

## El termino Diaclasa y su aplicación adecuada a la valoración de macizos rocosos

Roque García Ruiz<sup>1</sup>  
roquegarcia1@gmail.com

<sup>1</sup>UCAB. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, DF, Venezuela.

Historia del Artículo

Recibido 10 de Mayo de 2018

Aceptado 27 de Julio de 2018

Disponible online: 27 de Julio de 2018

---

**Resumen:** En la literatura geotécnica se ha ido simplificando el importante parámetro de las diaclasas en el macizo rocoso a un número, el cual puede estar muy lejano de las condiciones reales del modelo geotécnico donde las obras se pueden encontrar sobre diseñadas pero dentro de factores de seguridad altos. El siguiente artículo constituye una selección de distintas partes del libro Geología Aplicada a la Ingeniería Civil (2014) publicado por la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), Caracas, Venezuela, relacionado con las diaclasas y la importancia del termino con la valoración de resistencia del macizo rocoso en el diseño de obras de ingeniería civil. La definición universal del término de diaclasa, "fracturas sin movimiento en las rocas", constituye un valor muy importante en la clasificación del macizo rocoso, consideradas como un parámetro primordial en la valoración de su resistencia, destacándose que las observaciones en afloramientos y excavaciones son representativos de un estado de esfuerzos, que difiere del comportamiento con el confinamiento.

Las diaclasas en estudios geotécnicos se asocian a una serie de términos como persistencia, frecuencia, abertura, rugosidad y relleno, cuyo uso aplicado en obras civiles requiere de un conocimiento adecuado de su origen o formación. Cada uno de los términos anteriores está relacionado en general con su formación, lo cual facilita el entendimiento de las propiedades mecánicas, que debe tenerse en cuenta, para su aplicación en obras de ingeniería. Es importante aclarar que en mecánica de roca es común el término de "persistencia" que se describe como la extensión longitudinal de una discontinuidad. Dicha extensión no solo define la longitud, sino una superficie que corresponde a un plano, cuyo "desarrollo" depende del estado de tensión en el macizo rocoso. Lo anterior no se considera en la valoración del macizo, tomándose las diaclasas como patrones constantes de acuerdo a mediciones en superficie o en frentes de excavaciones, siendo condiciones que responden a un estado de esfuerzo que difiere en un macizo confinado, donde los patrones de fracturas tendrán menor desarrollo y frecuencia, repercutiendo en el costo de los diseños y en factores de seguridad acorde con las condiciones geológicas reales.

**Palabras Claves:** Diaclasa, Persistencia, Desarrollo, Confinamiento, Valoración, Macizo Rocosos.

## The term Diaclasa and its approach adequate to the assessment of rocky masses

**Abstract:** In the geotechnical literature, the important parameter of diaclases in the rock mass has been simplified to a number, which may be very far from the real conditions of the geotechnical model where the projects can be found over designed with high safety factors. This article is a selection from different parts of the book Geology Applied to Civil Engineering (2014) published by the Andrés Bello Catholic University (UCAB), Caracas, Venezuela, related to the diaclases and the importance of the term in the assessment of resistance of the Rocky massif in the design of civil engineering works. The universal definition of the term of diaclase, "fractures without movement in the rocks", constitutes a very important value in the classification of the rock mass, considered as a paramount parameter in the evaluation of its resistance, highlighting that the

observations in outcrops and excavations are representative of a state of stresses, which differs from the behavior with confinement.

The diaclases in geotechnical studies are associated with a series of terms such as persistence, frequency, opening, roughness and filling, whose use applied to civil works, requires an adequate knowledge of their origin or formation. Each of the above terms is generally related to its formation, which facilitates the understanding of the mechanical properties, which must be taken into account, for its application in engineering projects. It is important to clarify that in rock mechanics the term "persistence" is common, and is described as the longitudinal extension of a discontinuity. This extension not only defines the length, but a surface that corresponds to a plane, whose "development" depends on the state of tension in the rock mass. The above mentioned statement is not considered in the valuation of the massif, taking the diaclases as constant patterns according to measurements on the surface, or in excavation fronts, being conditions that respond to a state of effort that differs in a confined massif, where the fracture patterns will have less development and frequency, having an impact on the cost of the designs and safety factors, according to the real geological conditions.

**Keywords:** Diaclases, Persistence, Development, Confinement, Valuation, Rock Mass.

## I. INTRODUCCIÓN

En la literatura geotécnica se ha ido simplificando el importante parámetro de las diaclasas en el procedimiento para valorar la calidad del macizo a través de un simple número, el cual puede estar muy lejano de las condiciones reales del modelo geotécnico, donde el diseño de las obras se puede encontrar con factores de seguridad altos, y por ende un incremento en los costos de las estructuras subterráneas y las obras a cielo abierto. El siguiente artículo constituye una selección de distintas partes del libro de R. García [1] "Geología Aplicada a la Ingeniería Civil" (2014) publicado por la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), Caracas, Venezuela. Se han seleccionado las figuras relacionadas con las diaclasas, indicándose el capítulo y la sección del texto, destacándose la importancia del término diaclasa con la valoración de resistencia del macizo rocoso en el diseño de obras de ingeniería civil. El término diaclasa, está definido en vocablos geológicos como "fracturas sin movimiento en las rocas", en todo caso no se observa un movimiento visible paralelo a las paredes. Billings J.G. [2]. Estas estructuras geológicas constituyen un valor muy importante en la clasificación del macizo rocoso, consideradas como un parámetro primordial en la estimación de su resistencia. Se destaca que las observaciones en afloramientos y excavaciones son representativas de un estado de esfuerzos, que difiere del comportamiento con el confinamiento.

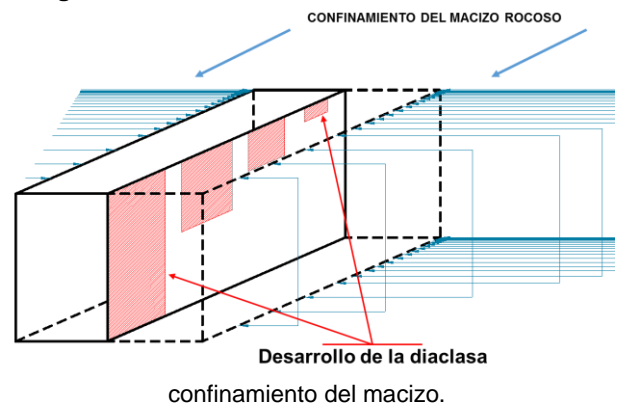
Las diaclasas en estudios geotécnicos se asocian a una serie de términos como persistencia, frecuencia, abertura, rugosidad y relleno, cuyo uso aplicado en obras civiles requiere de un conocimiento adecuado de su origen o formación. Cada uno de los términos anteriores está relacionado en general con su formación, lo cual facilita el entendimiento de las propiedades mecánicas, que debe tenerse en cuenta, para su aplicación en obras de ingeniería. Es importante aclarar que en mecánica de rocas es común el término de "persistencia" que se describe como la extensión longitudinal de una discontinuidad. En término persistencia no debe ser usado para los planos de estratificación o foliación, ya que constituyen características formacionales del origen de las rocas. La extensión de las diaclasas no solo está definida por la longitud, sino una superficie que corresponde a un

plano, cuyo "desarrollo" depende del estado de tensiones en el macizo rocoso. García E.-García R. [3].

En el libro de Geología Aplicada se indica que en condiciones iniciales de esfuerzo, un macizo rocoso desarrolla una serie de fisuras y/o microfisuras, las cuales por efectos posteriores, tectónicos y/o cambio en la carga geostática debido a fenómenos de erosión, se desarrollan a planos de mayor extensión. La abertura en dichos planos puede ser debida a efectos de esfuerzos de tensión en el macizo.

En la Figura 1, se esquematiza el proceso de desarrollo de un plano de diaclasa cuando disminuye el confinamiento, pasando de un micro-plano con un área muy pequeña a un desarrollo tanto vertical como horizontal del plano con una extensión mayor, que corresponde a la indicada en excavaciones o afloramientos, como características del macizo rocoso.

**Figura 1:** desarrollo de las diaclasas de acuerdo al



Las diaclasas se pueden desarrollar debido a los fenómenos de erosión con el tiempo geológico donde grandes espesores de la corteza terrestre han sido removidos, ya sean decenas, centenas o miles de metros, produciendo esfuerzos horizontales que pueden ser superiores a la presión vertical por columna de roca. Así mismo el efecto de meteorización constituye un cambio en las condiciones de confinamientos, donde en las rocas la alteración mineralógica cambia su peso unitario y disminuye su resistencia.

A grandes profundidades los efectos tectónicos, con cambios en la magnitud y dirección de esfuerzos,

originan ajustes en las tensiones del macizo rocoso, pudiendo desarrollar diaclasas abiertas, que en general suelen mineralizarse con el tiempo, o formar áreas de acumulación de agua e hidrocarburos.

## II. PERSISTENCIA (DESARROLLO DE LAS DIACLASAS)

El término persistencia se relaciona con el área del plano de diaclasas, siendo evidente que tendrán mayor desarrollo en rocas ígneas, de textura uniformes como el granito, así como en capas de rocas sedimentarias de espesor importante como las calizas. En rocas metamórficas los planos de foliación pueden estar fuertemente cementados, comportándose como una roca uniforme.

En rocas estratificadas y foliadas (respectivamente rocas sedimentarias y metamórficas), observaciones detalladas muestran que las diaclasas presentan patrones cuyo desarrollo se encuentra limitados a intervalos o capas de mayor resistencia, sin continuidad hacia intervalos de resistencia menor con mayor deformación a los esfuerzos.

Las rocas sedimentarias constituidas por capas de distintas durezas, areniscas y lutitas, los patrones de diaclasas se desarrollan en las capas competentes de areniscas, al igual que en rocas metamórficas donde se presentan intervalos de cuarcitas con filitas micáceas. Las lutitas y filitas micáceas poseen baja resistencia y alta deformación, donde los efectos tectónicos o carga vertical, origina fisuración en las capas duras de alta resistencia, en cambio en los intervalos de menor resistencia podrán ocurrir una deformación mayor sin fisuración. Con el tiempo cualquier variación de las condiciones de esfuerzo en el macizo, desarrollarán las diaclasas en las capas más resistentes, donde los intervalos blandos deben presentar un módulo de deformación muy bajo. En consecuencia en una secuencia de rocas sedimentarias la falta de continuidad de las diaclasas de una capa a otra, le infiere en dicha secuencia una resistencia al corte mayor que en el caso de considerar un plano teórico único de corte por continuidad de las diaclasas. García R. [4]

## III. FRECUENCIA

El término frecuencia se define como la cantidad de diaclasas en un ancho determinado. El ancho de medición puede variar de 1 a más de 3 m., indicándose como frecuencia de diaclasas de una en un metro (1:1), dos en un metro (2:1), una cada tres metros (1:3), etc. Es de esperar que en un macizo rocoso la frecuencia de fisuras sea inversamente proporcional al esfuerzo tectónico aplicado al volumen de masa rocosa de mayor resistencia. Como ejemplo, el esfuerzo tectónico aplicado a una masa granítica, las fisuras tendrán una amplia separación, equilibrando el esfuerzo con la deformación. En cambio el mismo esfuerzo aplicado a una secuencia de capas de areniscas con intercalaciones de lutitas, la mayor

resistencia a una fuerza tectónica estará sobre las areniscas ya que las lutitas tienen una deformación plástica muy alta, por lo cual la cantidad de fisura que equilibra la deformación producida por el esfuerzo, dependerá del espesor de la capa, debiendo ser muy densa en capas delgadas y más separada en capas gruesas. Fenómenos similares se manifiestan en rocas metamórficas donde alternan intervalos duros con intervalos blandos con bajo módulo de deformación, tendiendo a deformaciones plásticas sin la formación de fisuras.

En la Figura 2, la fotografía corresponde un talud de corte en el sector de Pampatar, Estado Nueva Esparta, Venezuela, donde se destaca una secuencia de areniscas de distinto espesores con intercalaciones de lutitas, en la cual se puede observar la variación de la frecuencia de diaclasas de acuerdo al espesor de capa de arenisca. En las lutitas intercaladas con las areniscas no se observa continuidad de las diaclasas que afectan al macizo, debido a su condición de menor resistencia.



**Figura 2:** secuencia de capas de areniscas y lutitas con distinto espesor. Capítulo 7. Sección 7.3. [1]

Similar condición se observa en la Figura 3, que corresponde a un talud de corte donde se muestra una secuencia de esquistos cuarzo micáceos, en la Autopista Valencia- Puerto Cabello, Venezuela. En forma detallada se pueden diferenciar intervalos gruesos de otros más delgados, estando enumerados en la foto los círculos 1, 2 y 3, destacándose que en 1, la foliación es muy delgada con numerosas diaclasas que le infiere un aspecto de zigzag. En el círculo 2, el intervalo de esquisto es grueso destacándose un zigzag más amplio definido por las diaclasas, con un sistema de fracturas ortogonales. En círculo 3, la roca corresponde a un intervalo grueso de cuarcita, con diaclasas más separadas y con mayor continuidad.

En las fotos que muestran las Figuras 2 y 3, se destacan dos sistemas de diaclasas, en general uno perpendicular al rumbo de la foliación y otro paralelo, formando entre ambos un ángulo de unos 90°. García R. [4].

En las rocas sedimentarias y metamórficas, la orientación de los planos de estratificación y foliación, responden a un esfuerzo tectónico, que en general debe de estar orientado perpendicular al rumbo, teniendo relación con la formación de las fisuras, las cuales posteriormente se convierten en patrones de diaclasas. Las fisuras se desarrollarán en patrones que responden a los esfuerzos a que se somete el macizo rocoso, donde fácilmente resultan mínimos dos (2) sistemas cuya orientación depende de la dirección de los esfuerzos, pudiendo presentar angularidad entre los 60° y 90°.

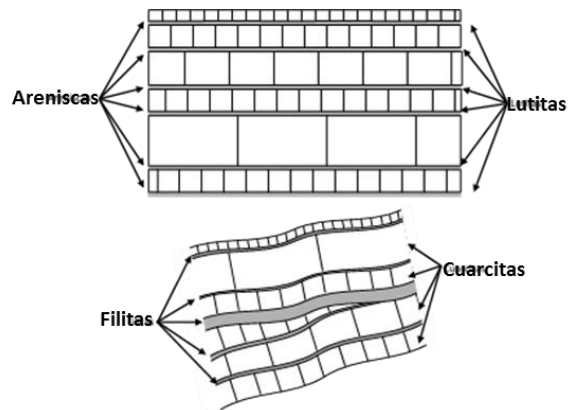
**Figura 3:** variación de la frecuencia de diaclasa de acuerdo



al espesor cementado de la foliación. Capítulo 7. Sección 7.3. [1].

En la Figura 4, se muestra en forma esquemática la frecuencia de diaclasas en secuencias de rocas sedimentarias, constituidas por alternancia de capas de areniscas y lutitas, así como secuencia de rocas metamórficas con intervalos de cuarcitas y filitas. En afloramientos donde se encuentran secuencias de intervalos duros y blandos, la resistencia del macizo a cualquier esfuerzo lo constituye principalmente los intervalos duros, donde fuerzas tectónicas deben actuar en forma distinta que en macizo uniforme, con resultados de fracturamiento distintos en dichos intervalos. Es importante destacar que debido a la estructura en capa o foliación pueden ocurrir fenómenos de desplazamiento en el contacto con

estratos de menor resistencia, desfasando los patrones de diaclasas.



**Figura 4:** Variación de la frecuencia de diaclasas de acuerdo al espesor de capa. Capítulo 7. Sección 7.3. [1].

En rocas graníticas, se pueden observar diaclasas sub-horizontales, fenómeno que se puede deber a efectos de erosión con el tiempo geológico, con pérdida de carga vertical, convirtiendo fisuras sub-horizontales a diaclasas poco desarrolladas. Después de una excavación en macizos de roca granítica fresca, el desarrollo de diaclasas horizontales se puede deber a la liberación de esfuerzo.



**Figura 5:** sistemas de fractura desarrollados en el frente excavación del canal de descarga de la presa Tocoma. Capítulo 8. Sección 8.2. [1].

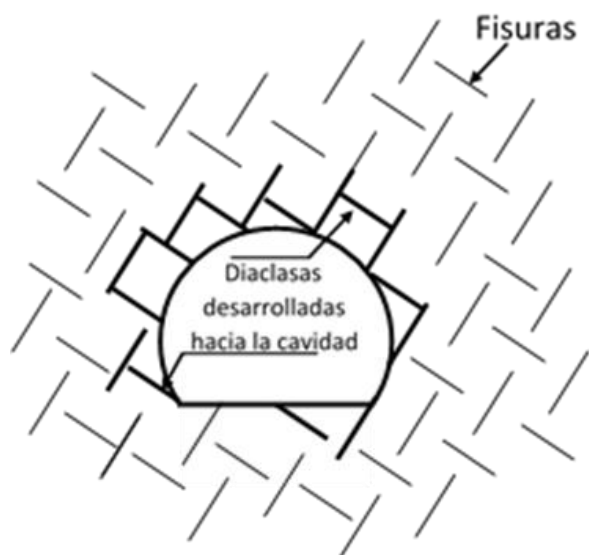
En la Figura 5, se muestra la fotografía de la pared en excavación del canal de descarga de la presas Tocoma (2012) Estado Bolívar, Venezuela, en un macizo de roca granítica fresca, con gran desarrollo de diaclasas sub-horizontales, cortadas por diaclasas verticales que se encuentran en general limitadas por las horizontales, siendo el resultado de la liberación del confinamiento del macizo rocoso por la excavación.

#### IV. ABERTURA

El término se define como la distancia perpendicular entre los planos de las diaclasas. La abertura de una fisura o diaclasa debe estar relacionada con un fenómeno de tensión, el cual es el producto de cambio en la aplicación de una fuerza, ya sea tectónica o no. Las tensiones en fisuras existentes originan su abertura, las cuales a grandes profundidades podrían rellenarse por mineralización. En caso de asociaciones

con rocas productoras de petróleo o gas, la permeabilidad generada por efecto de tensión en las rocas, en conjunto con la porosidad primaria, constituyen reservorios adecuados para hidrocarburos, cuya acumulación dependerá de la presencia de sellos litológicos. En caso de rocas estratificadas o foliadas con distintas resistencias, el efecto de carga vertical puede originar tensión en capas de módulo alto de deformación entre intervalos de menor módulo. Este efecto en macizos rocosos puede estar relacionado con cambios del estado tensional debido a procesos de erosión con el tiempo geológico. Lo anterior tiene relación con la acumulación de agua subterránea en fracturas debido a recarga superficial.

Hacia la superficie, un macizo está sometido en mayor o menor grado de los efectos de meteorización, lo cual desde el punto de vista práctico es solo un cambio de volumen debido a cambios mineralógicos en las rocas, donde disminuye su densidad ocurriendo un fenómeno de tensión, desarrollando sistemas de diaclasas con patrones muy densos, en general con alta permeabilidad, que disminuyen a profundidad a medida que los efectos de meteorización también disminuyen. Es común en la investigación del subsuelo con perforaciones que a medida que la meteorización disminuye con la profundidad, la permeabilidad del macizo es menor, así como la frecuencia de diaclasas, estando evidentemente relacionadas con permeabilidad. La meteorización actúa como un efecto de dilatación del macizo al igual que cualquier objeto metálico en contacto con el aire se oxida, dilatándose, ejerciendo importantes presiones hacia la superficie cuyo efecto solo se puede cuantificar a través del tiempo geológico.



**Figura 6:** Efectos del desarrollo y apertura de diaclasas debido a la excavación de un túnel. Capítulo 7. Sección 7.4. [1].

La excavación de un túnel tiene un efecto violento en el macizo rocoso, pues el estado de esfuerzos producto de un largo proceso geológico cambia bruscamente a un fenómeno de liberación de tensiones, permitiendo la dilatación del macizo rocoso hacia la abertura, véase Figura N°6. Esta liberación de energía y formación de diaclasa será más violento en

túneles profundos o con gran sobrecarga. Dependiendo principalmente de la expansión del macizo, se desarrollan rápidamente diaclasas abiertas, cuyos efectos se deben disipar a pocos metros del perímetro de excavación. En una roca maciza y de alta resistencia como un granito, el efecto alrededor del perímetro del túnel será muy local con la formación de pequeñas cuñas. En caso de rocas estratificadas y foliadas la deformación dependerá de la relación de los espesores de capas duras con el diámetro del túnel.

#### V. RUGOSIDAD

La rugosidad de los planos que delimitan las diaclasas puede ser definida como la irregularidad de la superficie al tacto. Donde se puede diferenciar en general entre lisa, ligeramente rugosa y muy rugosa, cuya superficie de corte será respectivamente baja, mediana y alta resistencia. Ejemplo de lo anterior, puede ser representado con dos láminas de papel lija, los cuales en contacto por su parte áspera presentan alta resistencia al desplazamiento, en cambio por contacto hacia su parte lisa, fácilmente las superficies pueden ser deslizadas.

Existe una amplia bibliografía sobre la medición de la rugosidad en el amplio término de las discontinuidades, incluyendo en la medición los planos de foliación y estratificación, lo cual debe ser claramente diferenciado por el especialista, ya que dichos planos constituyen las características de la formación de las rocas según su origen.

En las diaclasas se utilizan los términos de muy rugosa, ligeramente rugosa y lisas. En roca fresca la formación de fisuras a diaclasas, la rugosidad del plano estará controlada por la composición mineralógica de la roca. En presencia de minerales afaníticos, las diaclasas serán lisas, en cambio cuando la composición son minerales visibles, el plano será rugoso. El estado inicial de dichos planos puede variar con el tiempo por los efectos de meteorización, los cuales se encuentran más acentuados hacia la superficie, donde los procesos de alteración en los minerales disminuyen la resistencia original del plano.

#### VI. RELLENO

En un macizo rocoso sin efecto de meteorización, las diaclasas son fracturas limpias en las rocas, sin relleno. Los efectos de tensión debido a fenómenos tectónicos pueden originar separación en los planos que definen las diaclasas, los cuales pueden ser rellenos debido al paso de soluciones con procesos de mineralización. También se puede originar alteración por flujo subterráneo de las paredes, con relleno hacia la abertura de material procedente de las rocas.

En general el relleno más común en diaclasas está relacionado con el proceso de meteorización y el cambio de volumen del macizo con presencia de diaclasas abiertas, sumado a variación del flujo subterráneo, produciendo oxidación en las paredes, así como deposición de partículas de arcillas, los cuales disminuyen la resistencia al corte.

El flujo subterráneo en un macizo rocoso está relacionado principalmente con su permeabilidad

secundaria debido a la presencia de diaclasas abiertas, donde su relleno puede ocurrir por cambio en la composición de los minerales y/o sus soluciones.

VII. FRECUENCIAS Y EL ÁREA DE DIACLASAS

Las diaclasas se pueden considerar como planos que afectan o debilitan la resistencia en el macizo rocoso, cuya única fuerza resistente dependerá de la presión de confinamiento y a la fricción entre los planos que se generan debido al estado tensionar existente. A mayor número de diaclasas el macizo pierde resistencia, expresado en la literatura entre muy fracturado a sano, generalmente relacionado con la frecuencia de diaclasas.

Los planos de diaclasas se pueden presentar con alta frecuencia, pero discontinuas tanto vertical como horizontal, donde los puentes de roca le infieren mayor resistencia al macizo que en el caso que los planos de diaclasas sean continuos. Es importante destacar que cualquier sistema de diaclasa debe ser visualizado en forma espacial en tres dimensiones.

En la Figura 7, se muestra en tres dimensiones el volumen definido a través de los ejes de coordenadas X, Y y Z, del cubo, con ejemplo de un plano de diaclasa con relación de la frecuencia en los tres ejes, X,Y,Z, así como la persistencia o desarrollo indicada como área del plano de diaclasa. La frecuencia de cada diaclasa debe ser relacionada con la cantidad de veces que se repita en la unidad de volumen, pudiendo considerar como ejemplo (1) metro cúbico (m³) de macizo rocoso.

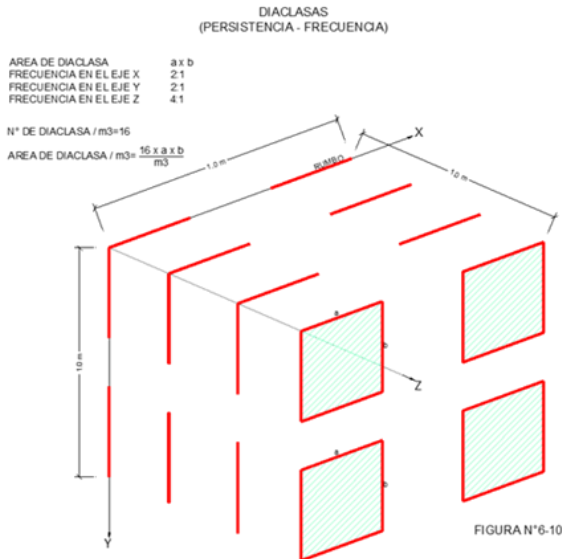


Figura 7: frecuencia de un sistema de diaclasa referido a un sistema tridimensional. Capítulo 10. Sección 10.2. [1].

Teniendo en cuenta que el área de la diaclasa sea  $a \times b$ , la cual se repite a lo largo del eje X dos (2) veces, al igual que en el eje Y, y en el eje Z cuatro (4) veces, por lo tanto el número de diaclasa por m³ será de 16, cuyo número multiplicado por el área nos daría el área de diaclasas por m³. En caso de diaclasas con frecuencia a más de 1 m se colocará en forma de fracción  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ , lo cual indica una cada 2,00 m o una cada 4,00 m, respectivamente. La tarea de cuantificar las diaclasas se considera difícil, debido a la dificultad

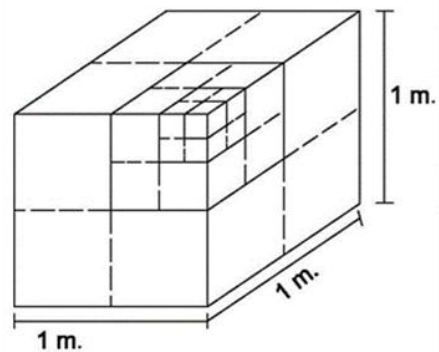
de apreciar todas las caras del macizo, pero con la práctica puede tenerse resultados interesantes.

VIII. ÁREA DE FRACTURA (AF) POR METRO CUBICO (M³)

El área de fractura por metro cubico lo podemos visualizar en una primera aproximación a través de un cubo de volumen unitario, el cual está delimitado por seis (6) caras de un (1) m² cada una. Véase Figura 9. El bloque de un metro cubico, lo podemos simétricamente dividir en ocho (8) bloques de dimensiones de 0,5 x 0,5 x 0,5 metros, obteniendo un volumen por bloque de 0,125 m³, siendo el área que divide los ocho (8) bloques, de nueve (9) m².

Cada uno de los bloques anteriores lo dividimos en 8 partes iguales, obteniendo en el cubo 64 bloques, con un área de fractura que delimita los bloques de quince (15) m². Cada uno de dichos bloques también lo dividimos en 8 partes, obteniendo 312 bloques. Las dimensiones de cada uno de los 312 bloques que conforman el metro cubico sería de 12,5 x 12,5 x 12,5 centímetros, cuya área de planos de fracturas en el metro cubico sería de 27 metros cuadrados.

En la parte inferior de la Figura 8 se resume en relación a 1 m³, el número de bloques de acuerdo a la densidad de fracturamiento, considerando la razón de los planos de diaclasas/ metro cubico.



VOLUMEN m³	Nº DE BLOQUES	ÁREA DE PLANOS DE DIACLASAS
$1 \cdot 1 \cdot 1 = 1 \text{ m}^3$	1	$6 \text{ m}^2/\text{m}^3$
$0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,125 \text{ m}^3$	8	$9 \text{ m}^2/\text{m}^3$
$0,25 \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 0,0156 \text{ m}^3$	64	$15 \text{ m}^2/\text{m}^3$
$0,125 \cdot 0,125 \cdot 0,125 = 0,002 \text{ m}^3$	312	$27 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Figura 8: relación del área de planos de fracturas de acuerdo al número de bloques, contenidos en 1 m³. Capítulo 10. Sección 10.2. [1].

En la Figura 9, se muestran para un volumen dimensiones mayores a 1 m³, la relación que existe entre área de diaclasas que delimita un solo bloque y el volumen de acuerdo a la dimensión 8, 4 y 2 metros de lado. En dicha figura se resume la relación entre el área de fractura que delimita los bloques con el volumen, diferenciando para mayores al metro cubico y en el caso de bloques menores contenidos en un metro cubico, se relaciona el área del número de fractura, de acuerdo a la densidad de fracturamiento.

Fracturamiento Del Macizo Rocoso	Dimension de Bloques (m)	Volumen de bloque(m <sup>3</sup> )	Nº de Bloques /m <sup>3</sup>	Área que delimita la dimensión del bloque $\geq$ al m <sup>3</sup> (A)	Área (Af) que delimita los bloques contenidos en un volumen $\leq$ 1m <sup>3</sup>	Área/ m <sup>2</sup>
Sano	8 x 8 x 8	512	1/512	384m <sup>2</sup>		0,75
Escaso Fracturamiento	4 x 4 x 4	64	1/64	96 m <sup>2</sup>		1,5
Poco Fracturado	2 x 2 x 2	8	1/8	24 m <sup>2</sup>		3
Fracturamiento Medio	1 x 1 x 1	1	1	6 m <sup>2</sup>	6 m <sup>2</sup>	6
Fracturado	0,5x 0,5 x 0,5	0,13	8		9 m <sup>2</sup>	9
Muy Fracturado	0,25x0,25x0,25	0,02	64		15 m <sup>2</sup>	15
Triturado	0,125x0,125x0,125	0,002	512		27 m <sup>2</sup>	27

**Figura 9:** clasificación del fracturamiento del macizo rocoso de acuerdo al área de fractura por metro cubico. Capítulo 10. Sección 10.4. [1].

Es importante destacar que la subdivisión anterior corresponde a bloques independientes delimitados con planos continuos, pero en la naturaleza el área de diaclasas no es continua, existiendo puentes en roca que interrumpen la continuidad del plano.

Para cuantificar la continuidad de los planos de diaclasas con relación a los puentes de roca, la información geológica correspondiente a las diaclasas deben ser medidos en forma detallada de acuerdo a los ejes de coordenadas X, Y y Z, pudiendo considerarse el eje X como el rumbo. Ejemplo simplificado de lo anterior sería lo siguiente:

El sistema X, Y, Z es independiente para cada sistema de diaclasas, donde el eje X puede corresponder al rumbo de cada una de las diaclasas, contenidas en un (1) m<sup>3</sup>. En la Figura 10, se resumen los resultados de tres sistemas de diaclasas evaluadas en un volumen de un (1) m<sup>3</sup>. De acuerdo a la clasificación de la Figura 9, el macizo corresponde a un fracturamiento medio, pudiendo a simple vista, con 31 diaclasas/m<sup>3</sup>, ser considerada como de fracturamiento alto.

Diaclasas	Desarrollo		Frecuencia (m)			*Área (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
	Long. (1)	Ancho (2)	X (3)	Y (4)	Z (5)	
D-1	0.15	0.10	5	6	4	1.8
D-2	0.80	0.50	1	3	1	1.2
D-3	0.30	0.40	2	6	3	4.32
						7,32

\*Producto (1) x (2) x (3) x (4) x (5)

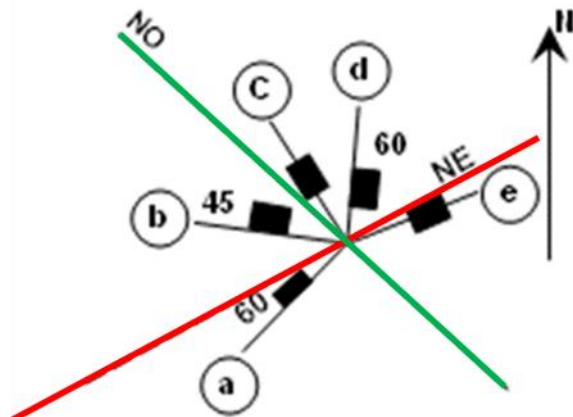
**Figura 10:** Resultado del área de tres (3) sistemas de diaclasas que afectan 1 m<sup>3</sup>.

IX. EL ÁREA DE FRACTURA Y EL CONFINAMIENTO

En el comienzo del artículo se indicó la importancia del desarrollo de las diaclasas, las cuales dependen del estado de esfuerzo del macizo, por lo cual las condiciones geológicas observadas en superficies de terreno, excavaciones o frente de túneles, corresponde a un cambio en las condiciones de confinamiento, que debe ser tomado en cuenta en los análisis para implementar el modelo geotécnico.

Lo anterior debe ser objeto de observaciones detalladas de campo cuya cuantificación para obtener valores aplicados en los modelos geotécnicos no corresponden a un número, si no se requiere de una variación de la resistencia del macizo de acuerdo al desarrollo de las diaclasas. Si tenemos un talud de excavación, la superficie de corte constituye la liberación del confinamiento, donde la deformación será mayor paralelo al talud y menor perpendicular, por lo cual el mayor desarrollo de las diaclasas será cuando su rumbo se encuentre paralelo al talud. García R. [5].

Es importante tener en cuenta que los sistemas de diaclasas en superficie, formarán patrones similares en el subsuelo, donde el desarrollo de los planos dependerá de su orientación con respecto a la cavidad o excavación. En la Figura 11 se muestra un sector en planta con distintos sistemas de diaclasas medidos en superficie, que de acuerdo a la orientación de la excavación tenderán a mayor desarrollo unos sistemas de diaclasas que otros. Un alineamiento con dirección NE, los sistemas a y e tendrán mayor desarrollo, seguidos por b y d y poco efecto en c. Para un alineamiento con dirección NO, el mayor desarrollo será para c, seguido de b y d y con poco efecto en los sistemas a y e.



**Figura 11:** Comportamiento del sistema de diaclasas de acuerdo al alineamiento de un túnel.

Lo anterior indica la variabilidad del desarrollo de diaclasas, lo cual deberá ser tomado en cuenta en la cuantificación de la resistencia del macizo rocoso a medida que nos alejamos de la excavación.

X. COMENTARIOS SOBRE LAS DIACLASAS

- Las diaclasas son defectos en las rocas bien expuestas hacia la superficie del terreno y en las excavaciones, cuya frecuencia y desarrollo tiende a disminuir con el confinamiento. Una masa rocosa confinada, sometida a un estado original de esfuerzos, desarrolla fisuras o microfisuras, que con el cambio de dichos esfuerzos, ya sea por fenómenos tectónicos, relevación de esfuerzos por efectos de erosión o excavaciones origina los planos de diaclasas.
- Comúnmente el desarrollo (persistencia) de diaclasas o extensión de sus planos está relacionado con el tipo de roca, teniendo mayor

desarrollo en rocas uniformes como el granito. En rocas sedimentarias con alternancia de capas dura y blandas, las diaclasas suelen estar limitadas en extensión, principalmente al espesor de capas dura, y en los intervalos blandos ocurre un proceso de deformación. Similar fenómeno puede suceder en las rocas metamórficas foliadas, con intervalos gruesos de foliación cementada e intercalaciones delgadas de poca cementación. Lo anterior trae como consecuencia que los planos de diaclasas no son continuos, existiendo puentes de roca que aumenta la resistencia al corte del macizo.

- La frecuencia de fisuración depende del volumen de roca dura sobre el cual aplica el esfuerzo. En secuencias sedimentarias o metamórficas dicha frecuencia y posterior desarrollo de la diaclasa dependerá respectivamente del espesor de capa dura o intervalos cementados de foliación. La presencia de diaclasas en general es inversamente proporcional al espesor de capa, o sea, en capas gruesas menor frecuencia y en capas delgadas mayor.
- Las diaclasas abiertas deben su origen a efectos de tensión en el macizo, ya sea por cambios en la dirección de los esfuerzos o a fenómenos por relevación de carga, debido a la erosión y/o a la meteorización. A profundidad el cambio del estado de tensión puede dar origen a diaclasas abiertas relacionada con la acumulación de petróleo, gas y agua subterránea.
- La frecuencia de diaclasas varía con el confinamiento del macizo y el perfil de meteorización, presentando en general más desarrollo, alta frecuencia y mayor abertura cercano a la superficie en zonas muy meteorizadas y con poco desarrollo y frecuencia, así como cerrada hacia la roca fresca. Lo cual debe tenerse en cuenta para el análisis de excavaciones superficiales.
- En obras subterráneas dependiendo de la profundidad y del estado de esfuerzos, la cavidad origina un cambio brusco de tensiones (esfuerzo inducido) en la periferia de la excavación con desarrollo de sistemas de diaclasas abiertas, que tiende a desaparecer cuando nos alejamos de dicha cavidad. En rocas sedimentarias y foliadas, dependiendo respectivamente de la posición de las capas o los planos de foliación con respecto al frente de excavación de un túnel, se puede originar un proceso de deformación del macizo con fenómenos de flexión en las rocas, generando la mayor apertura de diaclasas.
- La rugosidad de los planos de diaclasas está relacionada con la composición mineralógica de las rocas. Las diaclasas serán lisas donde hay presencia de minerales afaníticos, en cambio cuando se presentan minerales desarrollados serán rugosas.
- La abertura de diaclasas se debe a fenómenos de tensión ya sea por procesos tectónicos o liberación

de esfuerzo debido a efecto de erosión y/o meteorización, cuyo relleno entre las paredes está relacionado por el paso de flujo de agua subterránea o soluciones mineralógicas.

## XI. CONCLUSIONES

En la actualidad el término diaclasa no se encuentra evaluado con la importancia que se requiere principalmente en el diseño de obras de ingeniería, siendo un parámetro que debe ser cuantificado de acuerdo al estado tensionar actuando sobre el macizo. Los sistemas de diaclasas se consideran patrones uniforme, de acuerdo a mediciones en afloramientos o frentes de excavación, cuantificados como un número, donde la clasificación del macizo rocoso se mantiene uniforme en modelos matemáticos, principalmente relacionados con excavaciones en obras subterráneas. Lo anterior puede estar muy lejos de la realidad con criterios de resistencia y deformación que mantienen factores de seguridad muy altos y por lo tanto generando sobre-diseño en las obras. Las mediciones de las diaclasas requieren criterio acorde con su importancia, pudiendo complementarse con investigaciones de micro-sísmicas, permitiendo llegar a modelos de macizo rocosos con variaciones en las condiciones de resistencia, acorde con la realidad, y no a una cuantificación uniforme con un simple número.

## XII. AGRADECIMIENTO

Se le agradece al Ingeniero Alejandro Muguerza, de amplia experiencia en obras geotécnicas por la revisión y comentarios del presente artículo.

## XIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] García R. (2014) "GEOLOGIA APLICADA a la Ingeniería Civil", Universidad Católica Andrés Bello (UCAB). Caracas. Venezuela.
- [2] Billings J. G. (1963), "Geología Estructural". Eudeba. Buenos Aires. Argentina.
- [3] García E., García R (2004), "El Origen de las Diaclasas en Macizos Rocosos y su Consideración en Obras de Ingeniería". Sociedad Venezolana de Geotecnia (SVDG). XVIII Seminario.
- [4] García R. (2006), "Consideraciones sobre Deformación en Túneles y los Parámetros de Resistencia en Macizos Rocosos estratificados y Foliados. Limitación en el uso del Índice de Calidad Geomecánica GSI". Sociedad Venezolana de Geotecnia (SVDG). Boletín 86.
- [5] García R. (1998), "Análisis de Deformación en Túneles a partir de Ensayos sobre Modelos en dos Dimensiones". Sociedad Venezolana de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Boletín N°58.