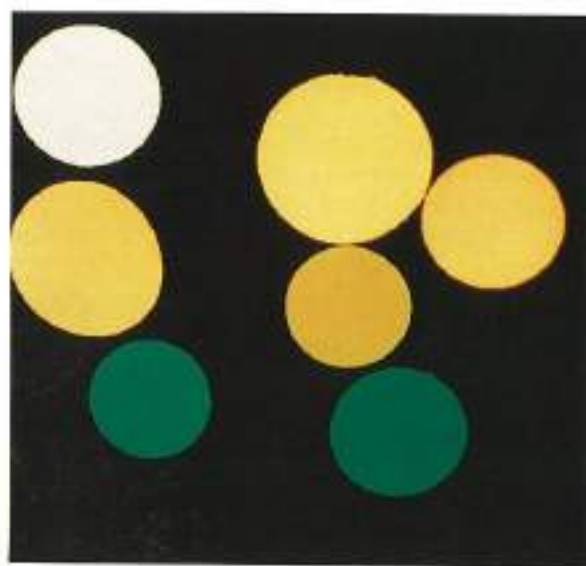
Todos estos procesos generan a una señal perfectamente discriminada y preparada para su identificación, extrayendo la información que buscamos, tal y como ilustra la fotografía 5.

Hemos de indicar que, en realidad, vamos a medir sobre dos imágenes binarias. Una primera, sin aplicar el proceso de relleno de estructuras, y de la que deducimos parámetros morfológicos como *perímetro*, *diámetro mayor y menor*, o *factor de rugosidad*; y una segunda señal, resultado de la resta de la anterior y la generada por el relleno de fases, para calcular los *porcentajes de áreas ocupadas por inclusiones o defectos*, dentro de la microesfera.

#### CLASIFICACION MORFOLOGICA

El resultado de todo el proceso anterior es una tabla (2) de valores que, en su tratamiento, nos darán todos los parámetros necesarios para su clasificación.

Los datos medidos son, en primer lugar, el *área*, que es la superficie ocupada por los pixels señalados (en blanco) y que se corresponden con el área de la microes-



FOTOGRAFIA 5. Imagen identificada y clasificada, con asignación de falso color para determinar aquellas que están unidas y, por consiguiente, separarlas por procesos de morfología matemática, operando sobre la señal binaria.

fera. *Área total*, correspondiente a la superficie, rellenada por procesos de morfología binaria y que es el área máxima de la microesfera, con las inclusiones y defectos internos que posea; este área, lógicamente va a ser mayor o igual que la anterior. *Diámetro Máximo*, definido en base a la mayor ventana de Feret que se puede circunscribir en el objeto; se corresponde, por ello, al mayor diámetro posible. *Diámetro Mínimo*, definido, asimismo, en base a la menor ventana de Feret que se circunscribe en dicho objeto; se corresponde, lógicamente, con el diámetro menor posible. *Factor de Rugosidad*, determina la relación existente entre el perímetro real del objeto y su perímetro convexo. Este parámetro, lógicamente, va a tener un valor máximo de 1, que corresponde cuando el perímetro convexo y el real son exactamente iguales.

A partir de esta tabla de resultados, obtenemos las relaciones paramétricas que nos permiten la clasificación morfológica de las microesferas.

Estas son las siguientes:

La relación *área/área total* nos da el porcentaje de la microesfera ocupada por inclusiones, ya que al tener la proyección sobre un plano, de la inclusión, en realidad lo que estamos es deduciendo la zona que está siendo afectada en el camino del rayo incidente. Un primer inconveniente que se presenta es que en los bordes existe una zona oscura (que es la que nos permite ver la forma de la microesfera), y que, en realidad, no es un área defectuosa, ya que se produce porque el ángulo de incidencia de la luz es tangente a la superficie de la microesfera y, debido a la pequeña diferencia entre los índices de refracción, éste se desvía.

| NUM. | AREA      | Dmáx.  | Dmín.  | FOR. CIRC. |
|------|-----------|--------|--------|------------|
| 1    | 726,00    | 30,70  | 29,63  | 0,88       |
| 2    | 1.555,00  | 45,05  | 43,13  | 0,91       |
| 3    | 992,00    | 36,52  | 34,10  | 0,87       |
| 4    | 1.026,00  | 36,26  | 35,13  | 0,92       |
| 5    | 1.152,00  | 93,13  | 37,13  | 0,88       |
| 6    | 951,00    | 35,47  | 33,13  | 0,91       |
| 7    | 2.831,00  | 61,48  | 58,09  | 0,89       |
| 8    | 606,00    | 28,91  | 26,13  | 0,92       |
| 9    | 4.662,00  | 82,13  | 71,94  | 0,89       |
| 10   | 1.075,00  | 37,80  | 35,13  | 0,92       |
| 11   | 6.017,00  | 135,10 | 64,10  | 0,55       |
| 12   | 783,00    | 32,25  | 30,52  | 0,89       |
| 13   | 3.895,00  | 91,30  | 61,50  | 0,72       |
| 14   | 1.855,00  | 52,02  | 44,13  | 0,91       |
| 15   | 965,00    | 35,58  | 33,13  | 0,91       |
| 16   | 957,00    | 35,29  | 33,13  | 0,91       |
| 17   | 13.536,00 | 131,97 | 130,59 | 0,92       |
| 18   | 12.118,00 | 124,83 | 123,12 | 0,90       |
| 19   | 5.899,00  | 87,57  | 85,13  | 0,89       |
| 20   | 7.353,00  | 99,84  | 96,13  | 0,86       |
| 21   | 18.129,00 | 191,25 | 140,64 | 0,55       |
| 22   | 13.703,00 | 132,82 | 131,15 | 0,93       |
| 23   | 21.637,00 | 200,94 | 158,01 | 0,64       |
| 24   | 7.467,00  | 100,73 | 96,13  | 0,90       |
| 25   | 17.963,00 | 189,28 | 139,90 | 0,57       |
| 26   | 3.937,00  | 71,76  | 69,33  | 0,91       |
| 27   | 14.696,00 | 147,35 | 134,28 | 0,89       |
| 28   | 18.057,00 | 246,95 | 115,57 | 0,42       |
| 29   | 4.367,00  | 75,14  | 73,13  | 0,90       |
| 30   | 6.501,00  | 92,85  | 88,80  | 0,89       |
| 31   | 12.787,00 | 147,45 | 121,26 | 0,82       |
| 32   | 7.027,00  | 94,95  | 94,03  | 0,88       |
| 33   | 16.985,00 | 218,44 | 115,05 | 0,50       |
| 34   | 6.554,00  | 92,30  | 90,00  | 0,90       |
| 35   | 2.035,00  | 72,64  | 40,62  | 0,55       |
| 36   | 5.607,00  | 119,25 | 61,37  | 0,68       |
| 37   | 1.324,00  | 41,30  | 40,13  | 0,90       |
| 38   | 5.647,00  | 169,65 | 68,03  | 0,39       |
| 39   | 1.053,00  | 36,99  | 35,13  | 0,91       |
| 40   | 2.426,00  | 56,18  | 54,13  | 0,90       |
| 41   | 5.622,00  | 133,98 | 61,38  | 0,54       |

TABLA 2. Datos obtenidos por el procesador digital de imágenes, que permiten caracterizar cada microesfera morfológicamente.

Para minimizar este pequeño error se ha introducido un factor de corrección  $\gamma$ , cuyo valor, calculado empíricamente, se ha establecido en  $\gamma = 0,0094$ , con lo que la ecuación final será:

$$\frac{\text{Area}}{\text{Area Total}} = \alpha (\%)$$

(Este factor de corrección es, aproximadamente, un 5 % del área total, y se ha estimado teniendo en cuenta la diferencia de índices de refracción entre los medios.

La *relación de diámetros*, definida en base a dos coeficientes  $a$  y  $b$ , cuyos valores:

$$\begin{aligned} a &= 4S/D_{\text{máx}}^2 \\ b &= 4S/D_{\text{mín}}^2 \end{aligned}$$

y permite una mayor discriminación a partir de sus diámetros, lo que facilita la clasificación y diferenciación de las microesferas. Obviamente, si  $a = b$ , la forma esférica es perfecta.

Hemos podido comprobar que este parámetro no nos separaba, satisfactoriamente, las elipses o elipsoides de las microesferas, de los gránulos, ya que éste puede tener la misma relación  $a/b$  que su correspondiente elipsoide, por lo que aquél tan sólo discrimina las microesferas válidas del resto.

Para ello, recurrimos al *factor de rugosidad*, que relaciona el perímetro real con su convexo, es decir:

$$F_r = P_c/P_r$$

tal y como se ilustra en la figura 1.

En caso de que nos encontremos con una elipse, elipsoide o círculo, su valor debe ser, necesariamente,  $F_r = 1$ , mientras que si fuera un gránulo este valor sería, siempre,  $F_r < 1$ , con lo que la caracterización de este tipo de formas está solucionada.

Es importante separar los gránulos, ya que la norma 12.32 establece un 25 %, como máximo, de ellos presentes en la muestra.

En la figura 2 hemos representado el gráfico e histograma resultante de este tipo de clasificación, y en la que, como se puede ver, cada familia de microesferas queda perfectamente definida.

## CONCLUSIONES

Las técnicas de tratamiento digital de imágenes permiten obtener una serie de señales, binarias, de las microesferas de vidrio para su rápida clasificación, siendo ésta objetiva, con el consiguiente ahorro de tiempo en este tipo de procesos.

Se ha propuesto, asimismo, un gráfico de clasificación, con una serie de rangos específicos, para estimar, de forma inmediata, la validez de las distintas partidas

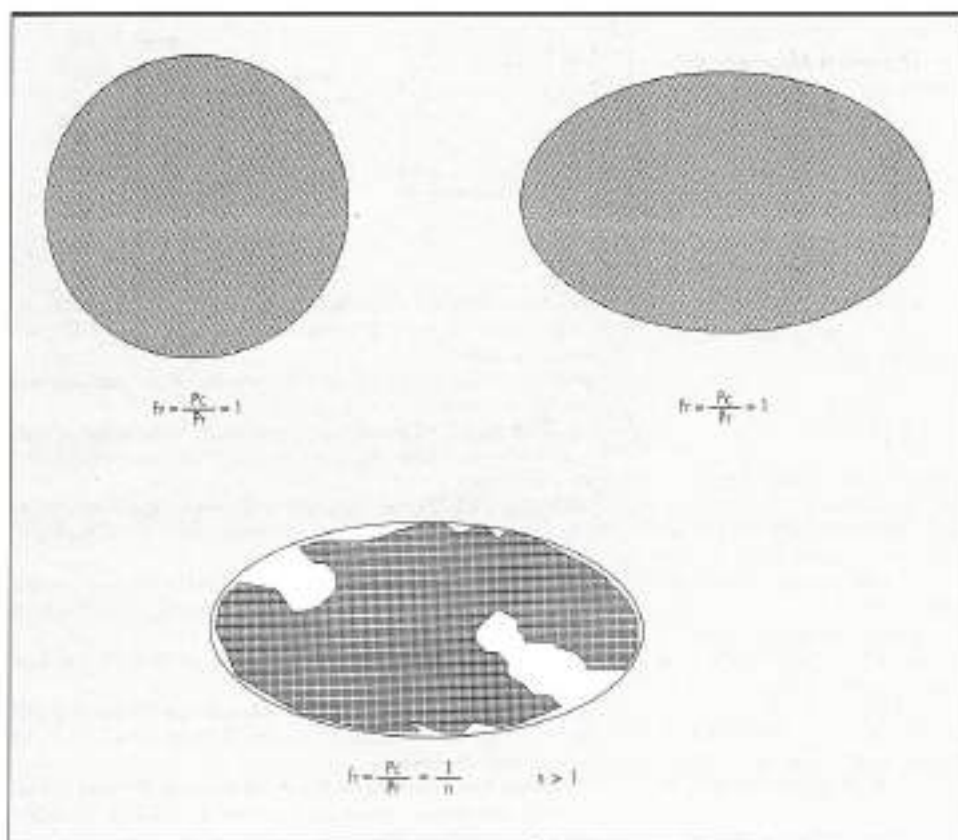


FIGURA 1. Esquema ilustrativo de las relaciones factor de forma y factor de rugosidad.

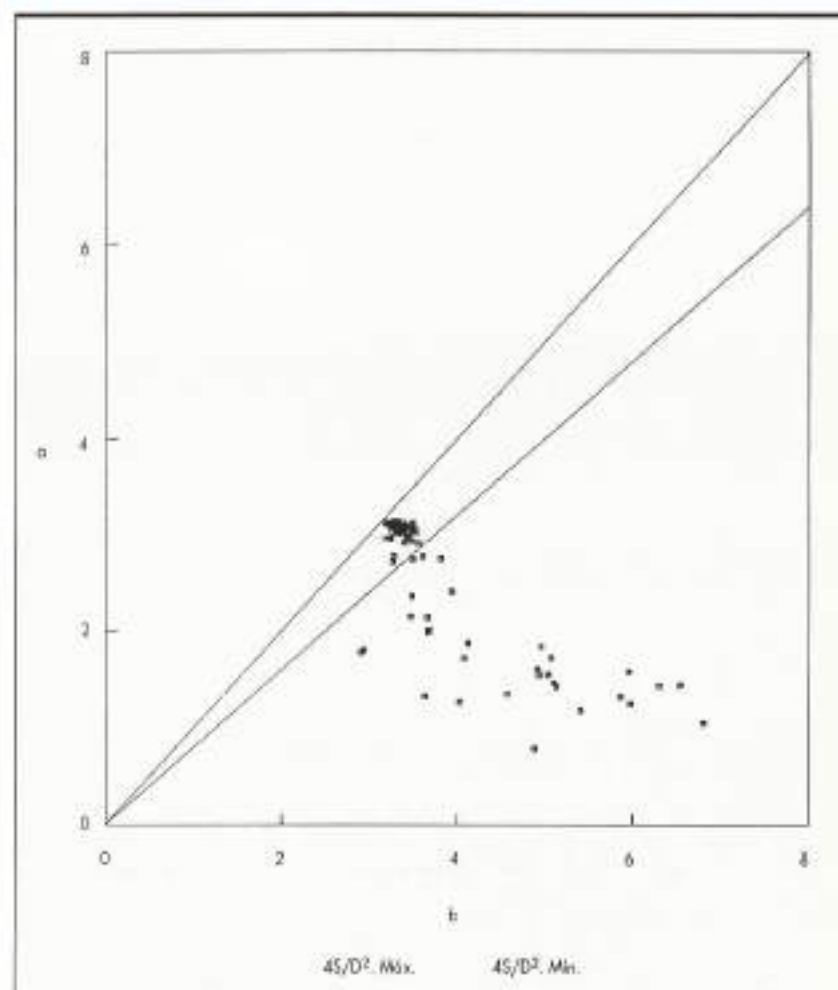


FIGURA 2. Gráfico de clasificación, en base a la morfolología de las microesferas. Ejemplo de una familia por este nuevo método.

de microesferas analizadas; suponiendo, por tanto, un eficaz sistema de control de calidad en la garantía del fenómeno de la pintura retrorreflexiva.

#### BIBLIOGRAFIA

- ANIL, K. JAIN. (1989). «Fundamentals of digital image processing». Prentice-Hall International Editions.
- CASTILLO RUBI, F., y BLANCO FERNANDEZ, M. (1990). «Importancia de la retrorreflexión en la seguridad vial. I. Visibilidad nocturna en la señalización vertical». *Ingeniería Civil*, n.º 77, CEDEX-MOPU, pp. 8-13.
- CASTILLO RUBI, F.; BLANCO FERNANDEZ, M., y NIETO MASIDE, R. (1991). «Importancia de la retrorreflexión en la seguridad vial. II. Visibilidad nocturna en las marcas viales». *Ingeniería Civil*, n.º 78, CEDEX-MOPT, pp. 84-90.
- GUILLARD, Y.; LOOS, G.; KRAENNER, F., y SOUCHET, F. (1991). «Automatic quality testing system for glass microbeads». Centre d'études techniques de l'équipement de l'est. Laboratoire Régional de Strasbourg.
- MARTINEZ NISTAL, A. (1985). «Diseño y operatividad de un sistema interactivo para el proceso digital de micrografías petrográficas». Tesis de licenciatura. Dto. de Petrología. Universidad de Oviedo.
- NORMA MELC 12.32. «Toma de muestra de las microesferas de vidrio utilizadas en marcas viales».
- NORMA MELC 12.30. «Determinación del tanto por ciento de microesferas de vidrio defectuosas utilizadas en la señalización de carreteras».
- PRENDES RUBIERA, N. (1992). «Proceso digital de imágenes en materiales orgánicos». *Monografías CEDEX-MOPT*, pp. 125-147. En prensa.
- PROYECTO DE INVESTIGACION (1981). «Proceso digital de micrografías en petrología». Dto. de Petrología y Centro de Investigación UAM-IBM. Madrid.
- ROSENFELD, A., y KAK, A. C. (1976). «Digital Picture Processing». N. Y. Academy Press.
- III Simposium Nacional de Reconocimiento de Formas y Análisis de Imágenes. Comunicaciones de SERFAI. Oviedo, 29 y 30 de septiembre, 1988.
- IV Simposium Nacional de Reconocimiento de Formas y Análisis de Imágenes. Comunicaciones de la SERFAI. Granada, 24 - 28 de septiembre, 1990.