

## Segmentación de imágenes de partículas de arena utilizadas para fracking

Mg. Ing. Carlos Gustavo Rodriguez Medina <sup>1</sup>, Dr. Ing. Oscar Daniel Chuk <sup>2</sup>,  
Ing. Regina Bertero, Lic. Adriana Luna, Ing. Enrique Núñez, Ing. Pablo Trigo

Instituto de Investigaciones Mineras. Facultad de Ingeniería.  
Universidad Nacional de San Juan

Av. Libertador Gral. San Martin 1109 oeste. San Juan  
0264-4211700 (int. 285 <sup>1</sup>, int. 389 <sup>1,2</sup>)

grodriguez@unsj.edu.ar <sup>1</sup>, dchuk@unsj.edu.ar <sup>2</sup>

### RESUMEN

El presente trabajo se enmarca en el área de procesamiento digital de imágenes. La línea de investigación se orienta en poder determinar la calidad de arenas utilizadas en procesos de fracturación hidráulica (también conocida como *fracking*) para la extracción de petróleo de manera no convencional. Dicha determinación de calidad se realiza mediante la medición de características, tales como la esfericidad y la redondez de las partículas de arena, a través de técnicas de procesamiento de imágenes en una PC.

Se ha tenido que invertir un importante esfuerzo en poder segmentar, de manera apropiada, las imágenes de interés (partículas o granos de arena) para luego poder determinar las características antes mencionadas, indicadoras de calidad.

Es por ello que se ha trabajado en la elaboración de un algoritmo que aplica la técnica de Divisoria de Aguas, mediante la Transformada de Watershed, obteniéndose así una adecuada segmentación para los fines perseguidos.

Si bien la utilización de la técnica de Divisoria de Aguas se ha encontrado solo en publicaciones actuales referidas al procesamiento de imágenes biomédicas, para este caso se hace uso en una aplicación con fines industriales.

**Palabras clave:** Segmentación de imágenes, Divisoria de aguas, Watershed, Partículas de arena, Fracking.

### CONTEXTO

El desarrollo del trabajo que se expone a continuación se lleva a cabo en el marco de un Proyecto de Investigación y Creación (PIC), titulado "*Visión artificial aplicada a la determinación de propiedades geométricas de arenas de fracturación para el análisis de calidad*". El mismo es parte de una convocatoria más amplia de Proyectos, tal como los PDTs (Proyectos de Desarrollo Tecnológico y Social), FODO (Formación Docente), y PROJOVI (Proyectos de Jóvenes Investigadores).

El mencionado Proyecto tiene un plazo de ejecución de dos años, y se inició en 2018.

La financiación es llevada a cabo con fondos correspondiente al presupuesto de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), como así también por parte del Gobierno Provincial. La evaluación de propuestas iniciales de proyectos, como así también la evaluación final, es llevada a cabo mediante evaluadores externos a la UNSJ.

## 1. INTRODUCCIÓN

El proceso de Fracking o el Fracturamiento Hidráulico, es el proceso utilizado en la extracción de hidrocarburos de manera no convencional, como es el caso del yacimiento de Vaca Muerta, en la provincia de Neuquén. En dicho proceso se aplica presión hidráulica a la roca reservorio de hidrocarburo, hasta que se produce una falla o fractura de la misma mediante la inyección a alta presión de fluido viscoso, y se mantiene abierta con un agente apuntalante (tal como arena natural o sintética) una vez que se haya liberado la presión de inyección.

El agente de sostén, agente apuntalante o propanante es un material usado para evitar que la fractura generada en la roca durante el Fracturamiento Hidráulico se cierre completamente, una vez terminado el bombeo y garantizar una buena conductividad al canal recién creado.

Con la finalidad de garantizar la capacidad de las arenas con destino al Fracking para actuar como apuntalantes o propanantes, se reconocen como base las normas de referencia del *American Petroleum Institute* (API). Esta norma recomienda una serie de ensayos a realizar sobre las arenas con el fin de conocer la calidad del material a utilizarse en el Fracking. Entre Los ensayos a realizarse se encuentran los de Redondez y Esfericidad de los granos de arena.

Los ensayos de Esfericidad y Redondez padecen de una fuerte dependencia del criterio del observador, dado que el procedimiento se realiza mediante la utilización de un microscopio y las mediciones de esfericidad y redondez se realizan por comparación respecto a tablas que contienen una serie de formas provistas por la norma. Esto deriva en resultados sustancialmente disímiles que invalidan el procedimiento, aunque es el que se sigue usando por norma.

*El uso de técnicas de Visión Artificial se presenta como la alternativa tecnológica que puede permitir obtener medidas objetivas no dependientes del criterio de un operador.* [1].

Al operar con imágenes correspondientes a muestras de arenas, los elementos de interés se esparcen sobre una superficie contrastante (utilizada como fondo), teniendo la

precaución de evitar el amontonamiento de las partículas, ya que cuando se captura la imagen y al quedar partículas unidas unas a otras un proceso de segmentación común (como una umbralización) no es suficiente. Por mayor cuidado que se tenga, generalmente se produce algún efecto de amontonamiento o aglomeración de las partículas de arena, es prácticamente inevitable.

Por tal motivo, resulta de interés encontrar algún mecanismo para salvar dicha situación, dado que para estos casos la segmentación no arroja resultados satisfactorios, ya que se suelen obtener elementos que no representan las partículas de arena reales.

En el marco de este trabajo, se han probado distintos algoritmos de segmentación, pero con el que mejores resultados se ha podido obtener (en cuanto a lograr la división de partículas unidas a nivel imagen) ha sido mediante el algoritmo de Divisoria de aguas.

Esto, de alguna manera confirma lo expresado por [2], que indica que la partición de una imagen en regiones permite obtener información que busca el observador mediante una herramienta morfológica poderosa denominada transformada de Watershed, también conocida como Divisoria de Aguas. Dichos autores manifiestan que tal transformada es fácilmente adaptable a los diferentes tipos de imágenes y es capaz de distinguir objetos sumamente complejos que no pueden ser analizados correctamente mediante algoritmos convencionales.

Watershed es una técnica de segmentación basada en morfología matemática, que permite extraer las fronteras de las regiones que hay en una imagen. A la vez, se considera una técnica de segmentación basada en regiones, debido a que clasifica los píxeles según su proximidad espacial, el gradiente de sus niveles de gris, y la homogeneidad de sus texturas. Por ello se toma como una técnica de detección de contornos y crecimiento de regiones al mismo tiempo [2] [3].

A través de Watershed se puede considerar una imagen en escala de gris como la imagen topográfica de un relieve terrestre; en donde a cada píxel se le asocia como valor de altura su nivel de gris correspondiente. En este sentido,

se puede pensar que las intensidades de gris de mayor amplitud se corresponden con montañas, mientras que las intensidades de menor valor se corresponden con valles y ríos [3].

La técnica además incorpora un proceso de inundación de los valles, desde los niveles más bajos de altura (valores mínimos locales, que constituyen cuencas de inundación rodeadas por cadenas montañosas), hasta los niveles más altos.

Las zonas de baja intensidad de gris también se conocen como vasijas (basins en Inglés), por donde fluiría el agua e inundaría toda la topografía de la imagen; es decir, el agua fluiría en cada una de las vasijas identificadas. El proceso de inundación continúa hasta que las aguas de cuencas o vasijas contiguas se unen, formando líneas de unión que representarán las fronteras de regiones homogéneas, y constituyen el resultado de la segmentación. Lo descrito se presenta en la figura 1.

Las líneas divisorias de aguas forman los contornos de los objetos de la imagen que se quiere analizar, que darán lugar a la segmentación de la imagen, y que corresponden además a zonas de elevada intensidad de gris.

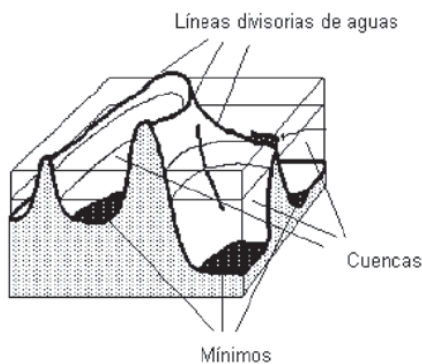


Figura 1. Watershed: Líneas divisorias, mínimos y vasijas o cuencas. Fuente [La Serna y García 2011].

Se debe tener especial cuidado durante la aplicación del algoritmo de Watershed, dado que en imágenes no homogéneas y/o embebidas en ruido se genera un gran número de mínimos locales, produciéndose

sobresgmentación en pequeñas regiones, en donde muchas de las regiones generadas no son importantes dentro de la imagen, o no representan objetos existentes en la imagen original. Esto genera errores en las mediciones o propiedades de los elementos de interés de la imagen [2].

## 2. LINEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

En el Laboratorio de Control Automático del Instituto de Investigaciones Mineras (Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan) se realiza investigación y desarrollo respecto a la automatización de procesos de molienda de minerales hace casi dos décadas. Hace algunos años se viene desarrollando el Área de Procesamiento de Imágenes.

Actualmente se está trabajando en la caracterización de arenas especiales (forma, color, tamaños, clasificación del tipo de material, etc.) mediante el procesamiento de imágenes para ser utilizadas en la extracción de petróleo mediante el método de Fraking.

Otra de las líneas de investigación y desarrollo del grupo de trabajo, está orientado al de optimización. Concretamente, se está trabajando en la optimización multiobjetivo, del tipo predictivo, para la explotación de minas.

## 3. RESULTADOS OBTENIDOS Y ESPERADOS

Para el procesamiento digital de las imágenes, se utiliza MATLAB. Este es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows y Apple Mac OS X. [4].

La ventaja de operar imágenes con Matlab, es que las mismas se cargan al entorno de trabajo en forma de matrices, y dado que este software está orientado a aplicar toda su potencialidad de cálculo a las matrices, es que resulta una herramienta potente para la manipulación y procesamiento matemático; además de poder trabajarse digitalmente las

imágenes a través del Toolbox de Procesamiento de imágenes con el que cuenta (por ej. aplicar filtros, mascarar, transformadas, etc.).

En la figura 2 se expone el algoritmo elaborado, el que permite segmentar las partículas de arena de manera adecuada, eliminando el problema antes descrito referido al amontonamiento (aglutinación) de granos de arena, como si estuvieran pegados unos a otros.

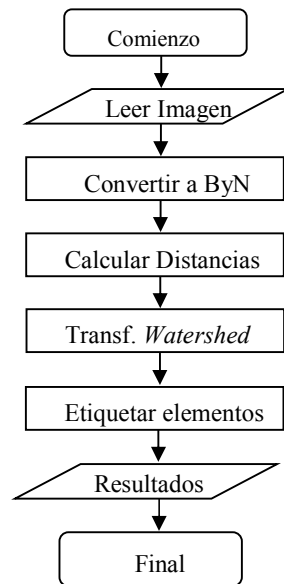


Figura 2. Algoritmo para segmentar imágenes de partículas de arena, eliminando problema de aglutinación.

Como primer paso del algoritmo, se carga en el espacio de trabajo de Matlab la imagen de interés a ser procesada. Se dispone de una función específica para ello, "imread()", la que permite que la imagen digital, almacenada en forma de un archivo en el disco de la PC, se cargue en memoria como una matriz, de  $N \times M \times R$ . Donde N hace referencia a la cantidad de filas, mientras que M a la cantidad de columnas y R al número de planos de color de la imagen, es decir a los planos de color R(rojo), G(verde) o B(azul) de una imagen de 24 bpp color [5].

Luego la imagen se convierte en binaria, o blanco y negro, para así poder aplicarle una transformada de distancia. Esto es a los fines de poder encontrar elementos que definirán

las regiones o vasijas para la posterior aplicación de Watershed [2] [3].

La transformada de distancia de una imagen binaria es la distancia de cada pixel al pixel más cercano distinto de cero [6]. Suele utilizarse en operaciones morfológicas tales como la erosión, dilatación y en la segmentación.

Se utiliza en forma conjunta con la transformada de Watershed para realizar la segmentación, para dividir formas convexas que se tocan entre si y poder considerarlas como elementos separados.

Para el cálculo de distancia, se pueden utilizar distintas métricas, haciendo uso de métodos tales como: Euclídea, City block, Chessboard y Cuasi-euclídea.

Para el caso del presente trabajo, se utiliza Watershed en conjunto con la transformada de distancia de los pixeles de la imagen. Se debe tener en cuenta que la utilización de esta técnica puede llegar a producir algún nivel de sobresegmentación en la imagen de resultado. Es decir, pueden aparecer una mayor cantidad de líneas divisorias que la cantidad de elementos a segmentar, subdividiéndose dichos elementos de interés, resultado esto en un efecto no deseado.

En la figura 3, se exponen una serie de imágenes, las que corresponden a un ejemplo concreto de aplicación del algoritmo elaborado. La primera de ellas, figura 3-A, se refiere a la imagen original (sin ningún procesamiento) de una muestra de partículas de arena, utilizada como entrada al algoritmo desarrollado. La figura 3-B, corresponde a la imagen convertida a binaria. Para el caso de la figura 3-C, se presenta el resultado de la transformada de distancia de la imagen binaria, para luego aplicarle la transformada de Watershed y así obtener la imagen expuesta en la figura 3-D.

La imagen correspondiente a la figura 3-D, es la de mayor interés como resultado obtenido. En ella se aprecian las partículas de arena segmentadas correctamente, aun para los casos en los que se hallan partículas que se tocan entre sí. Nótese que se hace referencia a una segmentación correcta o adecuada, desde el punto de vista que no se presentan casos en

que el algoritmo confunda dos partículas pegadas como si fuera una sola, o también algún otro defecto, tal como el de sobresegmentación.

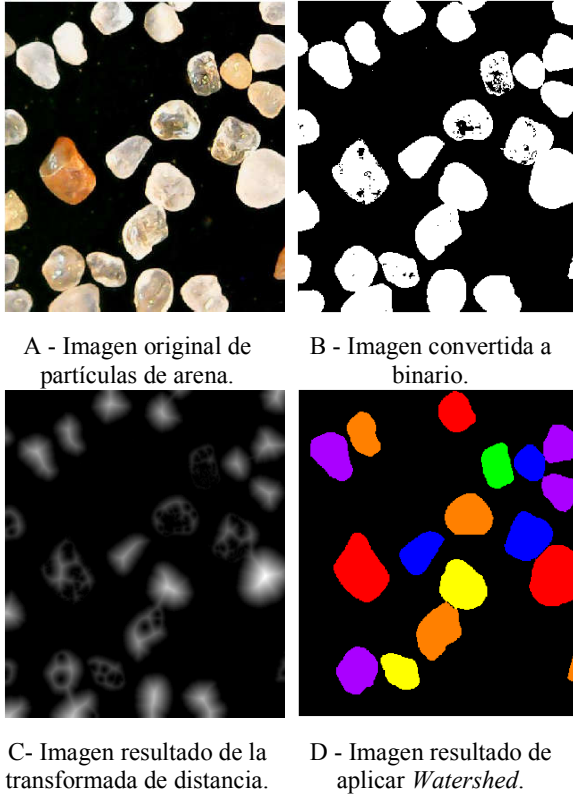


Figura 3. Resultados por etapas al aplicar el algoritmo de la figura 2.

Se aprecia la utilización de diferentes colores en las partículas de arena, esto es presentado así por el propio algoritmo elaborado, y es a los fines demostrativos de que el algoritmo las ha considerado como elementos diferentes, logrando así una segmentación adecuada. El algoritmo etiqueta cada uno de los elementos obtenidos (segmentados) para luego poder operar sobre ellos en forma independiente, y poder aplicar las métricas que correspondan. Se han llevado a cabo diversas pruebas del algoritmo elaborado, y para las imágenes de interés utilizadas se han podido obtener resultados muy satisfactorios. También se sabe que la sobresegmentación es un problema latente en este tipo de técnicas, y que se deben buscar otras alternativas para tratar de eliminarla o minimizarla, en el caso de que aparezcan.

A partir de estos resultados obtenidos, se pueden aplicar distintas técnicas y algoritmos para poder llevar a cabo las mediciones de redondez y esfericidad de las partículas de arena, como así también cualquier otra métrica que permita estimar la calidad de una determinada arena para Fracking.

#### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El grupo de investigación está conformado por Ingenieros Electrónicos, Electromecánicos, en Minas y Metalurgistas, con formación diversa en posgrado, tal como, Doctorado en sistemas de control, Maestría en informática, Especialización en gestión y vinculación tecnológica, etc.

Actualmente, una de las integrantes del equipo de trabajo, se encuentra desarrollando su Tesis de Doctorado en Ingeniería en procesamiento de minerales, siendo su director de Tesis también otro de los integrantes del grupo de investigación.

Además, como inicio en la carrera de investigador, tres de los actuales integrantes, comenzaron hace tres años participando de un proyecto PROJOVI (Proyecto de Jóvenes Investigadores), cuya finalidad es la de permitir que docentes, becarios, y alumnos de la Universidad, menores de 40 años, con o sin experiencia en investigación lleven a cabo dicha actividad. Esto ha permitido su inserción, desde el año 2018, en un equipo de trabajo de mayor tamaño y experiencia.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Rodriguez Medina, C. G.; Chuk, O. D.; Bertero R.; Luna, A.; Núñez, E.; Trigo, P. 2019. Visión artificial aplicada a la determinación de propiedades geométricas de arenas de fracturación para el análisis de calidad. Universidad Nacional de San Juan. Informe de Avance de Proyecto.
- [2] Gonzales, M. A. y Ballerín, V. L. 2008. Segmentación de imágenes utilizando la transformada de Watershed: obtención de marcadores mediante lógica difusa. IEEE

Latin American Transaction, Vol. 6, N° 2. p 223 - 228.

[3] La Serna P., N. y Garcia H., N. 2011. Implementación del algoritmo de Watershed para el análisis de imágenes médicas. Revista de Investigación de Sistemas e Informática. Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. RISI 8(2), p 67 - 74. ISSN 1816-3823.

[4] Mathworks. (1994-2018). "Image Processing Toolbox".

[https://es.mathworks.com/products/image.html?s\\_tid=srchtitle](https://es.mathworks.com/products/image.html?s_tid=srchtitle).

[5] Rodríguez Medina, C. G. y Navas, G. S. 2014. Aplicación del filtro de Canny en la esteganografía digital. XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación - WICC 2014 Ushuaia. RedUNCI. p 806 - 811. ISBN 978-950-34-1084-4.

[6] Fiter, E. L. 2012. Descripción, comparación y ejemplos de uso de las funciones de la toolbox de procesado digital de imágenes de MATLAB. Proyecto fin de carrera. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid.