

## DESARROLLO DE UN PROGRAMA COMPUTACIONAL EN CÓDIGO ABIERTO PARA DETERMINAR LA DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETROS DE PARTÍCULAS EN SISTEMAS DISPERSOS POR MEDIO DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

ROBERTO A CONTRERAS G, FRANKLIN QUINTERO G, SERGIO D ROSALES A, JOSÉ M GONZÁLEZ

PDVSA Intevep, Gerencia Departamental de Investigación Estratégica en Producción

Apartado Postal 89000, Caracas 1080A, Venezuela. Tel.: +58-212-3307301

e-mails: [quinterofp@pdvsa.com](mailto:quinterofp@pdvsa.com) / [gonzalezjms@pdvsa.com](mailto:gonzalezjms@pdvsa.com), [rosalesd@pdvsa.com](mailto:rosalesd@pdvsa.com)

Recibido: febrero 2015

Recibido en forma final revisado: diciembre 2015

### RESUMEN

Se desarrolló y ejecutó un programa computacional que permite determinar la distribución de diámetro de partículas en dispersiones líquido-líquido y sólido-líquido mediante el procesamiento de imágenes. Esta herramienta computacional permite estudiar la estabilidad de emulsiones en el tiempo. Así como identificar aditivos de tipo tensoactivo que pueden ser empleados para estabilizar o desestabilizar sistemas dispersos. Los resultados generados por el programa fueron validados a través de la comparación con las distribuciones de diámetro de partículas de microfotografías reportadas en la literatura y de imágenes de diámetro conocido. El programa representa un ahorro de tiempo y evita la posibilidad de errores humanos en comparación con la medición manual de la distribución de diámetro de gotas en el caso de emulsiones W/O con fase externa opaca. Además complementa los resultados con modelos estadísticos. Otra potencial aplicación es la identificación de aditivos tipo tensoactivos que mejoren la distribución de partículas sólidas dispersas en cemento fraguado para cementación de pozos en yacimientos petroleros.

*Palabras clave:* dispersión, distribución, diámetro, gota, imagen.

### DEVELOPMENT OF AN OPEN SOURCE SOFTWARE TO DETERMINE THE DISTRIBUTION OF PARTICLE DIAMETERS IN DISPERSE SYSTEMS THROUGH IMAGE

#### ABSTRACT

A computer program for determining the distribution of particle diameter in liquid-liquid and solid-liquid dispersions using image processing was developed and implemented. This computational tool allows to study the stability of emulsions over time and to identify the type of surfactant additives that can be used to stabilize disperse systems. The results generated by the program were validated through comparison with the particle diameter distributions of micrographs reported in the literature and images of known diameter size. The program saves time and avoids the possibility of human error in comparison to manual determination of diameter size distribution of droplets in cases of W/O emulsions with opaque outer phase. Results are completed with statistical models. Another potential application is the identification of surfactant type additives that improve the dispersion of solid particles in grout cement in petroleum well construction

*Keywords:* dispersion, distribution, diameter, drop, image.

#### INTRODUCCIÓN

Cuando dos líquidos inmiscibles se ponen en contacto y se adiciona un tensoactivo (Lamus, 1997), (Castellanos *et al.* 2011), frecuentemente llamado agente emulsionante, y se agitan vigorosamente, uno de los constituyentes será dispersado (fase interna) en el otro (fase continua). Cuando esto ocurre se produce una emulsión, (Cárdenas *et al.* 1996), (Toro *et al.* 2012), (Núñez *et al.* 2004), (Urbina *et al.*

2009), (Lozán *et al.* 2006), (Rahn *et al.* 2012).

En la actualidad las emulsiones desempeñan un papel determinante en distintas áreas de producción, especialmente en la industria petrolera, donde la formación de emulsiones O/W y W/O son problemas frecuentes en el área de producción y refinerías (Bolívar *et al.* 2000), (Lamus, 1997), (Rosales *et al.* 2012). Por tal motivo se ha hecho necesario un creciente estudio vinculado con las

características y propiedades de las emulsiones y su efecto en los diferentes procesos de producción, transporte y refinación de hidrocarburos.

La inestabilidad de las emulsiones tiene lugar principalmente por cuatro fenómenos: i). La sedimentación y formación de nata es la agregación de las gotas bajo la influencia de la gravedad, como consecuencia de una diferencia de densidad apreciable entre las fases continua y dispersa. ii). La inversión es el cambio de una emulsión de aceite en agua a otra de agua en aceite. La inversión puede ser promovida por varios factores entre los cuales destacan la temperatura, cambios en la formulación del sistema y efectos de tipo mecánico. iii). La floculación, es el fenómeno mediante el cual las gotas de una emulsión forman arreglos tridimensionales, en los cuales estas no pierden sus propiedades individuales. iv). La coalescencia ocurre cuando dos o más gotas de una emulsión se unen para formar otra de mayor tamaño. Al iniciarse la coalescencia las gotas aumentan progresivamente de diámetro, hasta que la emulsión se rompe y las fases se separan completamente. La determinación de la distribución de tamaño del diámetro de gotas sirve como herramienta para estudiar el proceso de coalescencia y en consecuencia la estabilidad de la emulsión en función del tiempo.

Muchas emulsiones de importancia son ópticamente opacas, en particular las de agua en crudo (Rosales *et al.* 2010). Por tanto, la determinación de la distribución de las gotas de la emulsión debe hacerse mediante el conteo y medición manual del diámetro de cada gota, lo que conlleva a una inversión de largos periodos y a un error considerable debido a las pequeñas dimensiones de las gotas de las emulsiones y a la habilidad necesaria de quien realice las mediciones.

En tal sentido, los objetivos de este trabajo son el desarrollo y aplicación de un programa para determinar la distribución de tamaño de diámetro de partículas a partir de una microfotografía de la emulsión y comparar la medición de las distribuciones obtenidas por el programa con las reportadas en la literatura, de manera que pueda emplearse para llevar a cabo estudios de estabilidad de emulsiones en función del tiempo y seleccionar los tensoactivos más adecuados para estabilizar o desestabilizar un sistema permitiendo una disminución del tiempo de medición y del error.

## **ESTRUCTURA DEL PROGRAMA**

El código de este programa se escribió con Scilab5.4.1, *software* libre y de código abierto (distribuido bajo licencia

CeCILL- compatible con GPL) desarrollado por Scilab Enterprises. Disponible en <http://www.scilab.org> haciendo uso del *toolbox* “Image Processing Design” disponible en Atoms. Scilab está destinado al cálculo numérico, proporciona un entorno de computación de gran alcance para aplicaciones de ingeniería y científicas. Scilab incluye cientos de funciones matemáticas. Tiene un lenguaje de programación de alto nivel que permite el acceso a estructuras de datos avanzados, y a funciones gráficas en 2-D y 3-D.

El programa se desarrolló en Scilab5.4.1, debido a que es un software libre y de código abierto, lo cual evita el pago de licencia y permite la redistribución del programa en la corporación.

El código fue dividido en seis módulos, cada uno con una función específica:

### **Módulo de lectura de imagen y tratamiento primario**

Se utilizó el comando “ReadImage” para abrir la imagen de la emulsión que el usuario desea analizar y mediante “RGB2Gray” se transforma la imagen original representada en tres dimensiones a una nueva matriz bidimensional a escalas de grises. Posteriormente se genera un histograma de colores (figura 1) a través de “CreateHistogram”, este comando grafica el porcentaje de partículas en función del diámetro de las mismas.

### **Módulo de inversión de imagen**

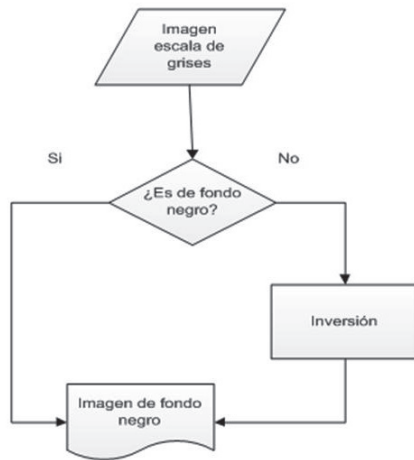
Fue empleada una secuencia que divide la imagen en dos tonos para facilitar la detección de las gotas. Dado que el programa está diseñado para reconocer las gotas como color blanco se estableció una estructura condicional de manera que si las gotas son negras puedan invertirse a blancas. De esta manera se puede determinar la distribución de gotas en emulsiones de fase externa agua o crudo como se aprecia en la figura 2.

### **Módulo de ajuste de imagen**

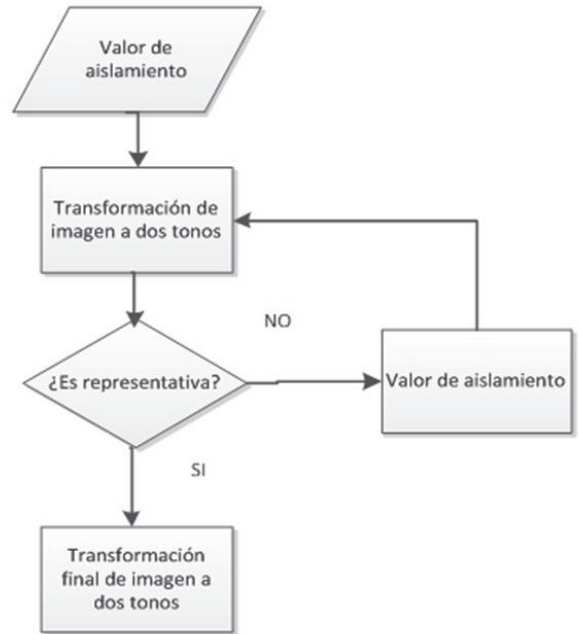
Este módulo permite refinar la imagen hasta que sea representativa, es decir, posea bordes bien definidos y se separen claramente el color de las gotas y el color de la fase continua, para ello deberán introducirse valores de aislamiento hasta que la imagen reportada por el programa tenga las mismas características que la microfotografía. (ver figura 3.)



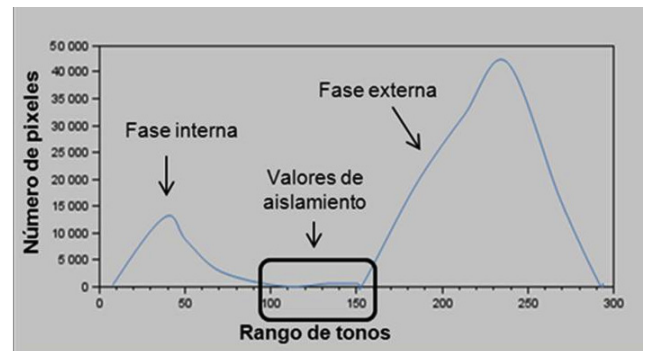
**Figura 1.** Diagrama de flujo del módulo de lectura y tratamiento primario



**Figura 2.** Diagrama de flujo del módulo de inversión de imagen



**Figura 3.** Diagrama de flujo del módulo de ajuste de imagen



**Figura 4.** Selección del valor de aislamiento

El valor de aislamiento se obtiene a partir del histograma de tonos creado en el módulo de lectura de imagen y tratamiento primario como el tono intermedio entre los tonos de la fase interna y los tonos de la fase externa. Como se observa en la figura 4, el primer pico del histograma corresponde a los tonos de la fase interna, y el segundo pico corresponde a la fase externa, ambos picos están aislados por una serie de tonos que constituyen los valores de aislamiento. En el caso de la figura 4 el valor de aislamiento se encuentra en el rango de 100 y 150, su selección permite transformar la imagen a dos tonos (blanco y negro). Los tonos por debajo del valor de aislamiento se transforman en blanco (fase interna) y los tonos por encima del valor de aislamiento se transforman en negro (fase externa).

### Módulo de Cálculos

Se estableció la búsqueda de gotas como bloques de píxeles asociándolos mediante el comando “SearchBlobs”, este comando localiza grupos de píxeles, los identifica y diferencia del resto de grupos de píxeles. Luego para determinar el número de gotas se utilizó el comando “length”, este permite contar el número de grupos de píxeles. El área de cada gota es calculada a través de “PixelIndexMatrix”. Este comando determina el número de píxeles que conforman un bloque. Finalmente se estableció un bucle para determinar el radio de cada gota y clasificarlas en rangos (ver figura 5).

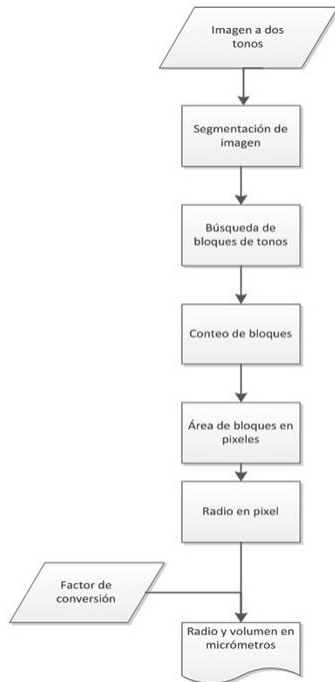


Figura 5. Diagrama de flujo del módulo de cálculos

### Cálculo del área y radio

El píxel (elemento de imagen) es la unidad más pequeña que componen las fotografías. Del mismo modo que la pantalla de una computadora, las fotografías están compuestas por una serie de celdas elementales. Cada celda o píxel representa un área de la imagen. Transformada la imagen a escala de grises y ajustada a dos tonos el programa interpreta esta imagen como una matriz con valores numéricos de uno para el color blanco y cero para el color negro. Los unos son las gotas u objetos a ser analizados (figura 6). Cada elemento de la matriz representa un píxel de la imagen, así la matriz mostrada en la figura 6 de 8 filas y 6 columnas es el equivalente a una matriz de 8x6 píxeles.

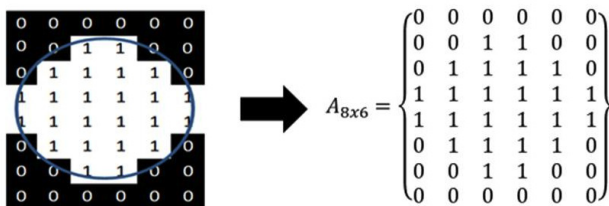


Figura 6. Matriz equivalente de una imagen

El área de la gota (A) viene dada por la suma de cada elemento de la matriz:

$$A = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (1)$$

Donde:

$A$  = área de la gota

$a_{ij}$  = elementos de la matriz

Aplicando la ecuación 1 a la matriz de la figura 6 se obtiene la ecuación 2:

$$A = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} = a_{11} + a_{12} \dots a_{86} = 24 \text{ píxeles} \quad (2)$$

Luego de determinar el área se calcula el radio ( $r$ ) mediante la ecuación 3:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (3)$$

Para reportar el radio en  $\mu\text{m}$  se obtiene un factor de conversión ( $fc$ ) de micrómetros / píxel a partir de una marca de referencia como se muestra en la figura 7

$$fc = \frac{1 \mu\text{m}}{3 \text{ píxeles}} \quad (4)$$

Finalmente el radio en  $\mu\text{m}$  viene dado por la ecuación 5:

$$r(\mu\text{m}) = fc \left( \frac{\pi m}{\text{píxeles}} \right) r(\text{píxeles}) \quad (5)$$

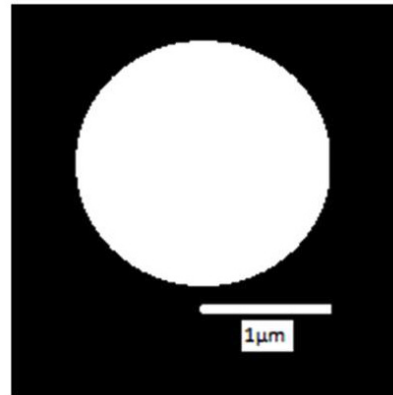


Figura 7. Marca de referencia

### Distribuciones estadísticas para reportar los resultados

Se emplearon los criterios  $D_{50}$ ,  $D_{10}$  y  $D_{90}$ . Estos son lecturas percentiles estándares de análisis. Un percentil es una medida de posición usada en estadística para indicar el valor debajo del cual se encuentra un porcentaje de elementos dentro de un grupo y se basa en la división del total de datos en 100 partes. En este orden de ideas  $D_{50}$  es la lectura de diámetro tal que el 50% del conjunto de partículas se encuentran por debajo de su valor.  $D_{10}$  es la lectura de diámetro tal que

el 10% del conjunto de partículas se encuentra por debajo de su valor y finalmente  $D_{90}$  es el diámetro tal que el 90% del conjunto de partículas se encuentra por debajo de su valor. La implementación de los percentiles en el programa se llevó a cabo con el comando “perctl”. Su expresión matemática se indica en la ecuación 6:

$$n = \frac{P}{100}N + \frac{1}{2} \quad (6)$$

Donde:

$n$ : posición del percentil en el conjunto de datos.

$P$ : porcentaje a determinar.

$N$ : número de elementos presentes en el conjunto de datos.

Otro criterio estadístico empleado es el span, el cual es una medida de cuán estrecha es una distribución; su cálculo se lleva a cabo mediante la ecuación 7:

$$Span = \frac{D_{90} - D_{10}}{D_{50}} \quad (7)$$

Finalmente se determinó la uniformidad ( $U$ ), que es la desviación absoluta de la mediana y se obtiene a través de la ecuación 8:

$$U = \frac{\sum X_i |D_{50} - d_i|}{D_{50} \sum X_i} \quad (8)$$

Donde:

$X_i$ : población con ese número de diámetros

$d_i$ : diámetro

### Módulo de resultados

Se empleó el comando “histplot”, el cual genera un histograma de frecuencia para graficar la distribución de gotas (Baudin, 2010) como un histograma de frecuencia de radio de gotas y de volumen de gotas. La distribución porcentual del radio y volumen de las gotas se creó por medio del comando “plot2d”, éste permite graficar dos variables. Los reportes estadísticos se crearon mediante los comandos “median”, “st\_deviation” y “gsort” (Duran, 2011) y luego se ubicó cada valor de acuerdo al criterio de los métodos. (ver figura 8).

### Módulo principal

Hace un llamado a los módulos anteriores a fin de ejecutarlos de forma consecutiva como un solo comando. Para ello se empleó la orden “exec” (ver figura 9).

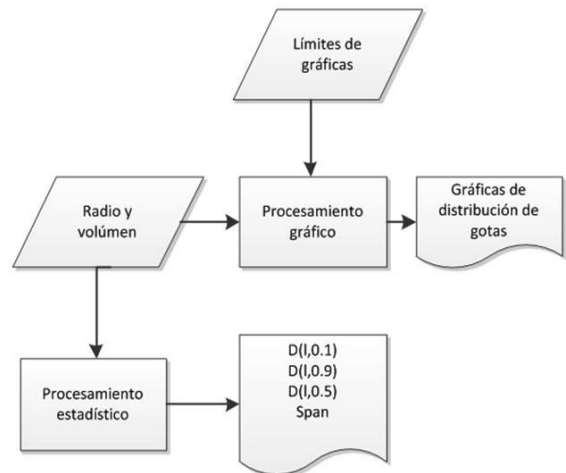


Figura 8. Diagrama de flujo del módulo de resultados

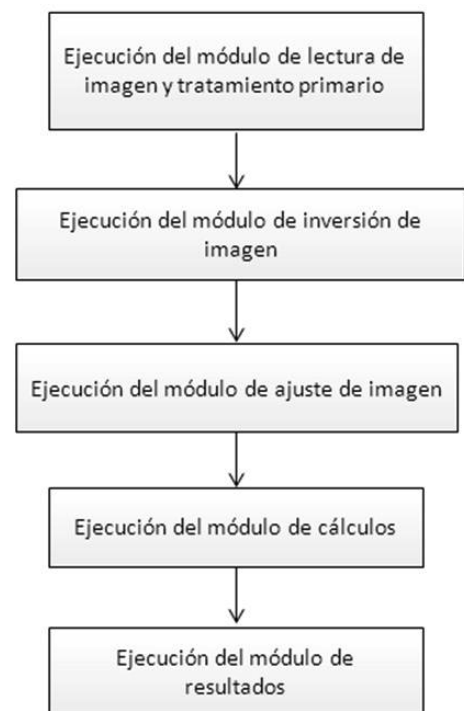


Figura 9. Interacción de los módulos que conforman el programa

### Interfaz de usuario

Se programó un entorno gráfico de tipo diálogos que se ejecuta de manera consecutiva a través del comando “x\_dialog” integrado con cada módulo de forma que el usuario proporcione las variables de entrada y obtenga los resultados de manera más sencilla y amigable.

El proceso completo de tratamiento de imagen desde la lectura de imagen hasta el reporte de resultados está representado en la figura 10.

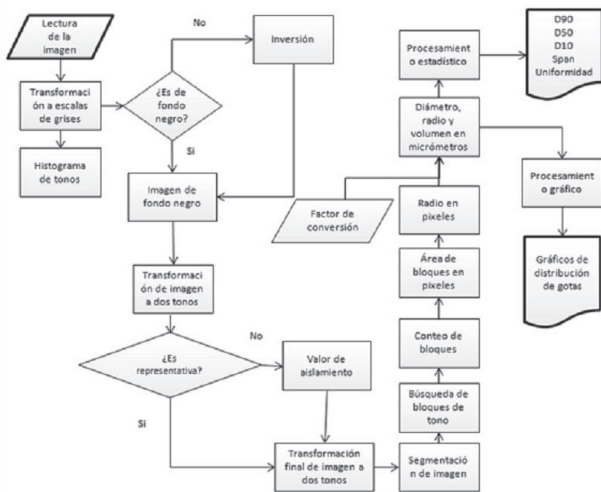


Figura 10. Proceso completo de tratamiento de imagen

## EJECUCIÓN DEL PROGRAMA

Una vez iniciado el programa aparecerá una ventana (figura 11), en la misma se introduce el nombre del archivo de imagen con su extensión entre comillas. Seguidamente se genera la gráfica de distribución de tonos donde se muestra un rango desde cero hasta 300, el cual corresponde a los posibles valores de aislamiento. Estos, son números adimensionales que se subdividen en el rango de color en dos tonos. Se debe seleccionar el valor de aislamiento como aquel que separa los dos grupos más grandes de tonos e introducirlo en la ventana. El programa despliega la imagen en escala de grises y se identifica si es preciso o no invertir la imagen de acuerdo a los siguientes casos: fase continua negra y gotas blancas, no es preciso invertir. Fase continua blanca y gotas negras, si es preciso invertir. El número de aislamiento debe modificarse hasta lograr un buen ajuste de la imagen de manera que no existan imperfecciones ni se observen píxeles que no correspondan a gotas. Seguidamente se genera la imagen ajustada en dos tonos; si no posee bordes bien definidos y no se separan claramente el color de las gotas y color de la fase continua, se introduce y se ajusta nuevamente el número de aislamiento. A continuación comienzan a configurarse las gráficas de distribución, para ello se introduce el máximo valor de radio, el número de rangos que se desea representar y los valores límites de cada eje. Finalmente el programa proporciona los resultados.

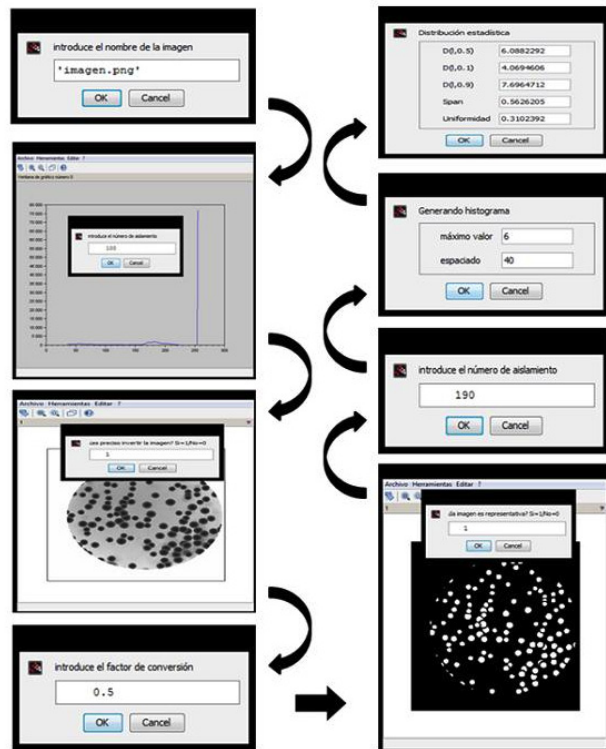


Figura 11. Ejecución del programa

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Comprobación de la ejecución del programa con una microfotografía de emulsión de la bibliografía

Mandal, *et al.* (2010) realizaron un estudio sobre caracterización de emulsiones de aceite en agua y su uso en la recuperación mejorada de crudo. Se llevaron a cabo experimentos para caracterizar las emulsiones en términos de sus propiedades fisicoquímicas y la distribución de las gotas de aceite dispersas en la fase de agua. De este trabajo se extrajo la figura 12 (correspondiente a una microfografía de una emulsión formada por un 5% aceite-95% agua) para analizarla con el programa. Los resultados del conteo y clasificación en intervalos de radios, de la imagen analizada se encuentran tabulados y graficados en las figuras 13 y 14.

La microfotografía presentó una población total de 715 gotas las cuales se encuentran en un intervalo de 0 a 11 micrómetros. El histograma de frecuencia del radio de las gotas muestra una distribución típica en las emulsiones, donde las gotas se agrupan en tres principales secciones de tamaño (0-3, 3-4, 4-9  $\mu\text{m}$ ) como consecuencia de la coalescencia, la floculación y la acción conjunta coalescencia-floculación (Rahn *et al.*, 2012).

La figura 14 muestra la gráfica de la densidad del tamaño de gotas en términos porcentuales. Al comparar la curva teórica

y la reportada por el programa se observa una tendencia similar hasta tamaños de gotas inferiores a 7,5  $\mu\text{m}$ , por encima de estos valores se evidencia una diferencia entre ambas curvas, lo cual obedece al hecho de que la imagen tomada de la literatura ha sido sometida a tratamientos de imágenes posteriores antes de su impresión modificando parcialmente la estructura de sus píxeles.

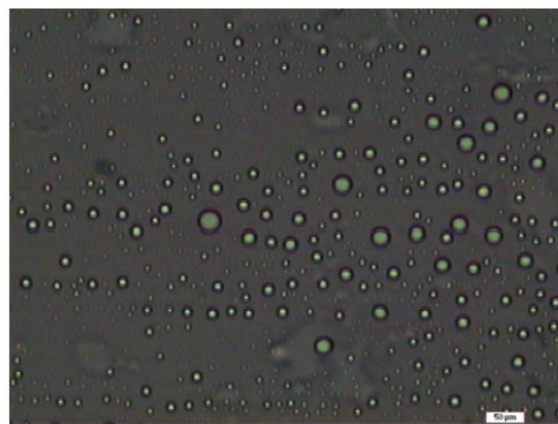
De acuerdo a los valores estadísticos generados de la distribución (tabla 1) se tiene que el 50% de las partículas tienen un diámetro menor a 4,34  $\mu\text{m}$ . El error se determinó con base al percentil  $D_{50}$  en el caso de la publicación fue de 4,34  $\mu\text{m}$  y el reportado por el programa fue de 4,25  $\mu\text{m}$  resultando un error absoluto del 0,09  $\mu\text{m}$ .

**Tabla 1.** Comparación de las distribuciones reportadas por el programa y las bibliográficas

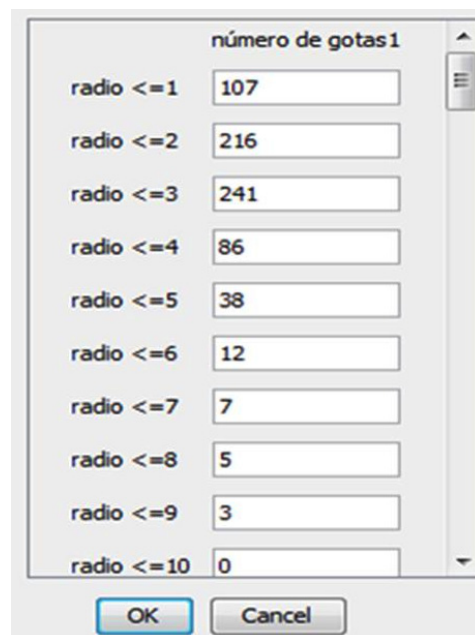
Distribución	Diámetro ( $\mu\text{m}$ )		Error absoluto ( $\mu\text{m}$ )
	Reportado	Programa	
D50	4,34	4,25	0,09

La similitud entre los resultados arrojados por el programa y los valores bibliográficos son referencia del buen desempeño del programa. Con base en estos resultados el programa se perfila como una alternativa válida para determinar la distribución de gotas en emulsiones; aparte de generar buenos resultados y complementarse con métodos estadísticos, es desarrollado en un entorno de programación gratuito. Su utilidad trasciende en emulsiones donde la fase continua es oscura (W/O) ya que en este caso los equipos comerciales (de alto costo) que operan con dispersión de luz no pueden realizar las mediciones, en consecuencia debe hacerse un conteo manual de partículas a partir de una imagen microscópica generando un incremento en el error y en el tiempo destinado a los cálculos; mientras que el programa permite hacerlo de forma rápida y con gran exactitud.

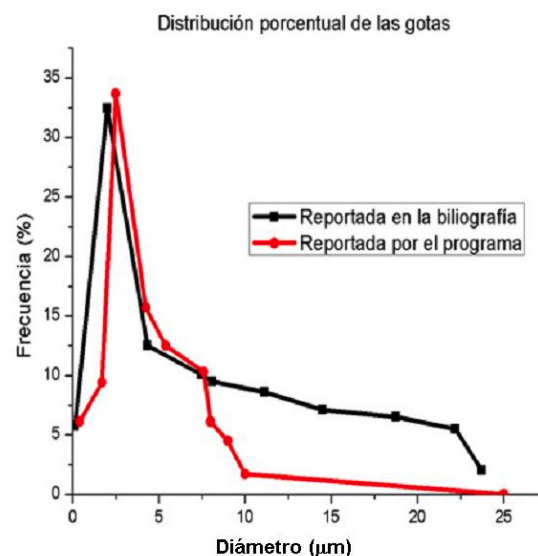
De esta manera el programa puede emplearse para realizar estudios de la estabilidad de emulsiones en el transcurso del tiempo y seleccionar los tensoactivos más adecuados para estabilizar o desestabilizar un sistema determinado



**Figura 12.** Microfotografía de emulsión W/O



**Figura 13.** Cantidad de gotas de acuerdo al radio



**Figura 14.** Distribución porcentual del número de gotas

## Exactitud de los resultados

Con el objeto de determinar la exactitud del programa se diseñaron tres imágenes (figura 15) de emulsiones de tamaño y población conocida, de esta manera se determinaron y compararon los valores de diámetro reportados por el programa.

De la tabla 2 se observa que el error absoluto (ver ecuación 9) para el  $D_{50}$  es 0,01 cm, para el  $D_{90}$  está por debajo de 0,03 cm y para el  $D_{10}$  el error corresponde a 0,01 cm. Los errores obtenidos permiten validar los resultados reportados por el programa y conocer la exactitud del mismo en la determinación de las distribuciones estándar.

$$\varepsilon_A = |\chi - \chi_R| \quad (9)$$

Donde:

$\varepsilon_A$  = Error absoluto

$\chi$  = Medida

$\chi_R$  = Valor de referencia o teórico

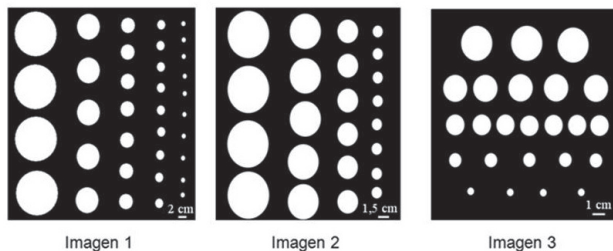


Figura 15. Distribuciones de partículas

Tabla 2. Comparación de los resultados reportados por el programa con los valores teóricos

Distribución	Imagen 1			Imagen 2			Imagen 3		
	Diámetro (μm)		Error Absoluto (μm)	Diámetro (μm)		Error Absoluto (μm)	Diámetro (μm)		Error Absoluto (μm)
	Real	Prog.		Real	Prog.		Real	Prog.	
D90	3,68	3,65	0,03	3	2,99	0,01	2,6	2,59	0,01
D50	0,74	0,75	0,01	2	2,01	0,01	1,5	1,49	0,01
D10	0,37	0,36	0,01	1,5	1,51	0,01	0,5	0,51	0,01

## POTENCIALES APLICACIONES

### Evaluación de la homogeneidad de las partículas sólidas dispersas en cemento fraguado para cementación de pozos en yacimientos petroleros.

El programa puede emplearse como una herramienta para identificar aditivos tipo tensoactivos que mejoren la distribución de partículas sólidas dispersas en cemento fraguado para cementación de pozos en yacimientos

petroleros, con la finalidad de obtener una dispersión homogénea de las partículas que permitan una densidad uniforme del cemento una vez fraguado. Para ello se procesan secciones de la fotografía y se verifica si en cada región existe el mismo número de partículas. Para este fin se analizó la figura 16.

Los dos mecanismos tradicionales a través de los cuales se puede llevar a cabo esta actividad son el conteo manual de partículas o el uso de programas con licencia privativa de alto costo. De esta manera el programa representa un ahorro de tiempo pues no tendría que llevarse a cabo el conteo de forma manual y un ahorro de dinero ya que no se requiere de un programa de procesamiento de imágenes de alto costo.

Para llevar a cabo el análisis de la dispersión se preparó una formulación previa de cemento–tensoactivo–partículas sólidas, y se dejó fraguar en un molde cilíndrico. Una vez solidificado, se pulió la superficie y posteriormente se tomó una fotografía de la misma; esta se sometió al tratamiento de imágenes y se obtuvieron los resultados expuestos en la figura 16 donde se aprecia como a medida que aumenta la altura del segmento de cemento fraguado aumenta el número de partículas sólidas presentes, este fenómeno es de esperarse ya que las partículas sólidas (polietileno expandido) son de menor densidad y por flotabilidad tienden a orientarse hacia la superficie.

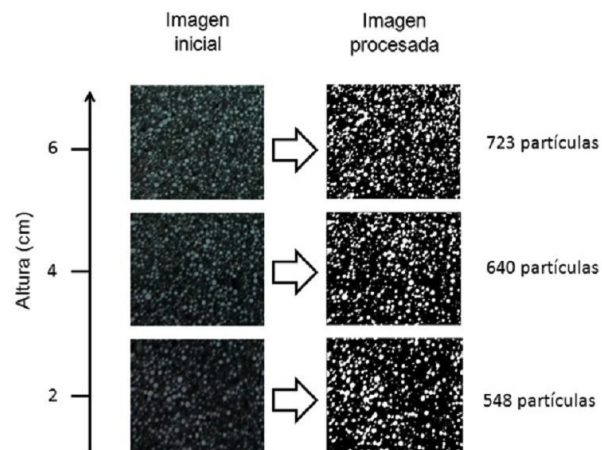


Figura 16. Procesamiento de fotografía de una sección de cemento fraguado

## CONCLUSIONES

El programa elaborado es usado en distintos medios y determina la distribución del tamaño de las gotas a partir de una microfotografía de la emulsión permitiendo realizar estudios de la estabilidad de emulsiones en el transcurso del tiempo y seleccionar los tensoactivos más adecuados para estabilizar o desestabilizar un sistema determinado.



Los resultados obtenidos a través de la herramienta desarrollada fueron comparados con valores reportados en la literatura evidenciando un error en el  $D_{50}$  de 0,09  $\mu\text{m}$ .

Los resultados de  $D_{90}$ ,  $D_{50}$  y  $D_{10}$  reportados por el programa al procesar imágenes de población y diámetro conocido, arrojaron errores absolutos de 0,03  $\mu\text{m}$ , 0,01  $\mu\text{m}$  y 0,01  $\mu\text{m}$  respectivamente. Por tanto, se puede afirmar que el programa posee una exactitud adecuada a los requerimientos técnicos del área de estudio.

El programa es capaz de determinar el número de partículas dispersas en una fase sólida, lo cual permite identificar aditivos tipo tensoactivos que mejoren la distribución de partículas sólidas dispersas en cemento fraguado para cementación de pozos en yacimientos petroleros.

En los sistemas donde la fase continua es oscura, por ejemplo: emulsiones de agua en crudo (W/O) la herramienta desarrollada representa un ahorro de tiempo y evita la posibilidad de errores humanos en comparación con la medición manual de la distribución de diámetro de gotas.

El error resultante al emplear el programa depende de la calidad de la imagen y de la lectura de la escala, siendo esta la principal limitación de la herramienta desarrollada.

## REFERENCIAS

- BAUDIN M. (2010, Noviembre). Introduction to Scilab. The Scilab Consortium-Digiteo. Extraído el 15 de Octubre de 2013 desde <http://forge.scilab.org/index.php/p/docintrotoscilab/downloads/311/>.
- BOLÍVAR R., CONTRERAS P., MÉNDEZ R., Y TOVAR J. (2000). Químicos de producción del petróleo: Oportunidad para Venezuela. *Visión Tecnológica*, 7, 167-172.
- CÁRDENAS A., ROSSI S., PAZOS D., Y RIVAS H. (1996). Estabilidad de emulsiones de bitumen en agua. Parte II. Floculación de emulsiones estabilizadas con surfactantes no-iónicos. *Visión Tecnológica*, 4, 27-36.
- CASTELLANOS A., TORO J., Y GARCÍA M. (2011). Interfacial profiles in fluid/liquid systems: A description based on the storing of elastic energy. *J. Journal of Colloid and Interface Science*, 358, 301-306.
- DURAN, A. (2011). Minicurso de Scilab. Universidad de Valladolid. Extraído el 15 de Octubre de 2013 desde <http://www.tel.uva.es/descargar.htm;jsessionid...?id=14005>
- LAMUS J. (1997). Estado del arte sobre los métodos de recuperación mejorada de petróleo: criterios de selección y aspectos técnicos. *Visión Tecnológica*, 4, 165-178.
- LÓPEZ E., ROSALES S., BRITO J., Y MANUEL M. (2010, Octubre). Interfacial properties of surfactant mixture solutions applied in wellbore cementing drilled with oil-based fluid: salts, pH and temperature effect. Comunicación presentada al World Congress on Emulsion.
- LOZSÁN A., GARCÍA M., Y URBINA G. (2006). Theoretical estimation of stability ratios for hexadecane-in-water (H/W) emulsions stabilized with nonylphenoethoxylated surfactants. *Journal of Colloid and Interface Science*, 299, 366-377.
- MANDAL, A.; ABHIT S.; ACHINTA B., Y OJHA K. (2010). Characterization of Oil-Water Emulsion and Its Use in Enhanced Oil Recovery. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 49, 12756-12761.
- NÚÑEZ A., DARIÁS R., PINTO R., MEDINA E., Y PAREDES R. (2004). Mínimo de viscosidad en un modelo de emulsión bidimensional. *Ciencia*, 12, 159-163.
- RAHN K., PUERTAS M., ROMERO M., ROJAS C., Y URBINA G. (2012). Evaluación de la velocidad de floculación de nanoemulsiones aceite/agua. 1) Desarrollo de expresiones teóricas para la turbidez de una nanoemulsión. *Interciencia*, 37, 577-587.
- ROSALES S., VERMÁEZ O., LÓPEZ E., TOMASSIA., CARRASQUERO M., MAS M., ESCALONA E., MARCANO L., Y TORRES A. (2010). Método para determinar la estabilidad de emulsiones a partir de medidas de reometría dinámica. Comunicación presentada al Seminario de Fluidos de Perforación, Cementación y Completación de Pozos. PDVSA-INTEVP, S.A.
- ROSALES, S., GARCÍA, M., URBINA, G., Y LÓPEZ, E. (2012). Surface dilational viscoelasticity of surfactants and mixed adsorption layers. En *Colloidal Aggregation and Interfacial Phenomena* (pp. 201 - 223). Kerla: Research Signpost.
- SALAGER J. (1999). Formulación, composición y fabricación de emulsiones para obtener las propiedades deseadas. Estado del Arte parte A. Cuaderno Firp S747A. Introducción y Conceptos de Formulación Físicoquímica. Laboratorio de Formulación, Interfases, Reología y Procesos. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

- SALAGER J. (1999). Formulaci3n, composici3n y fabricaci3n de emulsiones para obtener las propiedades deseadas. Estado del Arte parte B. Cuaderno Firp S747AB. Propiedades de las Emulsiones y su Medici3n. Laboratorio de Formulaci3n, Interfases, Reología y Procesos. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- TORO J., GARCÍA, M., Y DIMITIR N. (2012). Deformation of brownian emulsion droplets. En J. Toro. Topics in Colloidal Aggregation and Interfacial Phenomena (pp. 225 - 243). Kerla: Research Signpost.
- URBINA G., LOZSÁN A., RAHN K., Y ROMERO M., (2009). Calculation of the stability ratio of suspensions using Emulsion Stability Simulations. Computer Physics Communications. 180, 2129-2139.
- WANG C., WANG Q., Y WANG T. (2010). Simple Method for Preparation of Porous Polyimide Film with an Ordered Surface Based on in Situ Self-Assembly of Polyamic Acid and Silica Microspheres. Langmuir, 26, 18357-18361.