

# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS**



## **ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS MORFOLÓGICOS EN ROCAS SEDIMENTARIAS USANDO FOURIER ELÍPTICO Y REDES NEURONALES**

**Erik Mejía Hernández**

Tesis de Maestría

presentada a la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica  
de acuerdo a los requerimientos de la Universidad para obtener el título de

## **MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Directores de tesis:

Dr. José de Jesús Villa Hernández y Dr. Gamaliel Chávez Moreno

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Zacatecas, Zac., Algun dia de 2020

# Contenido General

	Pag.
<b>Lista de Figuras</b> . . . . .	ii
<b>1 Introducción</b> . . . . .	1
1.1 Antecedentes . . . . .	1
1.2 Planteamiento del problema de investigación . . . . .	4
1.3 Justificación del problema de investigación . . . . .	4
1.4 Preguntas de Investigación . . . . .	4
1.5 Objetivo General . . . . .	5
1.6 Objetivos Específicos . . . . .	5
1.7 Hipótesis . . . . .	5
1.8 Estructura de la tesis . . . . .	5
<b>2 Marco Teórico</b> . . . . .	7
2.1 La importancia del estudio de rocas sedimentarias . . . . .	7
2.2 Morfología de rocas sedimentarias . . . . .	8
2.3 Forma, redondez y rugosidad . . . . .	8
2.4 Métodos para obtener la forma . . . . .	8
2.5 Métodos para obtener la redondez . . . . .	9
2.6 Modelo o esquema general de investigación . . . . .	9
<b>3 Modelo y propuesta de Investigación</b> . . . . .	10
3.1 Modelo de Investigación . . . . .	10
3.2 Fourier elíptico . . . . .	11
3.3 Algoritmo para estimar la redondez . . . . .	14
3.4 Redes neuronales . . . . .	14

## Lista de Figuras

1.1	Forma, redondez y textura superficial propuestas por Barrett (1980). . . . .	3
3.1	Modelo de Investigación . . . . .	11
3.2	Exposición del resultado del método de círculos circunscritos. . . . .	12
3.3	Imagen blanco y negro de una roca sedimentaria elongada. . . . .	13

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Antecedentes

Nuestro planeta está conformado por la hidrosfera, atmosfera, biosfera y tierra sólida. El componente principal de la tierra sólida son las rocas (Tarbuck, 2005). Las rocas son agregados naturales de uno o más minerales. Estas pueden clasificarse por su origen y proceso en tres clases: ígneas, metamórficas y sedimentarias (Jürgen, 2015). Las rocas ígneas son las que se forman a partir del enfriamiento de minerales fundidos (magma) entre la corteza terrestre y el manto superior. Las rocas ígneas algunas veces pueden alcanzar la parte superior de la corteza terrestre por medio de volcanes o por el ascenso de capas de la corteza. En la corteza existe un proceso llamado meteorización que consiste en la fragmentación de rocas por alteraciones físicas y químicas (como la gravedad, erosión, materia orgánica). Estas rocas se transportan generalmente por gravedad y se depositan en las zonas más bajas de la corteza terrestres (la mayoría en los océanos). Estos sedimentos son nuevas rocas y se les conocen como rocas sedimentarias. Las rocas metamórficas se generan a partir de rocas ígneas, sedimentarias o mismas rocas metamórficas. Como su nombre lo indica estas rocas se generan por el cambio (metamorfosis) de una roca madre, este cambio es generado por altas presiones y temperaturas, pero sin lleguen a fundirse (Tarbuck, 2005).

De estos tres tipos de rocas, las más importantes son las rocas sedimentarias por las siguientes razones: (1) representan el 80% de la corteza terrestre, (2) permiten conocer los procesos e historia de la tierra, (3) son de gran importancia en el sector económico porque de ellas

derivan el petróleo, gas natural, carbón, sal, azufre, potasio, yeso, caliza, fosfato, uranio y más minerales (Folk, 1980), (4) en algunos casos representan un riesgo para poblaciones como la asentadas en las cercanías de volcanes o grandes sedimentos, (5) en el estudio de suelo para la construcción (Rodríguez, et. al., 2014).

Las rocas sedimentarias se estudian por su composición física, química y mineralógica. El estudio físico se conforma por tres parámetros; tamaño, morfología y orientación. El conocer estos parámetros nos permite deducir el origen, los diversos procesos transporte, el entorno reológico y climático y su deposición. Para medición de tamaño y la orientación existen diversas técnicas muy bien establecidas y muy precisas (Tucker, 2009). Por otro lado la morfología es un concepto reciente, en comparación a los otros y aún se encuentra en desarrollo y búsqueda de conceptos universales (Diepenbroek, 1992).

La morfología describe la forma (shape) de objetos o partículas mediante mediciones de su contorno. La morfología no sólo es importante en el estudio de rocas sedimentarios sino que se extiende a otros campos científicos y productivos como la nanomedicina, agricultura, biología, neurociencias, arte visual, entre otros (Fontoura and Marcondes, 2009, Samar, et. al., 2011, Randall, et. al., 2014). ha sido y es una rama muy importante de nuestra vida, ya que ella se ha encargado de entender y estudiar la razón del porque tienen cierto aspecto externo todos y cada uno de los objetos o seres vivos. La morfología de rocas sedimentarias se describe por tres parámetros: forma general (form), redondez (roundness) y textura superficial (roughness), los cuales se relacionan a procesos geológicos. Estos tres parámetros son jerárquicos y de escalas diferentes, por lo que uno no afecta al otro. La forma es la característica de mayor jerarquía que está relacionada con los aspectos más generales. La forma se calcula mediante relaciones axiales adimensionales o relaciones de circularidad. La redondez es una característica intermedia superpuesta a la forma. El grado de redondez o angularidad está relacionado con las curvas y las esquinas principales del contorno. La rugosidad o textura se refiere a irregularidades más finas superpuestas en la redondez y la forma (Barrett, 1980; Blott y Pye, 2008; Powers, 1953). Estas propiedades se muestran en la Figura 1.1.

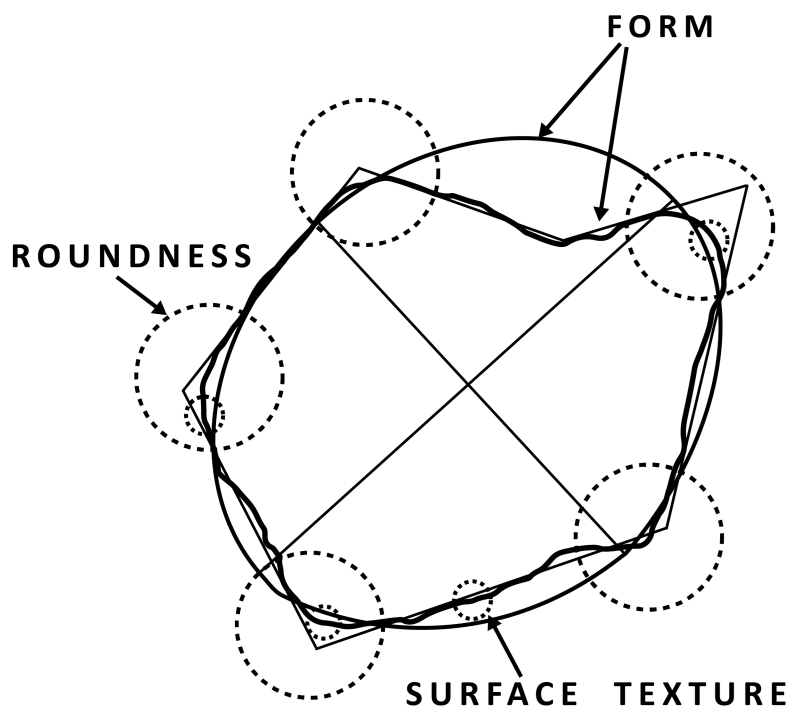


Figura 1.1 Forma, redondez y textura superficial propuestas por Barrett (1980).

Existen diversas expresiones para medir forma, una de las más usadas en el campo geológico es la propuesta por Wadell (1935), la cual se obtiene de la relación entre el radio del círculo cuya área es igual a la de la partícula y el radio del círculo más pequeño que inscribe a la partícula (Wadell, 1935). Existen tres enfoques para medir la redondez; los basados en curvatura, los que emplean Fourier y los relacionados con Fractales. El método basado en curvatura es simple y preciso, sin embargo es un método que depende de la escala. Los métodos basados en Fourier son muy populares sin embargo analizar el espectro es complicado y de un alto costo computacional. El uso de fractales para describir la forma se ha vuelto popular sin embargo tiene problemas para identificar algunos tipos de redondez y son muy sensibles al suavizado de contornos.

En la presente tesis nos planteamos usar redes neuronales para estimar la forma y redondez de rocas sedimentarias. La variable de entrada a la red neuronal es el PCA del espectro de Fourier elíptico. Se eligió esta variable por ser invariante a la escala, la rotación y traslación. Como objetivo para la forma se empleó la circularidad propuesta por Wadell (1935) descrita

anteriormente. Para la redondez, se eligió como objetivo el grado de angulosidad calculado con el método propuesto por Wadell (1933), el cual define el grado de redondez como la relación entre el radio de curvatura promedio de las esquinas de una partícula y el radio del círculo circunscrito más grande posible. La red neuronal utilizada tiene la siguiente arquitectura: red neuronal de 6 capas, la capa de entrada con 50 neuronas y función de activación ReLU, 4 capas ocultas con 50 neuronas cada una, con función de activación ReLU. La capa de salida con una sola neurona con función de activación lineal. La base de datos para entrenar la red neuronal se compone de 1000 imágenes de rocas reales de diversos fenómenos geológicos. La red neuronal tiene un error de mínimos cuadrados de  $7.1708e-04$  con los datos de entrenamiento. El resultado fue comparado con clasificaciones visual realizadas por Pettijohn y Krumbein. La red neuronal nos permite tener la redondez y la circularidad en tiempo 2800 veces más rápido que el método de Wadell (1935), además de ser invariante a la escala, rotación y traslación.

## **1.2 Planteamiento del problema de investigación**

Los métodos para medir la forma general y redondez no son invariantes a la escala, rotación y traslación. Los métodos basados en Fourier y fractales son invariantes a estas 3 transformaciones, pero el tratamiento de su resultado es complejo. Por lo que no existe un método invariante y fácil de ajustar.

## **1.3 Justificación del problema de investigación**

El análisis morfológico de las rocas sedimentarias es importante en geología para la reconstrucción histórica de nuestro planeta. También es importante en sectores económicos y de prevención de riesgo. Por lo que es necesario tener un método el cual sea invariante a la escala, rotación y traslación, así como preciso, fácil y rápido de usar.

## **1.4 Preguntas de Investigación**

- ¿Cuál será el desempeño del modelo basado en red neuronales en comparación con el algoritmo de (Hryciw, 2016) que usa el método de (Wadell, 1933)?

- ¿Cuáles son los mejores rangos de armónicos para predecir la redondez y la circularidad utilizando un modelo basado en redes neuronales?

## 1.5 Objetivo General

Obtener un modelo basado en redes neuronales para clasificar la Forma general (Wadell, 1935) y redondez (Wadell, 1933) de las rocas sedimentarias, utilizando el espectro de Fourier elíptico como entrada. Con el fin de tener una herramienta precisa, fácil y rápida que pueda ser usada para fines geológicos.

## 1.6 Objetivos Específicos

1. Estudiar y aplicar la circularidad propuesto por Wadell (1935).
2. Estudiar y aplicar la redondez propuesto por Wadell (1933) utilizando el algoritmo de círculos circunscritos de Hryciw (2016).
3. Estudiar y aplicar el método de Fourier Elíptico propuesto por Giardina (1981).
4. Entrenar la red neuronal con el PCA de los armónicos de Fourier Elíptico (Giardina, 1981), usando la redondez y circularidad a la que pertenecen como salida.
5. Contrastar los resultados de la red neuronal con los que se obtienen utilizando los objetivos específicos 1 y 2.

## 1.7 Hipótesis

La red neuronal mide la redondez con mayor velocidad y precisión que el algoritmo de Hryciw (2016).

## 1.8 Estructura de la tesis

La estructura de esta tesis va a estar distribuida en 5 capítulos, los cuales son:



- Introducción: Se explica el contenido a grandes rasgos de este trabajo.
- Marco teórico: Se exponen las teorías base del trabajo, como a su vez la comparación de los trabajos relacionados contra el planteamiento en este.
- Método y propuesta de investigación: Se explican a fondo los métodos que se usaron durante el trabajo.
- Resultados y limitaciones: Se desarrollan los casos de prueba que se usaron para la experimentación y se exponen las limitaciones que se tienen.
- Conclusiones: Se habla si la hipótesis fue cumplida, y si los objetivos propuestos para este trabajo fueron alcanzados o no.

## Capítulo 2

# Marco Teórico

### 2.1 La importancia del estudio de rocas sedimentarias

La geología ha estudiado que la generación de estas rocas sedimentarias se forma a partir de la acumulación de materiales ya sean minerales, restos vegetales o restos animales, estas rocas al verse afectadas por los desastres naturales, cambian su esfericidad y redondez de una manera específica dependiendo del evento que se suscitó. Debido a lo dependiente que suele ser la clasificación de estas rocas, por el hecho de que la persona tiene que ser muy experimentada para poder hacerlo sin errores, hace que se vuelva complicada su clasificación, tratando de buscar alternativas para poder hacerlo.

El machine learning encuentra una gran oportunidad dentro de este ámbito para poder ayudar a clasificar, ya que la capacidad de aprendizaje en base a los ejemplos que tienen las técnicas es muy buena, como es el caso de las redes neuronales, como es una simulación del funcionamiento del cerebro humano, resulta útil su capacidad de aprendizaje y el poderse manipular y configurarse según se va requiriendo, y no nada más son capaces de clasificar, si no también de predecir.

(SHANE, 1969) habla de que, al momento de llevar una imagen de una roca sedimentaria al espacio de frecuencia de Fourier, se puede observar que los primeros armónicos de dicha sumatoria infinita se encuentra la información con la cual se puede definir la esfericidad, ya que son los cambios más grandes y lentos, por lo que después de estos armónicos deben de componer la información de la redondez, porque son cambios mucho más precisos, para así

poder obtener los datos de las 2 características que se desean predecir totalmente separada una de la otra.

## **2.2 Morfología de rocas sedimentarias**

## **2.3 Forma, redondez y rugosidad**

(Pascual, 2019) habla de los estudios que se han realizado recientemente en la clasificación de imágenes (everyday objects) y que realiza un mejor trabajo las CNN que otros algoritmos, además, con una CNN de 5 capas, consiguió una precisión del 89.43 % en imágenes de rocas que se encuentran en la escena natural o en el ambiente.

(Guo, 2017) obtiene una precisión del 98.5 % en la clasificación de la granularidad de imágenes de secciones delgadas (thin sections) de rocas en los espacios de color HSV, YCbCr o RGB como entrada, con una CNN de 6 capas.

(LIU Ye, 2014) obtiene una precisión del 95% en la clasificación del tipo de roca con imágenes de secciones delgadas (thin sections) en espacios de color RGB, HSV, YIQ y YCbCr como entrada, con una red neuronal artificial (ANN).

## **2.4 Métodos para obtener la forma**

(Pascual, 2019) demuestra que las CNN se desempeña mejor que las máquinas de soporte vectorial (SVM) en clasificar imágenes limpias y uniformes de rocas, además que poseen una potencial alto en clasificar rocas en su ambiente.

(Guo, 2017) demuestra que se clasifica con gran confianza en los espacios de color HSV, YCbCr y RGB, pero, sus resultados siguen estando sesgados debido a que solo se usaron imágenes single polarized.

(LIU Ye, 2014) muestra una forma de clasificar los tipos de rocas, pero el número de imágenes para entrenar la red neuronal no es el adecuado.

## **2.5 Métodos para obtener la redondez**

Las redes neuronales convolucionales (CNN) necesitan una entrada  $N \times M \times S$  (la  $S$  puede variar debido a si la imagen está en escala de grises o en algún espacio de color) debido a la naturaleza de la convolución y dependiendo de la cantidad de capas ocultas que se tengan, serían muchísimas más operaciones que una red neuronal profunda, por lo que se propone reducir esa cantidad de entrada a  $4 \times N$ , con lo que se reduciría mucho la información que se entrega de la imagen a la red, donde la  $N$  será el número de armónicos, y el 4 son los coeficientes que son obtenidos mediante Fourier Elíptico (GIARDINA, 1981), como estamos tratando una señal bidimensional, el método entregará 2 coeficientes por cada grado de dimensionalidad.

## **2.6 Modelo o esquema general de investigación**

Este trabajo tiene un enfoque de investigación de tipo Aplicada, debido a que busca la manera de poder crear un modelo de redes neuronales junto con los armónicos de Fourier como entrada de imágenes de rocas sedimentarias, y que a su vez, este modelo sea mejor que los trabajos que ya existen relacionados a la clasificación de la esfericidad y redondez de las rocas sedimentarias .

## Capítulo 3

# Modelo y propuesta de Investigación

### 3.1 Modelo de Investigación

El trabajo de investigación está dividido en 6 etapas de las cuales se van a describir a continuación:

- La primera etapa consiste en conseguir 1500 imágenes de todas las clases de esfericidad y redondez para poder entrenar de manera equitativa la red, y después probar con las imágenes de (Krumbein, 1941) y verificar los resultados.
- La segunda etapa se obtiene el valor de redondez y esfericidad de cada una de las imágenes de entrenamiento con los métodos propuestos.
- La tercera etapa se saca el valor de las constantes de los primeros 40 armónicos de la serie de Fourier elíptico de cada una de las imágenes de entrenamiento, aparte, relacionar estos armónicos con su valor de esfericidad y redondez.
- La cuarta etapa consiste entrenar las 2 redes neuronales, la que va a clasificar la esfericidad, y la que va a clasificar la redondez, con los valores de entrada que será los armónicos de Fourier elíptico y su respectiva salida.
- Una vez entrenada cada red, obtener los armónicos de Fourier elíptico de las imágenes de prueba.
- La última etapa es clasificar las imágenes de prueba y observar los resultados.

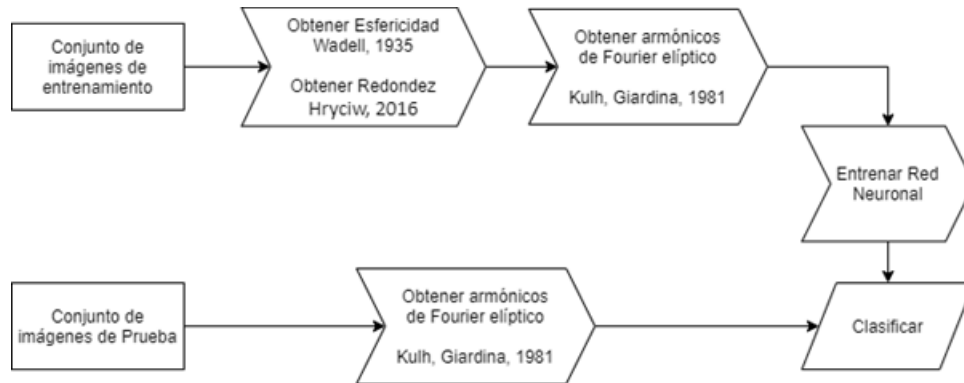


Figura 3.1 Modelo de Investigación

## 3.2 Fourier elíptico

El método de los círculos circunscritos para medir la redondez de una imagen (Hryciw, 2016) es para encontrar el círculo que mejor se ajusta en cada parte del contorno, con ciertas restricciones para ser tomado en cuenta o no, y al final poder relacionar todos esos círculos con el círculo circunscrito mayor de la figura, y poder obtener el valor de redondez que posee (Figura 1). (Se seleccionó a partir del grado de curvatura).

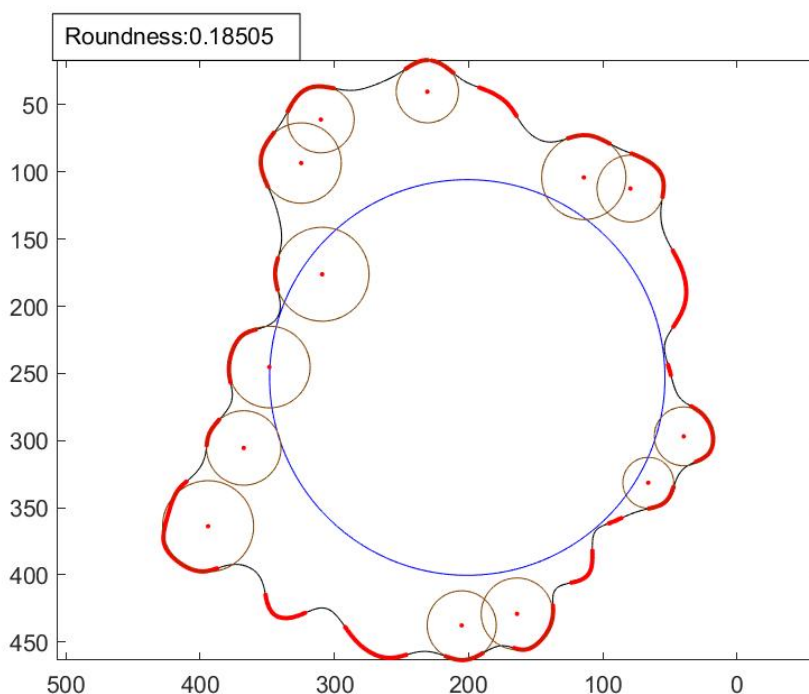


Figura 3.2 Exposición del resultado del método de círculos circunscritos.

Se decidió usar por encima de otros porque es el uso del método propuesto por (Krumbein, 1941) para medir la redondez pero llevado de forma digital, además de ser un método muy bien aceptado en el ambiente de la geología.

Fourier elíptico (GIARDINA, 1981) es un método en el cual se descompone la señal de una imagen en una sumatoria infinita de términos, donde cada término es una elipse con sus características específicas, independientes de las demás, haciendo más fácil la tarea de analizar dicha información por separado, y presuntamente encontrar patrones que difícilmente o con más trabajo se podrían encontrar analizando la imagen completa.

La decisión de usar Fourier elíptico por encima de Fourier es el hecho de que no puede describir la esfericidad de una figura elongada (Figura 1) con tan pocos armónicos, por el hecho de usar una sumatoria infinita de círculos (Por estar trabajando en 2 dimensiones), en cambio Fourier elíptico solo le bastarían unos cuantos armónicos para hacerlo, como su nombre lo dice, usa elipses para aproximar la figura, por lo que resulta en una reducción de información para describir absolutamente lo mismo, además de ser invariante a la escala y rotación, este hecho

nos permite no preocuparnos que los valores resultantes cambien debido a que las imágenes están escaladas, o, giradas.



Figura 3.3 Imagen blanco y negro de una roca sedimentaria elongada.

La decisión de usar las redes neuronales (NN) como la forma para poder clasificar nuestros datos fue por el hecho de la capacidad que tienen para aprender solas con los ejemplos que se le dan, pueden usarse para clasificar múltiples clases, y la versatilidad que tienen para configurarse de manera interna, éstas fueron las razones por las que se usaron NN, pero al final se podría cuestionar el hecho de usar NN en vez de las redes neuronales convolucionales (CNN), ya que estamos trabajando en el dominio de las imágenes y las CNN son excelente para ello, bueno, el hecho de usarlas requiere que el parámetro de entrada sea totalmente toda la imagen resultando en que absolutamente cada una tenga que tener el mismo tamaño, por lo que se optó en buscar una forma en la cual se pueda sustituir esa entrada y ahí es cuando entra Fourier elíptico, como se mencionó en el párrafo anterior, básicamente se va a entregar la misma información de la imagen pero de una manera distinta y con menos parámetros de entrada.



### **3.3 Algoritmo para estimar la redondez**

### **3.4 Redes neuronales**