

## La inconsistencia del término discontinuidad y su relación con el diseño de estabilidad en túneles y taludes.

The inconsistency of the term discontinuity and its relation to stability design in tunnels and slopes

### Wagdi Naime

Civil Engineering School, Central University of Venezuela, Venezuela, [wagdin@gmail.com](mailto:wagdin@gmail.com)

### Roque García

Civil Engineering School, Andrés Bello Catholic University, Venezuela, [roquegarcia1@gmail.com](mailto:roquegarcia1@gmail.com)

**ABSTRACT:** The term discontinuity covers a series of geological structures, very different both in origin and mechanical behavior. It includes the formational planes, like bedding planes and foliation planes, moving fractures and the joints. In order to perform more realistic geomechanical classification and modeling, for the geomechanical rock mass classifications, the term discontinuity should allow to differentiate between the formational structural planes, not related to the stress state, and the joints, that actually depend on the regionally and local stresses, which will be shown in this paper through examples of stability analysis in tunnels and rock slopes. According to the results, the current knowledge of joints in the rock mass, considered as fixed patterns, must be updated to variable patterns and differentiated from the rest of the structures associated with the discontinuity term. In both tunnel design and slope design, the estimated reinforcement costs are significantly different when the rock mass characteristics are assumed to be the same as those directly observed, compared to the results of zoned models, according to the stresses changes.

**KEYWORDS:** discontinuity, joint, geomechanical classification, tunnel analysis, cut slope analysis.

## 1 INTRODUCCIÓN

Usando la inteligencia artificial, IA, a través de la página Nova, se obtiene que, las diaclasas en macizos rocosos se desarrollan a partir de microfisuras, que ocurren debido a cambios en el campo de tensiones, resultado de varias fuerzas, como la tectónica de placas, la expansión térmica o la presión de fluidos dentro de la roca. Las diaclasas pueden variar en tamaño y forma, y su presencia puede tener un impacto significativo en la permeabilidad y la resistencia de la roca (Nova, 2023).

De acuerdo a la International Society of Rock Mechanics ISRM, el término discontinuidad, como parte de la clasificación del macizo rocoso, integra una serie de términos geológicos que incluye los planos de estratificación y foliación, diaclasas o fracturas sin movimiento y fallas geológicas (Brown, 1981). Se formó así, una mezcla de términos geológicos, de distintos orígenes, asociados, de un modo fácil, para un entendimiento al profesional no relacionado con la ciencia geológica. Entonces, el término discontinuidad, en lo que respecta a la clasificación y caracterización geomecánica de un macizo rocoso, se considera como suficiente, para abarcar y cuantificar un complejo modelo de esfuerzo-deformación, al relacionarlo con un número, que puede estar muy lejos de la realidad, sometido a la solicitud por excavaciones a cielo abierto o subterránea.

Es interesante destacar, que de las clasificaciones empíricas, que fueron haciéndose pública en los últimos 50 años, solo la de Wickham y colaboradores (Wickham et al., 1972), toma en cuenta el tipo de roca de acuerdo a su origen: ígnea, sedimentarias y metamórfica, relacionada con su estructura geológica. Para obtener

el índice Q (Barton et al., 1974) o el índice RMR (Bieniawski, 1973, 1979), el tipo de roca no aparece en la cuantificación del macizo rocoso. Posteriormente se dio a conocer el índice GSI (Hoek, 1994), basado en el aspecto visual del macizo, en afloramientos o frentes de excavación, relacionado con la condición en la superficie de las discontinuidades, lo que, obviamente, no siempre estará relacionado con las características de la roca que no está desconfiada, a cierta profundidad, en zonas que tendrán interacción con las obras a construir.

Todas las clasificaciones anteriores, fueron aplicada con éxito en gran número de obras subterráneas, y utilizada como normas, tal como está descrito en el Handbook NGI (2015), usando el Q-Sistem, donde la mayoría de túneles se relacionan con rocas duras ígneas, condición geológica particular, que fueron estandarizadas a nivel mundial. El aspecto geológico solo se relaciona con el término discontinuidad, asociando una serie de planos geológicos, tales como estratificación, foliación, diaclasas y fallas geológicas. Adicionalmente, los valores utilizados, para dicho término, se consideran fijos a lo largo y ancho del macizo rocoso, dentro de ciertos paquetes específicos. Algunas de las discontinuidades, efectivamente, presentan características invariantes, ya que están asociadas a él origen de la roca, por ejemplo, los planos de estratificación, en rocas sedimentarias, no cambiarán su desarrollo ante la excavación de un túnel. Pero otras discontinuidades sí cambiarán sus características, como el caso de las diaclasas, ya que podrán aparecer algunas, antes inexistentes, y otras cambiarán su desarrollo, de acuerdo a los cambios del estado de esfuerzos en el macizo.

En la Figura 1 se muestra, en la parte derecha, a), en forma esquemática, la variación de los distintos sistemas de diaclasas, desde un estado no confinado, en la superficie del terreno, con planos de gran desarrollo y mayor frecuencia, variando con la profundidad, cuando el confinamiento aumenta, con diaclasas de menor desarrollo y frecuencia. En b), se observa en una caja con recuperación de núcleos de roca, donde los efectos de

meteorización se combinan con el desarrollo de las diaclasas. En c) y d), se muestra, en forma esquemática, la variación de las diaclasas con la profundidad, en c), un macizo de rocas ígneas y en d), rocas sedimentarias, definido por capas, en ambos casos, se considera que los sistemas de diaclasas disminuyen con el estado de esfuerzo y con la disminución de los efectos de meteorización.

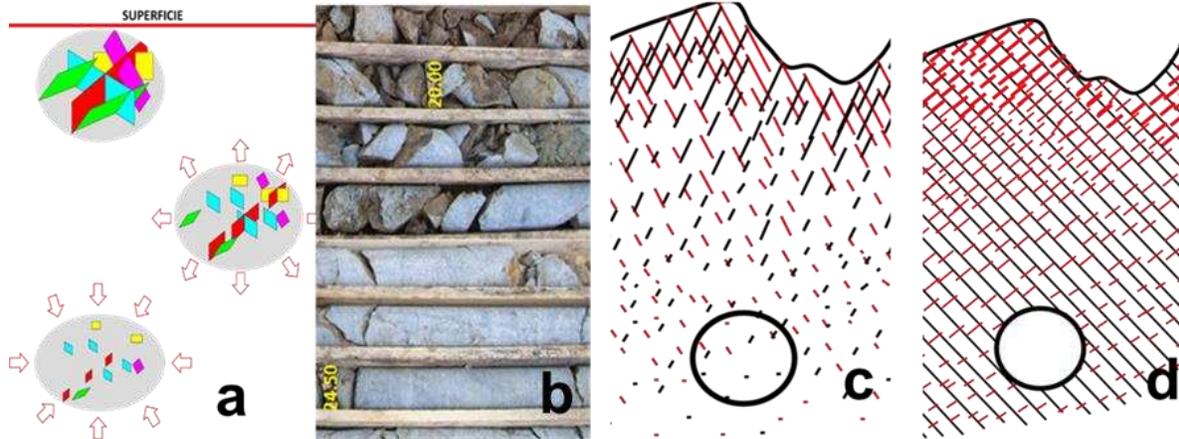


Figura 1. variación de los distintos sistemas de diaclasas, de acuerdo al estado de confinamiento.

Tal como fue mencionado, el término discontinuidad acepta una amplia mezcla de las estructuras geológicas, entre planos formacionales y los efectos mecánicos sobre la corteza terrestre. Las mediciones, en superficie, de los planos de estratificación y foliación, son continuas y en general constante a profundidad, en cambio, las mediciones de las diaclasas, su desarrollo y su frecuencia, depende del estado de esfuerzo del macizo rocoso, lo cual fácilmente se evidencia a simple vista. Por lo tanto, no se considera correcto, que el conjunto de esos planos, aunque representan discontinuidades del macizo, sean asociados como discontinuidades del mismo tenor que los planos formacionales. Entonces, dentro de las clasificaciones geomecánicas, debido a las claras diferencias, con algunas estructuras invariantes y otras cuya formación, densidad y desarrollo, dependen de las modificaciones del estado de esfuerzos producidos por las excavaciones, resulta necesario poder separar estas estructuras geológicas y darles tratamientos diferenciales dentro de los sistemas de clasificación geomecánica.

## 2 ZONIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Las evaluaciones geomecánicas de macizos rocosos, se pueden tornan imprecisas al considerar los patrones de diaclasas constantes a partir de mediciones en superficie, debido a que, en la realidad, su desarrollo y frecuencia, dependen del estado de esfuerzo. En observaciones en la superficie expuesta de un macizo rocoso, la persistencia y frecuencia, son el resultado de un cambio en el estado de confinamiento. La propiedad de la roca intacta permanece constante, pero la densidad de diaclasas varía con el confinamiento. A mayor confinamiento, menor relevación de esfuerzo y menor frecuencia y desarrollo de diaclasas.

En investigaciones usando micro sismica, en túneles, las velocidades longitudinales y transversales, delimitan una zona denominada *descomprimida*, la cual es claramente diferenciada del macizo no descomprimido, donde se observan velocidades constantes con la profundidad. La zona de roca descomprimida, puede ser muy pequeña, o incluso nula, en rocas sanas, pero en otras, su espesor se evidencia en numerosas investigaciones realizadas en túneles. Aquí se muestra un modelo esquemático, en la Figura 2, donde el desarrollo de las diaclasas puede ser delimitada en zonas, de acuerdo a las velocidades sísmicas. En la medida que aumenta la distancia de la abertura, la velocidad aumenta y la densidad de diaclasas disminuye. En rocas volcánicas, como las que se muestra en la figura 1b), las diaclasas desaparecen al disminuir los efectos de meteorización y al aumentar el confinamiento.

En Figura 2, se muestra la relación entre la zonificación del macizo rocoso, obtenido por medios geofísicos y las zonas a esperar, tanto en túneles como en taludes de corte, lo cual es un indicativo para modelar los cambios en la densidad de las diaclasas y la variación de la resistencia en el macizo rocoso, en función de los cambios de esfuerzos y también de acuerdo con algunos modelos elastoplásticos bien conocidos.

En las investigaciones a partir del programa Plaxis 2d, Naime & García, (2022), muestran la importancia de la zonificación en túneles, con aumento de los parámetros de resistencia a medida que aumenta la distancia de la cavidad, pudiendo asimilarse al desarrollo de diaclasas, designado con los números 1, 2 y 3. El diseño teórico del revestimiento, pueden representar en costos, una disminución de hasta en un 80% en túneles de pequeño diámetro (3m) y un 30% en túneles de gran diámetro (12m), sin que esto menoscabe la seguridad de la excavación.

En taludes de corte, la investigación mediante métodos geofísicos sísmico, con mediciones en la superficie del terreno, se puede obtener una variación de velocidad con la profundidad, pudiendo estar relacionada, aparte de los efectos de meteorización, con las diaclasas y su desarrollo. En la superficie de la cara del talud, se tendrá un efecto de relevación del confinamiento con el desarrollo de zonas paralelas, con mayor desarrollo de diaclasas, que han sido designadas como 1a, 2a y 3ª en la mencionada Figura 2. Una pregunta que surge de los modelos de la Figura 2, es la siguiente: ¿Cómo se determinar el comportamiento y la extensión de las zonas 1, 2 y 3 en la construcción de un túnel, considerando que el sostenimiento del mismo se define a corto plazo y el proceso de desconfinamiento puede durar desde minutos hasta varias semanas? Para responder, se requiere un detallado reconocimiento de campo, diferenciando el estado de esfuerzo en las mediciones en superficie, taludes de cortes recientes, afloramientos en superficie o mediciones en cauce de quebradas. Sumando a esto resultados de investigación con geofísica sísmica, tendremos una

zonificación, del terreno. Su aplicación en un túnel, depende de las observaciones en el frente, y su evolución en corto plazo, relacionada con investigación de microsismica. Otra pregunta, sería: ¿Cómo se puede establecer la extensión y frecuencia de diaclasas en estas zonas 1, 2 y 3? En general la relación con el cambio de esfuerzos por excavación, debe traer como resultado el desarrollo de fracturas o diaclasas debido al desconfinamiento, donde las diaclasas disminuyen a medida que aumenta la distancia a la excavación. El radio de influencia de cada zona, se puede relacionar con los resultados de microsismica. En rocas ígneas, macizas, pueden que con las excavaciones no se desarrollen diaclasas, manteniendo superficies uniformes, sin efectos de descompresión. Las propiedades de resistencia y deformación del macizo rocoso, depende de su sencilla clasificación según el origen de las rocas, tal como se describe a continuación para las rocas sedimentarias y metamórficas.

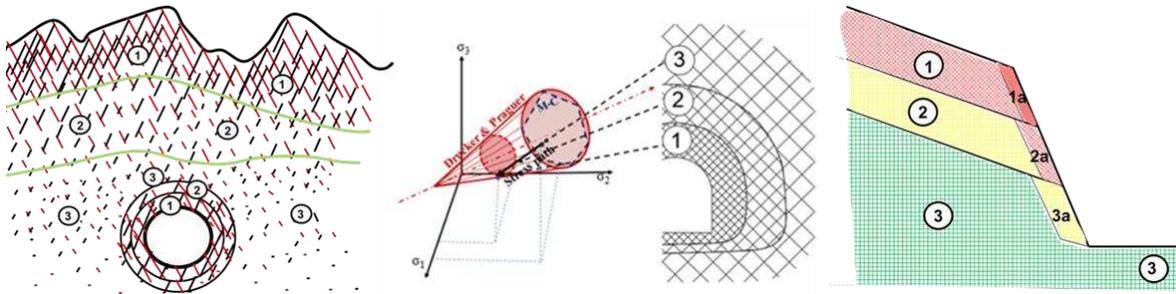


Figura 2. Zonificación del macizo rocoso en función del cambio del estado de esfuerzos: (1) es una zona descomprimida y (3) en zona no descomprimida.

### 3 IMPORTANCIA DE LOS PLANOS CONTINUOS

A parte de las rocas ígneas, en general macizas, tenemos la presencia de planos formacionales continuos, que forman la clasificación básica de las rocas de acuerdo a su origen, agregando rocas sedimentarias y metamórficas. Dichos planos, aunque representan discontinuidad en el macizo rocoso, son planos formacionales, continuos, cuyo control sobre la deformación del macizo, depende de la sollicitación. En taludes de corte, la estabilidad del macizo rocoso, estratificado o foliado, constituye un sencillo problema de cinemática, de acuerdo a la posición de los planos formacionales con respecto a la sollicitación, y que dependerá, de la fricción entre dichos planos.

García et al., (1988), mediante modelos físicos, que representaban túneles en dos dimensiones, donde los planos estructurales continuos, fueron definidos usando cuadros de cerámica, con un solo sistema de diaclasa perpendicular a dicho planos, encontraron resultados interesantes, donde se visualizó un efecto de flexión en capa, que se desarrolla hacia la cavidad, perpendicular al plano continuo, las cuales tienden a formar un triángulo invertido desplazado, con abertura del sistema de diaclasa perpendicular a los planos. Posteriormente, dichos modelos físicos fueron llevado al análisis numérico, junto con otros modelos ampliados, simulando macizos rocosos estratificados, con base en el programa Plaxis 2d, donde se obtuvieron valores similares de deformación por flexión (García & Naime, 2023; Naime & García, 2022, 2023).

Los triángulos de deformación se manifiestan con dimensiones proporcionales a la relación entre el diámetro del túnel y el espesor de capa, a mayor valor de dicha relación, mayor es la deformación. Ejemplo de la investigación llevada a cabo durante 30 años se resumen en la Figura 3.

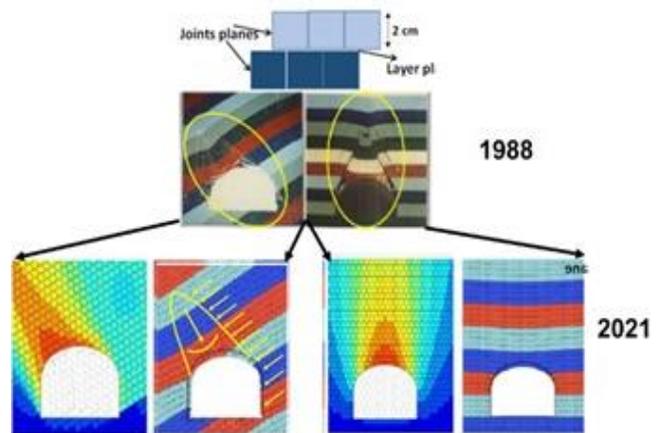


Figura 3. Resultado de las deformaciones en modelos físicos y numéricos bidimensionales. Planos de modelado por estratificación y diaclasas.

#### 4 OBJECCIÓN AL TERMINO DISCONTINUIDAD

El termino discontinuidad en el macizo rocoso, usado con éxito en el diseño de miles de túneles en el mundo, principalmente relacionado con rocas macizas, cuya calidad del macizo depende de los términos de: persistencia, frecuencia, rugosidad, abertura y relleno. El conocimiento del origen de las estructuras geológicas, se considera de gran importancia, cuyos errores podrían tener consecuencias en la asignación de propiedades mecánicas en el macizo rocoso. Se puede afirmar que la persistencia o desarrollo de las diaclasas depende del estado de esfuerzos. Ahora bien, ¿Dichos términos pueden ser aplicados para los planos de estratificación o de foliación, que asocian rocas sedimentarias o metamórficas respectivamente? Tomando en cuenta que son planos formacionales de gran desarrollo, que permiten asignarle su clasificación como rocas sedimentarias y metamórficas, la respuesta lógica es que no se debería aplicar conceptos como la persistencia en dichos planos, ya que son planos formacionales, de desarrollo infinito. Igualmente, al aplicar el termino frecuencia, este dependería del espesor de las distintas capas, o los planos cementados de la esquistosidad.

El contacto entre planos de capas, constituye una condición especial de adherencia, siendo dos superficies de condiciones litológicas distintas, en general irregular, y que han sido sometida a procesos geológicos de formación de las rocas. La litología de las capas, se puede relacionar con la rugosidad, dos capas de areniscas tendrán mayor rugosidad si se compara con el caso de la rugosidad entre capas de areniscas y lutitas.

En rocas macizas, la rugosidad en el plano de fractura, constituye la aspereza o irregularidades de las superficies que limita dicho plano, y en general depende del tipo de roca. Un granito de textura gruesa, tendrá más rugosidad, al comparar con uno de textura fina.

No existe una rugosidad pulida, ya que representa desplazamiento entre los planos, y se conoce como falla geológica.

En cuanto a la abertura, ésta se relaciona con una condición de esfuerzos, donde el macizo está sometido a efectos de tensión, siendo muy común en mediciones en afloramientos en superficie donde el macizo ha sido liberado del confinamiento vertical.

El termino, relleno, se relaciona con la abertura, donde se depositan minerales, transportada por el agua. Un relleno arcilloso y relacionado con planos pulidos, solamente es posible en una falla geológica.

En un macizo rocoso confinado, de litología uniforme, puede estar afectado por microfracturas, cuyo desarrollo a diaclasas, se origina por un cambio en el estado tensional. En una roca granítica, las diaclasas se desarrollan de acuerdo a esfuerzo regionales o por cargas litostática.

Especial interés lo constituye la secuencia de rocas sedimentarias de capas o los planos de foliación en rocas metamórficas, donde la frecuencia depende del espesor de capa o de las franjas cementadas, respectivamente. En secuencia, de capas de areniscas de distinto espesor, se debe tomar en cuenta el hecho de que, en capas de espesor delgado, la frecuencia de diaclasas es mayor que en capas gruesas.

En fin, definiciones tales como persistencia, frecuencia, rugosidad, abertura y relleno, no pueden ser aplicadas deliberadamente a cualquier plano de discontinuidad del macizo. Es necesario distinguir el tipo de plano de discontinuidad para

establecer, adecuadamente, un sistema de clasificación geomecánica.

#### 5 HACIA UN MODELO GEOTÉCNICO REAL DEL MACIZO ROCOSO

Un modelo geotécnico de un macizo rocoso, aparte de la adecuada identificación de la litología de la roca intacta y las condiciones de meteorización, debe ser representativo de las distintas estructuras geológicas de acuerdo al estado de esfuerzo, lo cual dependerá del logueo u observaciones detalladas en superficie y de la investigación del subsuelo. Las mediciones de las estructuras geológicas en afloramientos, son patrones representativos de una liberación de esfuerzo de la superficie del terreno, cuya condición es distinta a la de un estado de confinamiento y sin los efectos de meteorización. Tal como se ha dicho, esto puede ser evaluado mediante perforaciones o investigación geofísica sísmica de refracción, esta última, de acuerdo a las velocidades primarias a través del macizo rocoso.

El termino discontinuidad, en la evaluación de macizos rocosos, no diferencia las distintas estructuras geológicas y su variación con el estado de esfuerzo. La presencia de planos formacionales o no, constituyen la base de la clasificación de las rocas según su origen, y las diaclasas o fractura sin movimiento están relacionadas con el cambio de esfuerzo en el macizo rocoso.

Las propiedades geomecánicas pueden ser evaluadas mediante ensayos de compresión sin confinar en la roca intacta, relacionadas con las velocidades sísmica a través del macizo o mediante perforaciones, pudiendo ser el RQD un parámetro de cuantificación. Lo anterior constituye una primera aproximación de las condiciones geotécnicas del macizo rocoso en relación con el confinamiento.

#### 6 ¿PORQUE LA INCONSISTENCIA DEL TERMINO DISCONTINUIDAD?

Anque se ha repetido a lo largo del texto del artículo, que el termino discontinuidad, constituye unas mezclas de términos geológicos, cada uno de los cuales posee orígenes distintos, es importante destacar, que cada uno de ellos, está asociado a propiedades mecánicas que controlan, de manera independiente, los procesos de esfuerzo-deformación en cualquier obra superficial o subterránea. Su asociación con un numero puede representar una cuantificación adecuada en un macizo uniforme, pero estará muy lejos de su comportamiento mecánico, cuando se asocian planos de estratificación o foliación.

El término de diaclasas, conocido en la literatura técnica, como fracturas sin movimiento, constituyen rupturas en el macizo rocoso, no continuas y que se puede repetir a través del medio. Su extensión es conocida como persistencia y su repetición como frecuencia. Ambos parámetros, no son constante y presentan condiciones variables, los cuales depende del estado tensional de macizo rocoso.

El parámetro de persistencia podría ser cambiado por otro: *desarrollo del plano de fractura*. Sus dimensiones pueden ser, desde área microscópica, a varias decenas de metros cuadrados, lo cual está relacionado con el estado de esfuerzo en el macizo. Este concepto no aplicaría a planos formacionales.

En las secuencias de rocas sedimentarias y metamórficas, los planos de estratificación y foliación forman parte de la clasificación de las rocas según su origen, los cuales, aunque están incluidos en el término discontinuidad, definido por la ISMR, constituyen planos particulares, de gran extensión y comportamiento mecánico muy distinto a las diaclasas. Aunque todos son planos que generan discontinuidad en el macizo rocoso, deben ser separados los términos, tales como diaclasas de los planos formacionales, para poder enfocar de manera más realista las clasificaciones geomecánicas de los macizos.

Las diaclasas se encuentran bien desarrolladas hacia la superficie de la corteza terrestre, en general, asociadas a los efectos de erosión y meteorización. La frecuencia de las diaclasas es mayor en la zona de roca meteorizada, disminuyendo a profundidad, donde la condición física de la roca se clasifica como fresca. Aunque se pueden encontrar dentro de la zona de roca fresca, sectores con mayor fracturamiento, posiblemente relacionado con efectos tectónicos locales. Tal como se ha indicado en párrafo anteriores, la frecuencia de diaclasas está relacionada con el espesor de capa o foliación cementada, siendo la frecuencia mayor a menor espesor de capa. Estos aspectos, evidentes, deben ser considerados en los sistemas de clasificación geomecánica.

La presencia de brechas o planos pulidos, están relacionados con movimiento en fallas geológicas, siendo condiciones geotécnicas particulares de estados de esfuerzos, pero muy lejos de su relación con las diaclasas. El relleno en las diaclasas está relacionado con la abertura, por las cuales se facilita el paso del agua, depositándose materiales en solución, óxido, carbonático o sulfatos.

La rugosidad de las diaclasas depende principalmente del tamaño de grano o mineral que forma la roca, las de grano fino, la superficie al tacto es en general lisa, contrastando con la condición de las rocas de grano grueso, donde la superficie es áspera y con alta fricción al desplazamiento de los bloques.

Si nos preguntamos ¿Cómo se diferencia en el comportamiento geomecánico los planos de estratificación y foliación respecto al de las diaclasas? En general los sistemas de diaclasas en rocas sedimentarias y metamórficas se desarrollan perpendicular a los planos de estratificación y foliación, y en general limitadas al espesor de capa. En un túnel en rocas sedimentarias, la deformación del macizo dependerá de la orientación de dichos planos con la abertura, donde la liberación del confinamiento de la capa hacia la cavidad, posee un comportamiento similar a una viga, cuya flexión es proporcional al espesor, con abertura en los sistemas de las diaclasas. Ver Figura 3. En caso de capas verticales, la estabilidad de una sección de un túnel, se convierte en un simple problema de control de la carga vertical que se puede desarrollar, destacándose que los sistemas de diaclasas se encontraran horizontales. El modelo geotécnico estará muy lejos de la cuantificación por un número asociado a una clasificación geomecánica.

## 7 CONCLUSIONES

Todos los sistemas de clasificación empíricos, para la clasificación del macizo rocoso y el diseño del sostenimiento en túneles, han sido probados con éxitos en macizos rocosos uniformes. La

ampliación de resultados, a macizos no uniformes, toma en cuenta el ajuste por orientación del rumbo y buzamiento de las juntas, variando entre muy favorables a muy desfavorable, asimilándose a planos formacionales de estratificación o foliación, variando el valor obtenido en la clasificación y sostenimiento, tal como lo indica Bienawski con RMR.

En cuanto al Q-System, donde el valor de Q, que se relaciona con el sostenimiento es único, no existe zonificación en el macizo.

No existen investigaciones a nivel mundial, que relacionen el tema sobre la revisión del término “discontinuidad” en su aplicación a la clasificación geomecánica, ya que es aceptado por los profesionales en el campo de la clasificación del macizo rocoso y diseño principalmente en túneles, por lo que se ha hecho necesario recurrir a la autorreferencia, ya que este tema ha sido estudiado por años por los autores.

Como conclusión mas importante del presente aporte de la geología aplicada a las obras de ingeniería, es la revisión del término discontinuidad, el cual tal como se ha indicado en varias partes del artículo, asocia una serie de términos geológicos, de distinto origen mecánico y formacionales.

Las limitadas investigaciones llevada a cabo, relacionada con el campo de la docencia y la aplicación en algunas obras en túneles, concluye dos (2) aspectos importantes:

1-En las mediciones de las distintas estructuras geológicas, se deben diferenciar los planos de diaclasas de los planos formacionales que forman parte de la clasificación básica de las rocas, ampliamente conocidas, como ígneas, sedimentarias y metamórficas. 2- Los resultados de las mediciones de las estructuras geológicas, en afloramientos de superficie, taludes de corte y frentes de túneles, corresponde a distintos estados de esfuerzo, que deben ser analizado en forma separada.

La investigación con modelos físicos y numéricos, simulando los planos formacionales continuos, de gran desarrollo, estratificación o esquistosidad, muestran un control en el proceso de deformación del macizo de acuerdo a la solicitación, que depende de la relación entre el espesor de capa y el diámetro del túnel.

En rocas macizas, de litología uniforme, las investigaciones con modelos físicos y numéricos, mediante zonificación, simulando una disminución de desarrollo y frecuencias de diaclasas aumentando la resistencia a medida que nos alejamos de la cavidad, muestran menor deformación, que considerando un macizo uniforme.

El término “diaclasa”, debería redefinirse para su uso adecuado en la clasificación geomecánica, como fracturas sin movimiento, en las que la extensión y la frecuencia, dependen de los cambios del estado tensional de la masa rocosa.

El término “persistencia” debería reevaluarse de la clasificación geomecánica del macizo rocoso, ya que incluye planos de formación de las rocas, como los planos estratificación en las rocas sedimentarias y los planos de foliación en las rocas metamórficas. Se propone cambiarlo por el término desarrollo del plano de fractura, definido como el área de la fractura sin movimiento, que dependerá del cambio del estado tensional en el macizo rocoso, es decir, aplicable solamente a las diaclasas.

El conocimiento acorde de las estructuras geológicas con la solicitación del macizo rocoso, repercutirá en diseños geotécnicos, con menor costo y mayor seguridad en las distintas obras de ingeniería civil.

## 8 RECOMENDACIONES

El presente artículo, Inconsistencia del Término Discontinuidad, constituye un tema interesante de investigación, donde de la asociación de una serie de términos geológicos de distinto origen, tectónicos y formacionales, se han formado metodologías empíricas de diseño, bajo normas y especificaciones a nivel mundial. La separación de los términos geológicos, planos formacionales, diaclasas y fallas geológicas, así como el estado de tensiones, permiten el esquema de un modelo geológico, que, en conjunto con las solicitaciones, se podrán obtener relación de esfuerzo/ deformaciones más realistas para el diseño de las obras de sostenimiento. Se exhorta a los profesionales a verificar los conceptos y criterios indicados principalmente, sobre las diaclasas, fracturas sin movimiento, relacionado con su desarrollo y frecuencia, de acuerdo al estado de tensiones. Así mismo en áreas de rocas sedimentarias y metamórficas, los planos formacionales continuos, tienen gran importancia para el diseño de las obras de estabilidad y sostenimiento,

## 9 AGRADECIMIENTOS

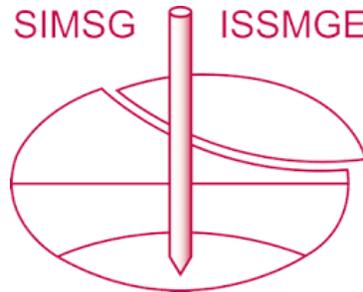
A las universidades Central de Venezuela y Católica Andrés Bellos. Espacios para la disertación y el encuentro de ideas.

## 10 REFERENCIAS

- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6(4), 189–236. <https://doi.org/10.1007/BF01239496>
- Bieniawski, Z. T. (1973). Engineering classification of jointed rock masses. *Civil Engineering= Siviele Ingenieurswese*, 12, 335–343. [https://journals.co.za/doi/pdf/10.10520/AJA10212019\\_17397](https://journals.co.za/doi/pdf/10.10520/AJA10212019_17397)
- Bieniawski, Z. T. (1979). The Geomechanics Classification In Rock Engineering Applications. *4th ISRM Congress*, ISRM-4CONGRESS-1979-117. <https://onepetro.org/isrmcongress/proceedings-abstract/CONGRESS79/All-CONGRESS79/166370>
- Brown, E. T. (1981). Rock characterization testing and monitoring. ISRM suggested methods. *Rock Characterization Testing and Monitoring. ISRM Suggested Methods*. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(81\)90524-6](https://doi.org/10.1016/0148-9062(81)90524-6)
- García, R., Cortesi, A., & Carestia, L. (1988). Análisis de deformación en túneles a partir de ensayos sobre modelos en dos dimensiones. *Boletín de La Sociedad Venezolana de Geotecnia e Ingeniería de Fundaciones*, 58, 34–38.
- García, R., & Naime, W. (2023). The accurate knowledge of the joint term for rock mass classification and for the numerical tunnels analysis and its impact on the on the reinforcement's costs. In W. Schubert & A. Kluckner (Ed.), *15th International ISRM Congress & 72nd Geomechanics Colloquium. Salzburg, Austria* (pp. 2001–2006).
- Hoek, E. (1994). Strength of rock and rock masse. *ISRM News Journal*, 2, 4–16.
- Naime, W., & García, R. (2022). Toward a new definition of terms in the rock geomechanical classification and its relation to the numerical analysis of tunnels. *IX Latin American Rock Mechanics Symposium. La Asunción, Paraguay*.
- Naime, W., & García, R. (2023). The rock mass and the development of joints during the tunnel excavation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1124(1), 012058. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1124/1/012058>

- Nova. (2023). *ChatGPT, May 24 version*. <https://novaappai.page.link/GpsNUMi4FQ3of8uz7>
- Wickham, G. E., Tiedemann, H. R., & Skinner, E. H. (1972). Support determinations based on geologic predictions. In M. and P. E. Lane, K.S.a.G., L. A., New York: Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining (Ed.), *North American Rapid Excavation and Tunneling Conference Conf Proc* (Vol. 1, pp. 43–64). <https://trid.trb.org/view/125914>

# INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



*This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:*

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

*This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.*

*The paper was published in the proceedings of the 17th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XVII PCSMGE) and was edited by Gonzalo Montalva, Daniel Pollak, Claudio Roman and Luis Valenzuela. The conference was held from November 12<sup>th</sup> to November 16<sup>th</sup> 2024 in Chile.*