

Metodología para el Tratamiento de Datos Estructurales para la Definición de Modelos Hidrogeológicos Conceptuales en Medios Fracturados

C. Flórez*, M.I Ramírez & G. Monsalve

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.

* *Email de correspondencia: cflorezc@unal.edu.co*

RESUMEN: Debido a la actual importancia que han adquirido los medios fracturados en la hidrogeología, aplicados principalmente a la minería y la geotecnia, ha sido de gran necesidad la definición de una metodología para la adquisición y análisis de datos estructurales de los macizos rocosos. El procesamiento de la información estructural permite conocer el comportamiento de las distintas unidades hidrogeológicas que componen el modelo hidrogeológico conceptual, para lo cual es necesario conformar una base de datos que contenga toda la información recopilada en campo, lo que facilita la realización de los posteriores análisis. La metodología planteada incluye tres actividades básicas que son: el análisis de rumbo de drenajes, la construcción del diagrama polar y la construcción del diagrama polar de densidad de fracturamiento y la construcción del diagrama polar de peso hidráulico.

PALABRAS CLAVE: Medios fracturados, información estructural, densidad de fracturamiento.

ABSTRACT: Because of the current importance acquired by fractured media in hydrogeology, applied mainly to the mining and geotechnical engineering, has been of great need to define a methodology for data acquisition and analysis of structural rock masses. The structural information processing allows to know the behavior of different hydrogeological units that make up the conceptual hydrogeological model, which is necessary to form a database which contains all information collected in the field, for provide the realization of further analysis. The proposed methodology includes three basic activities, they are: the analysis of direction of drainage, construction of the polar diagram, the polar diagram of fracturing density and the construction of the hydraulic weight polar diagram.

KEYWORDS: Fractured media, structural information, fracturing density.

1 INTRODUCCIÓN

Un modelo hidrogeológico conceptual representa la disposición, estado y relación de las unidades hidrogeológicas en el área, también llamadas unidades hidroestratigráficas. Según Poehls y Smith (2009), las unidades hidroestratigráficas son una o más unidades geológicas con una amplia extensión lateral que presentan parámetros hidrológicos similares como la conductividad hidráulica, por lo tanto una unidad hidrogeológica puede estar contenida o contener unidades geológicas.

Los modelos hidrogeológicos que se han venido trabajando, la gran mayoría se ha planteado en medios porosos, ya que son medios con un manejo más sencillo que el medio fracturado; el medio fracturado presenta se caracteriza por tener fracturas las cua-

les se pueden interconectar entre sí, y que a su vez éstas pueden permitir o no el flujo de agua a través de ellas.

Los medios fracturados a diferencia de los medios porosos, tienen propiedades las cuales se pueden cuantificar con trabajos de campo, el cual permite conocer desde medidas de la superficie el comportamiento de éste a profundidad (Signal and Gupta, 2010).

En este trabajo se plantea una metodología la cual recopila conceptos planteados por diferentes autores, y que, además presenta al hidrogeólogo una herramienta la cual le permitirá conocer mejor el comportamiento del agua, dándole al modelo hidrogeológico conceptual un plus con respecto a otros modelos hidrogeológicos conceptuales.

2 MARCO TEÓRICO

Las investigaciones del flujo en medios fracturados se enfocan sobre el plano de la fractura, considerando que, el flujo ocurre a través de láminas paralelas, donde las variables que controlan este flujo son: la abertura de la fractura, la rugosidad de las paredes de la fractura, la continuidad de las mismas, la interconexión y la densidad de fracturamiento; los anteriores parámetros permiten estudiar el flujo en escalas mayores. (Gómez, 2000; Scesi and Gattioni, 2009). Se tiene además que la conductividad hidráulica se encuentra ligada a estas propiedades del medio las cuales confieren a los macizos una permeabilidad por encima de cuatro ordenes de magnitud comparado con el de la matriz (Signal and Gupta, 2010).

Las fracturas dentro del macizo rocoso ocurren en superficie y se extienden hasta unas decenas de metros en profundidad las cuales posteriormente tienden a cerrarse, debido al confinamiento que sufre la roca (Frezza and Cherry, 1979).

La realización de un diagrama polar es la base para obtener los diagramas de frecuencia estadística regional (densidad de fracturamiento), lo cual nos da información acerca de las familias de diaclasa que más sobresalen dentro de la zona de estudio, además, es de gran utilidad para sacar conclusiones geológicas directas y realizar cálculos mecánicos e hidráulicos (Chica, 1979). Los diagramas de peso hidráulico planteados por Louis (1974), ayudan a identificar la familia de diaclasas que conducen más agua dentro del macizo rocoso.

3 METODOLOGÍA

La metodología consiste en la recolección de datos estructurales en campo, alrededor de unos 300 datos, sobre cada unidad geológica a analizar.

Los datos estructurales que se deben tomar son: ubicación, rumbo, buzamiento, persistencia, abertura, rugosidad relativa, relleno de la fractura, estado de la roca, densidad de fracturamiento, abertura libre, grado de meteorización de cada familia de fracturas, el número de familias presentes en el macizo, y determinar para cada una de estas familias la presencia de agua., para lo cual se diseña previa la etapa de campo un formato que permita la recolección de los datos anteriormente citados. Un completo modelo de formato fue propuesto por Chica (1979).

La información que se recolecte se debe ordenar y almacenar en una base de datos, que se organiza de acuerdo a cada estación y cada una de las entra-

das se refiere a un dato recolectado durante la fase de campo.

Después de la recolección de datos se procede a realizar el análisis, a través de los siguientes procedimientos:

3.1. Diagramas de rosas.

Los diagramas de rosas fueron desarrollados por Hubbert (1931) y se definen como histogramas de forma redonda, en el cual se representan estructuras tabulares o planos tectónicos (diques, vetas, diaclasas o fallas), en el que solo se tiene en cuenta el rumbo de la estructura, sin tener en cuenta su buzamiento o inclinación.

Para la construcción de estos se toman los rumbos de cada familia de diaclasa por tipo de roca a los que se le realizan los siguientes pasos:

1. Se transforman los datos de rumbos de familias de diaclasas y fallas en nomenclatura azimutal.
2. Se definen rangos de 10° que cubran todos los 360° .
3. Se realiza un conteo de datos estructurales que se encuentren dentro de los rangos.
4. Se asigna el valor de 100% al mayor de los conteos.
5. Se calcula para los demás conteos el porcentaje con respecto al conteo mayor.
6. Se esquematiza en el diagrama equiareal los diferentes porcentajes obtenidos para cada rango.

De este diagrama se puede concluir cual es el rumbo de las familias de diaclasas que más predomina dentro del macizo rocoso (Groshong, 2008).

3.2 Análisis de los rumbos de drenajes.

El análisis de rumbo de drenajes es una interpretación a través de la red estereográfica, en la que se analiza el comportamiento regional de las estructuras, y da una noción sobre la orientación de los esfuerzos regionales que actuaron sobre dicha región. Para la realización de este análisis se debe seguir los siguientes pasos:

1. Se toma la red de drenaje de la zona de estudio.
2. Se segmenta la red de drenaje, en tramos rectos los cuales sean representativos de la escala.
3. A cada segmento recto, determinarle su longitud y su rumbo.
4. Se agrupan y consolidan los datos anteriores en una base de datos, sumando las longitudes de los segmentos.

5. Se realiza un análisis similar al realizado para los diagramas de rosas.
6. Este análisis resultante se compara con el diagrama de rosas de familias de diaclasas y fallas, con el fin de determinar la relación entre el patrón del fracturamiento del macizo rocoso y el patrón de drenaje del área de interés.

Los cauces y alineamientos de las corrientes de agua por lo general están controlados por las estructuras geológicas presentes (fallas y fracturas). Para poder conocer con certeza las tendencias generales en la orientación de estos cauces se le realizó un análisis estadístico a los datos de rumbo tomados en distintos tramos de las corrientes y las longitudes de persistencia de dichos tramos.

3.3 Análisis geoestadístico de las fracturas

El análisis geoestadístico de las fracturas permite obtener las familias de diaclasas que son representativas dentro de un área determinada, además, es posible también conocer con este análisis cuales familias son las más conductoras de agua; para llegar a estas conclusiones se debe primero generar un diagrama polar, que subsecuentemente llevará a la realización de un diagrama de densidad de fracturamiento y de peso hidráulico (Chica, 1979; Scesi and Gattioni, 2009). Esta metodología propone seguir los siguientes pasos:

1. Se grafica la representación polar de las diferentes estructuras muestreadas en la red polar equiareal de Lambert- Schmidt.
2. Se superpone una malla de conteo donde cada cuadrícula tiene una longitud igual la decima parte del radio de la red utilizada, y con una circunferencia de diámetro 0,1 veces el diámetro de la red, realizar un conteo de los polos presentes dentro de ella (Priest, 1985).
3. Se asignan los valores del conteo anterior a cada cuadrícula dentro de la circunferencia.
4. Se trazan isolíneas encerrando los valores de igual magnitud.
5. Se somborean las áreas, delimitadas por cada isolínea.
6. Se analiza el resultado dependiendo del tipo de análisis que se requiera, para el conteo de densidad de fracturamiento el valor asociado en cada polo corresponde a la cantidad de fracturas, por tanto las áreas con mayores valores serán las áreas con mayor densidad de fracturamiento.

Para el caso del peso hidráulico, se representa el polo de la fractura como un punto y además se le agrega el valor de peso hidráulico, el cual se calcula utilizando la siguiente ecuación (Chica, 1979):

Donde, P.H: peso hidráulico, FR: Factor de rugosidad, C: Continuidad, Cm: Continuidad máxima, d: Densidad, al: Abertura libre, a: Abertura.

Se realiza el conteo de los valores de peso hidráulico obtenidos, de acuerdo al conteo de polos propuesto Priest (1985), de lo que se obtiene que los mayores valores, corresponden a la fracturas con mayor peso hidráulico, es decir las más conductoras.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para aplicar la metodología antes mencionada se escogió un caso de estudio, donde se recolectaron alrededor de 300 datos en las diferentes unidades geológicas. en un área aproximada de 60 km² la cual hace parte de la cuenca del río Bermellón en jurisdicción del municipio de Cajamarca en el departamento del Tolima a 10 km en dirección Este del casco urbano y a 37 km de la ciudad de Ibagué.. En la zona se reconocieron varias unidades litológicas, pero en este trabajo solo se presentará la unidad geológica predominante, la cual corresponde a los esquistos cuarzo sericíticos y esquistos clorítico actinolíticos del Complejo Cajamarca.

En el diagrama de rosas, Figura 1, se presenta la distribución de las diferentes familias de diaclasamiento presentes en las rocas, y allí se observa que hay una alta heterogeneidad en la dirección de los planos de diaclasamiento de esta unidad.

El análisis de rumbo de los drenajes se realizó sobre toda el área de estudio y los resultados que se obtuvieron se encuentran representados en el diagrama de rosas, figura 2.

De allí se puede concluir que la mayor tendencia de los drenajes se encuentra asociada a la dirección N-NE, y que además esta tendencia tiene cierta similitud con la tendencia de las estructuras geológicas (familias de diaclasas) de la cuenca.

En los diagramas de densidad de fracturamiento y peso hidráulico, figura 3, se puede observar que para los esquistos clorítico actinolíticos hay cuatro familias de diaclasas predominantes, estando la mayor ubicada en el cuadrante SE (Color negro y rojo), mientras que para los esquistos cuarzo sericíticos se tiene cinco familias de diaclasas, que tienen una tendencia dominante EW.

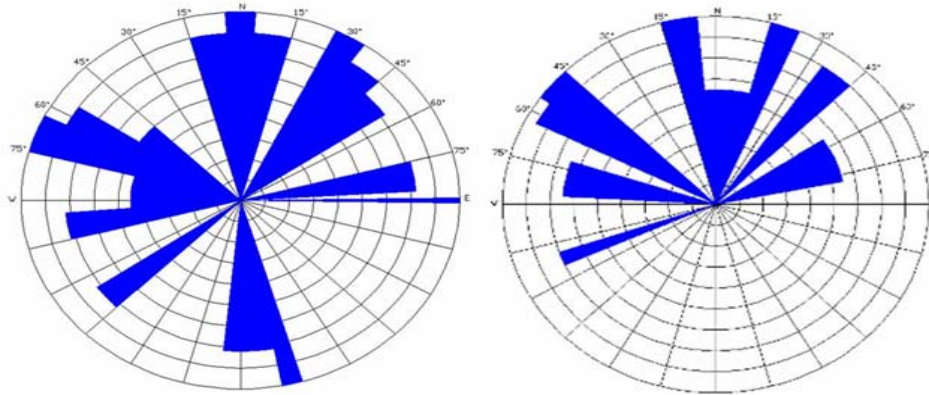


Figura 1. Diagrama de rosas para esquistos cuarzo sericítico (*izquierda*), esquistos clorítico actinolítico (*derecha*).

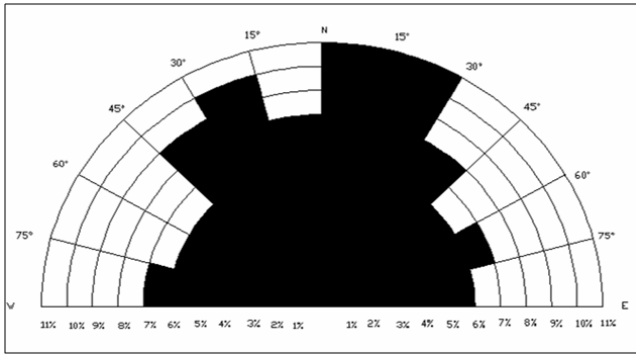


Figura 2. Representación en el diagrama de rosas de los rumbos de segmentos de los drenajes.

Por otro lado tenemos el diagrama de peso hidráulico para los esquistos clorítico actinolíticos en el cual se tiene la presencia de familias que son conductoras de agua en el cuadrante SW y otra de menor peso en el cuadrante SE (Color amarillo y verde), para los esquistos cuarzo sericíticos se encuentra una predominancia de familias de diaclasas a lo largo del eje EW, y con familias altamente conductoras en los extremos E y W del diagrama.

5 CONCLUSIONES

Es necesario generar una base de datos, organizada y georeferenciada en un SIG (Sistema de Información Geográfica) que facilite el análisis de datos.

La cantidad de datos tomados en campo, es directamente proporcional a la precisión de los diagramas equiareales y su relación con la realidad.

Existe un alta relación entre el patrón de fracturamiento de un macizo rocoso y el patrón de drenajes para el área de interés presentado en el caso de estudio.

El diagrama de peso hidráulico permitira conocer la disposición estructural de las familias conductoras de agua, mas no dará a conocer su ubicación espacial; conocer esta distribución facilitara un óptimo planeamiento de las áreas a intervenir.

La relación entre el diagrama de densidad de fracturamiento y de peso hidráulico no siempre indica que las familias con mayor densidad de fracturamiento son las familias mas conductoras.

Los diagramas de peso hidráulico son una valiosa herramienta para caracterizar las unidades que llegan a constituir un modelo hidrogeológico conceptual.

6 AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la empresa AngloGold Ashanti Colombia por su apoyo logístico durante las campañas de campo. Este trabajo se realiza en el marco del desarrollo del proyecto “Monitoreo Hidrogeológico del Proyecto de Exploración Minero La Colosa”.

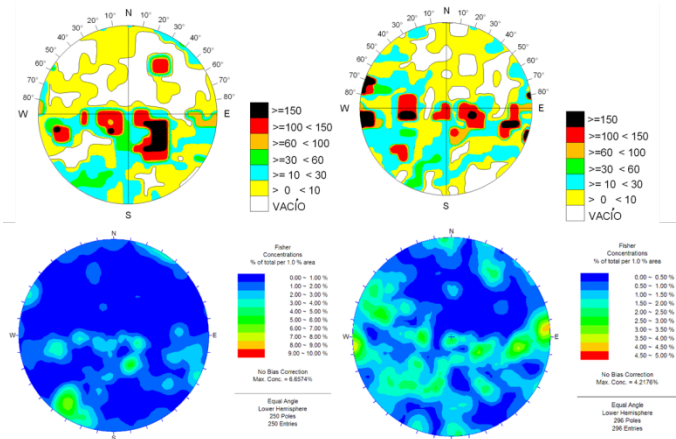


Figura 3. Diagramas equiareales de frecuencia geoestadística para la densidad de fracturamiento (*superior*) y peso hidráulico (*inferior*), *izquierda*. Esquistos clorítico actinolítico, *Derecha*. Esquistos cuarzo sericítico.

7 REFERENCIAS

- Chica, A. 1979. Aspectos mecánicos e hidráulicos de las rocas. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín Colombia.
- Freeze, R, Cherry, J. 1979. Groundwater. Prentice Hall. New Jersey. USA.
- Gomez, S. 2000. Transición de percolación en flujo en rocas y exponentes anómalos. Tesis de doctorado en aprovechamiento de recursos hídricos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Sede Medellín.
- Groshong, R.H. 2008. 3-D Structural Geology, A Practical Guide to Quantitative Surface and Subsurface Map Interpretation. Second edition, Springer.
- Hubbert, Mk, 1931. Graphic solution of strike and dip from two angular components. American Association Pet. Geological Bulletin. 15, 283:286.
- Louis, C. 1974. Introduction á l' hydraulique des roches. Bull. B. R. G. M. (2), III, 4-1 Francia.
- Poehls, D, Smith, G. 2009. Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology. Elsevier.
- Priest, S.D., 1985. Hemispherical Projection Methods in Rock Mechanics. George Allen & Unwin. London.
- Singhal, B., Gupta, R.P., 2010. Applied Hydrogeology of Fractured Rocks, Second Edition. Springer, 408 pp.