

Clasificación para Predecir el Tipo de Remoción en Banqueos y Excavaciones para Obras Viales

Ing. Daniel Salcedo Rodríguez

RESUMEN

El presente trabajo propone una clasificación para predecir el tipo de remoción en banqueos y excavaciones para obras viales, fundamentándose en el trabajo original de Weaver (1975). Pruebas de campo realizadas para evaluar, entre otros factores, la influencia de la orientación de discontinuidades en el tipo de remoción, permitieron incorporar a la clasificación, bloques diagramáticos que relacionan la dirección y sentido de avance de la excavación con respecto al rumbo y buzamiento de la discontinuidad más prominente. La clasificación propuesta ha sido probada con éxito en los banqueos requeridos para la construcción de una Autopista, en una zona caracterizada por rocas metamórficas con variados grados de meteorización, dureza y fracturamiento.

INTRODUCCION

La clasificación de materiales según su tipo de remoción, constituye uno de los problemas más frecuentes que se presentan en obras civiles que ameriten excavaciones. En los banqueos a realizarse, principalmente para obras viales, cuando se trata de clasificar un material para ubicarlo en la partida correspondiente cuyo precio unitario refleje el tipo de remoción requerido, son comunes las diferencias de criterio y desacuerdos entre el personal profesional de inspección y de la empresa constructora.

En países tropicales como Venezuela, donde la meteorización tiene un papel importante en el comportamiento de las rocas, y donde existen materiales ubicados en la frontera suelo-roca, el problema de clasificación es aun más difícil, habiéndose manifestado principalmente en las rocas metamórficas típicas de la Cordillera de la Costa.

Los problemas conceptuales relacionados con suelo y roca datan prácticamente desde el origen de la mecánica de suelos y numerosos artículos se han escrito al respecto. En Venezuela, Salcedo (1970) y Sancio (1984) se han referido a este tema. De Sola (1962), presenta una correlación entre diferentes materiales y tipo de remoción, refiriéndose a la necesidad de una definición mecánica de las rocas para los estudios

geológicos de carreteras. Sancio y Brown (1980) proponen una clasificación específica para rocas foliadas meteorizadas a ser usada en problemas de estabilidad de taludes.

La necesidad de cuantificar la influencia de los diferentes factores que intervienen en la resistencia de una masa rocosa para ser clasificada con fines ingenieriles, ha dado como resultado la proposición de varias clasificaciones geomecánicas donde se le asignan valores a cada una de las propiedades de la masa rocosa, tales como las publicadas por Bienawsky (1974), Barton et. al (1974) y Selby (1982). Las dos primeras se orientan principalmente a la predicción del sostenimiento primario de túneles y la última fué propuesta para estudios de campo en geomorfología.

La definición y medida de los factores que caracterizan una masa rocosa, ha sido publicada por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM (1981) y Salcedo (1983).

En el caso concreto de clasificaciones de materiales según su tipo de remoción, la Caterpillar Tractor Company ha realizado contribuciones importantes, desde el final de la década de los años 50, publicando en sus manuales correlaciones entre la velocidad de onda sísmica y el tipo de remoción mediante los equipos que ellos fabrican. La metodología y aplicación en estudios geotécnicos de ensayos sismoelásticos, ha sido tratado en Venezuela por Gallovich (1984).

Weaver (1975), ha propuesto una interesante clasificación tomando en cuenta, además de la velocidad de onda sísmica, otros factores de importancia en una masa rocosa, lo cual ha servido de base para la clasificación propuesta en este trabajo. En opinión del autor del presente trabajo, el tipo de remoción para excavar una masa rocosa es función de varias características geológicas y por lo tanto, determinar el tipo de remoción basándose exclusivamente en la velocidad de onda sísmica, puede conducir en ciertos casos a interpretaciones erradas.

Condiciones típicas donde la geofísica puede dar resultados poco confiables, son las siguientes:

1. Dado que la sísmica de refracción requiere que la velocidad de propagación de la onda aumente con la profundidad, cuando el subsuelo está constituido por intervalos duros y blandos alternados, la respuesta del sondeo sísmico es influenciado por el material de mayor

- velocidad de propagación y suprime la presencia del material más blando.
2. Cuando la superficie de refracción no es horizontal también son afectados los resultados, obteniéndose diferentes velocidades en sentido ascendente y descendente. Si no se conoce el buzamiento de la discontinuidad específica, no es posible corregir los resultados.
 3. La presencia de agua en el subsuelo, cuya velocidad de propagación de la onda sísmica es de 1540 m/seg., aumenta hasta este valor la velocidad de propagación de suelos poco densos y rocas muy descompuestas con velocidades sísmicas menores que dicho valor.
 4. La presencia de cantos grandes de roca en matriz más blanda, también afecta los resultados de la geofísica, dependiendo del porcentaje de cantos existentes.

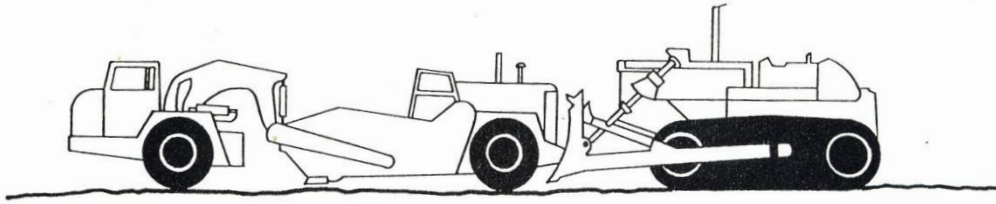
Por estas razones, la clasificación propuesta se fundamenta en las ideas de Weaver (1975), modificándola y adaptándola en base a experiencias propias, principalmente en las rocas metamórficas con variados grados de meteorización y fracturamiento, típicas de la Cordillera de la Costa Venezolana.

CLASIFICACION PROPUESTA

La clasificación propuesta en este trabajo se fundamenta en la de Weaver (1975), introduciendo modificaciones en descripciones y en valores asignados a diversos factores, ampliando conceptos e incorporando bloques diagramáticos complementarios para definir la influencia de la orientación de discontinuidades presentes en la masa rocosa. Véase Tabla 1 de Clasificación del Tipo de Remoción, anexa.

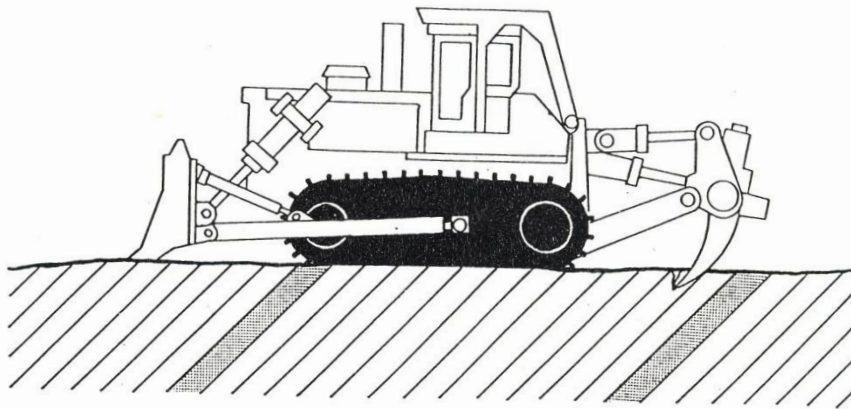
En vista de que no todos los factores tienen la misma influencia en la resistencia global de la masa rocosa, es necesario asignar valores ponderados a cada uno, siendo la calidad final de la masa rocosa determinada por la sumatoria de los valores asignados individuales.

La remoción se clasifica en cinco tipos, los cuales comprenden excavación convencional (Fig. 1), dos niveles de escarificación previa según la dificultad y rendimiento (Fig. 2), banqueo combinado que requiere voladura y escarificador, y remoción total mediante explosivos. (Fig. 3).



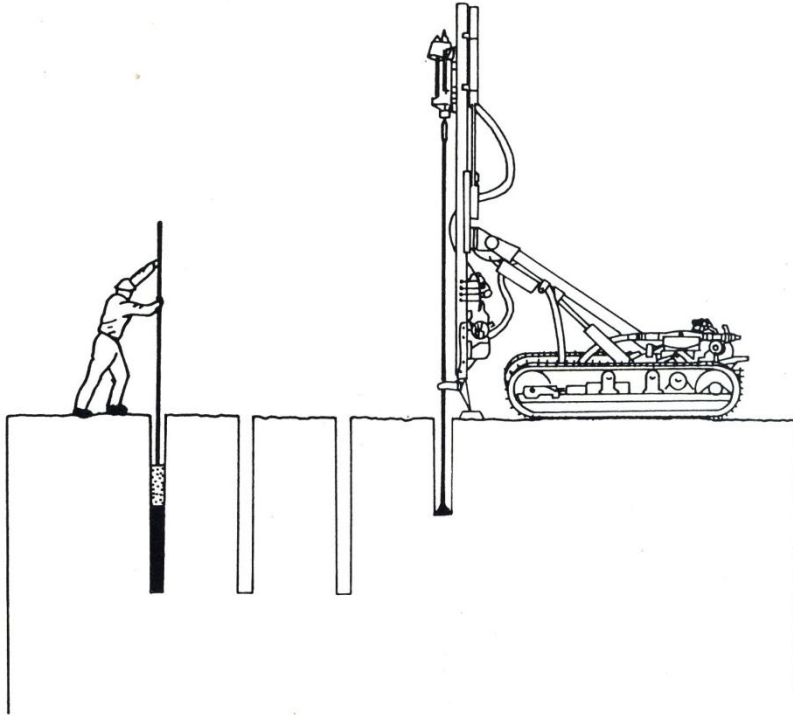
EXCAVACION CONVENCIONAL

FIG. 1



EXCAVACION CON USO DE ESCARIFICADOR

FIG. 2



REMOCION MEDIANTE EXPLOSIVOS

FIG. 3

Los factores que se consideraron de mayor importancia en esta clasificación son el espaciamiento entre diaclasas, la velocidad de onda sísmica y la orientación de discontinuidades. Al final de la Tabla 1 se relaciona lo sumatorio de los valores asignados con el tipo de remoción y se indica, para cada caso, el rango de caballos de fuerza (HP) de los tractores más utilizados en movimiento de tierras. En una tabla adicional se presenta la equivalencia entre los distintos tipos de tractores fabricados por cuatro de las más grandes empresas en el ramo, con sus correspondientes caballos de fuerza. Véase Tabla 2. La clasificación se acompaña de una serie de notas complementarias, las cuales sirven de apoyo para tomar decisiones en casos de situaciones específicas que pueden presentarse en la práctica.

Velocidad de Onda Sísmica

Este es el primer factor que considera la clasificación propuesta y ha sido correlacionado con el tipo de remoción para diferentes tipos de materiales. Caterpillar Tractor Company (1982). La velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo se relaciona en cierta forma con el tipo de suelo o roca, densidad y/o consistencia, grado de meteorización y espaciamiento de fracturas. La obtención de velocidades de onda mediante sísmica de refracción es un procedimiento poco costoso y requiere muy poco tiempo, sin embargo, tal como se indicó previamente, su uso exclusivo para determinar tipo de remoción puede, bajo ciertas condiciones, conducir a errores. En este sentido se prefiere tomar en cuenta, adicionalmente, otros factores de la masa rocosa que pueden ser obtenidos en afloramientos durante el estudio geológico de superficie y de la información proveniente de los núcleos obtenidos de perforaciones.

Dureza de la roca

La dureza, función de la resistencia de la roca, se puede determinar clasificándola según las descripciones presentadas en la Tabla 1, de acuerdo a observaciones visuales y simples pruebas físicas de campo. A fin de que sirvan de ayuda para una clasificación más precisa, se incluyen en el recuadro correspondiente a cada valor asignado, los siguientes datos:

-En el borde superior izquierdo se presentan los valores más típicos de rebote con el Martillo de Schmidt Tipo "L".

-En el borde superior derecho se indican los valores más típicos de rebote con el Martillo Tipo "N".

-En el borde inferior izquierdo se presentan los valores que se obtienen de ensayos de carga puntual " I_G ", en Megapascuales.

-En el borde inferior derecho se indican los valores más típicos de resistencia a la compresión sin confinar " σ_C ", en Megapascuales.

Meteorización

Este factor es de suma importancia en países tropicales y varía con la profundidad. La clasificación de la roca según su meteorización puede realizarse de acuerdo a las descripciones indicadas en la Tabla 1, anexa. Si se dispone de tiempo de investigación y se quiere cuantificar la meteorización en forma más precisa, se pueden tomar muestras y determinar índices de meteorización, tales como los propuestos por Hamrol (1961), Lumb (1962), Ege (1968), y Aires (1970). De estos índices el que se considera más fácil y rápido de determinar es el de Hamrol (1961), el cual realmente es una determinación de la absorción del material en inmersión rápida en agua. Se ha encontrado que este índice tiene buenas correlaciones con otras propiedades de la masa rocosa.

Espaciamiento de diaclasas

Controla el tamaño de bloques individuales de roca intacta y se mide perpendicular al plano de la diaclasa. Debido a que puede variar, se recomienda preferiblemente el uso del valor de espaciamiento modal. El espaciamiento es el inverso de la frecuencia y mientras menor es su valor más fácil será la remoción.

Persistencia

La persistencia es una medida de la extensión o el tamaño de la diaclasa. Puede ser estimada observando las longitudes de las trazas en la superficie expuesta. Mientras mayor sea la persistencia de las discontinuidades de una masa rocosa, más fácil resulta su remoción.

Abertura y relleno de diaclasas

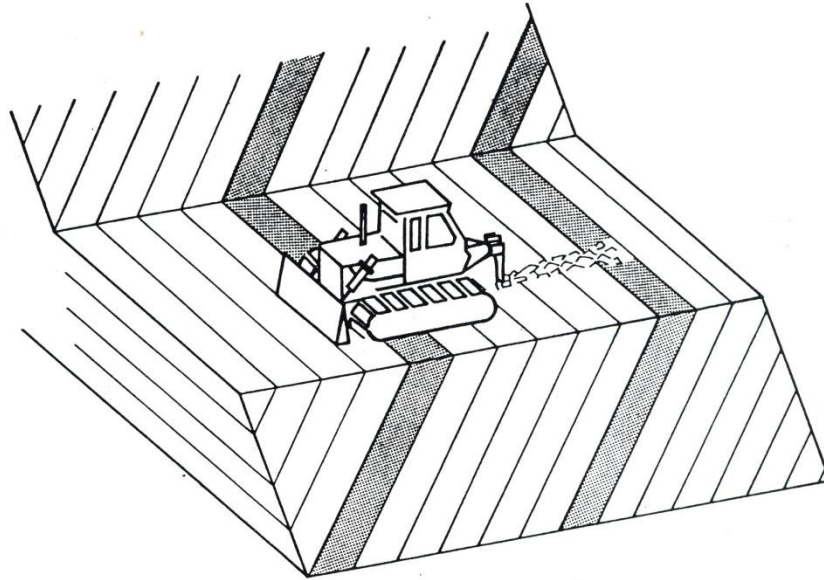
La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de una discontinuidad abierta. En caso de estar rellena por minerales duros tales como cuarzo o calcita, se recomienda aumentar el valor asignado correspondiente a la siguiente escala. Si el material de relleno es blando se considera simplemente abierta y se le asigna su valor correspondiente.

Rumbo y Buzamiento

La orientación de las discontinuidades es uno de los factores más importantes que influyen en el tipo de remoción. Las clasificaciones publicadas hasta la fecha hablan de términos como "favorable" o "desfavorable", sin especificar razones convincentes al respecto. En vista de esto, el autor ha decidido incorporar a esta clasificación unos bloques diagramáticos que permiten visualizar para cada caso específico la orientación de las discontinuidades con respecto a la dirección y sentido de la excavación.

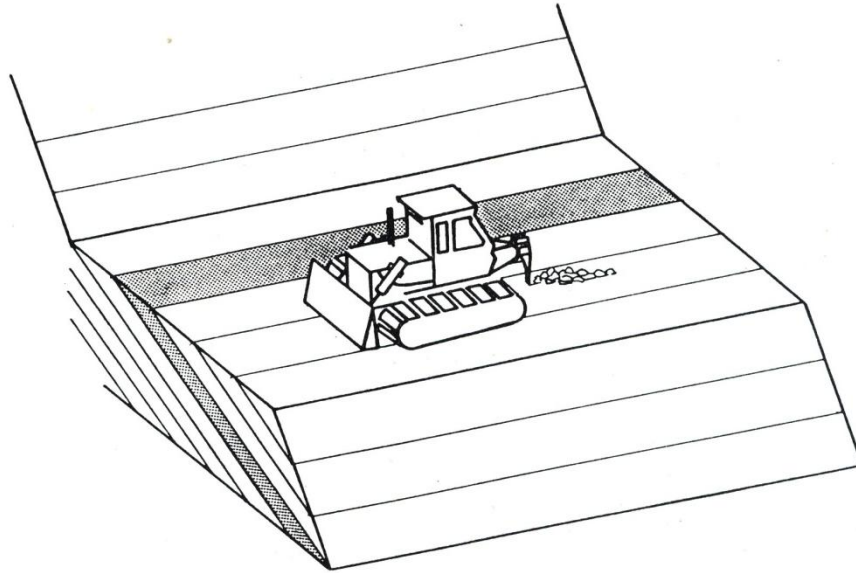
Los bloques diagramáticos incorporados a la clasificación, se basan en la experiencia acumulada en campo, cambiando la orientación del avance de la excavación para banqueos de la Autopista Rómulo Betancourt, actualmente en construcción, observando las dificultades de avance de las mototrillas impulsadas por bulldozers, y las dificultades de penetración y rendimiento de escarificadores de diversos equipos. Asimismo se realizaron entrevistas con ingenieros y operadores de los equipos de las Empresas Arpigo y Vincler quienes colaboraron amablemente con esta investigación. Entre las conclusiones más importantes de las pruebas de campo se pueden citar:

1. La remoción del material es más fácil y efectiva cuando el avance es perpendicular al rumbo de la discontinuidad más prominente que cuando es paralelo a éste. Véase Figs. 4 y 5.
2. Para el caso específico de rumbo de avance de excavación perpendicular al rumbo de la discontinuidad más prominente, la remoción del material es más fácil y efectiva si el avance se realiza en el mismo sentido del buzamiento de dicha discontinuidad. Asimismo, la remoción se facilita para ángulos de buzamiento entre 20° y 45°. Véase Figs. 6 y 7.



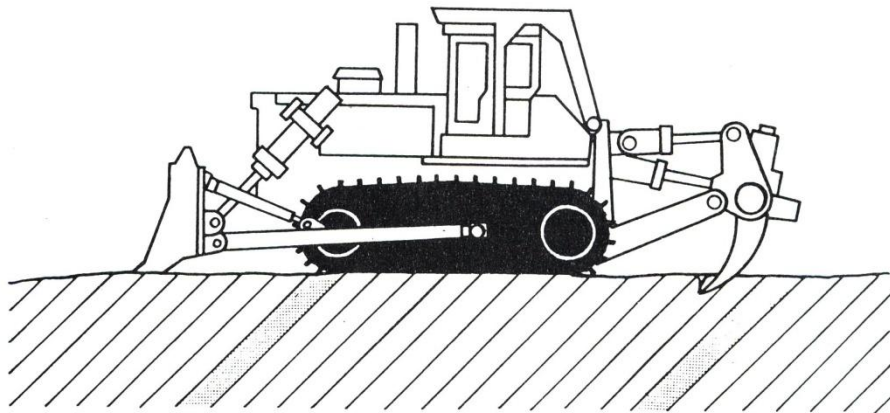
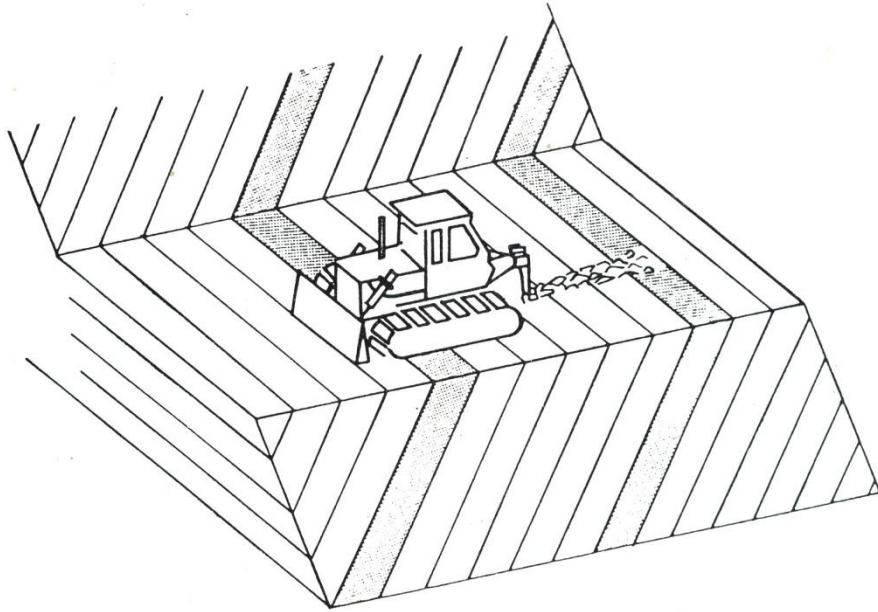
AVANCE DE EXCAVACION PERPENDICULAR AL RUMBO
DE LA DISCONTINUIDAD

FIG. 4



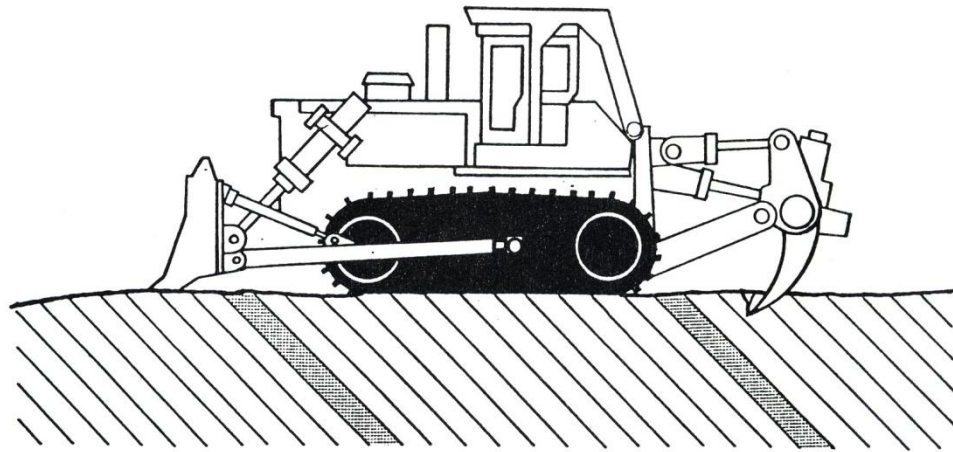
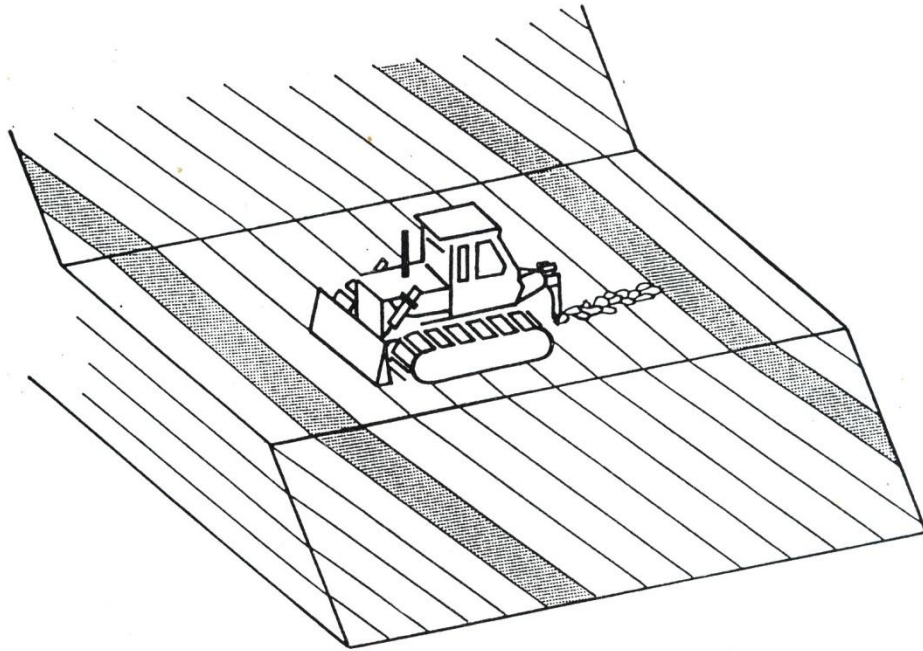
AVANCE DE EXCAVACION PARALELA AL RUMBO
DE LA DISCONTINUIDAD

FIG. 5



AVANCE DE EXCAVACION PERPENDICULAR AL RUMBO DE LA DISCONTINUIDAD
Y EN EL MISMO SENTIDO DE SU BUZAMIENTO

FIG. 6



AVANCE DE EXCAVACION PERPENDICULAR AL RUMBO DE LA DISCONTINUIDAD
Y EN SENTIDO CONTRARIO A SU BUZAMIENTO

FIG. 7

Los bloques diagramáticos que se presentan anexos a la clasificación propuesta, consideran los siguientes casos:

CASO 1. Dirección de avance de la excavación paralela al rumbo de la discontinuidad y con ángulos de buzamiento entre 20° y 70° en el mismo sentido del talud. Esta condición se considera ligeramente desfavorable y se le asigna un valor de 10.

CASO 2. Dirección de avance de la excavación paralela al rumbo de la discontinuidad y con buzamientos entre 20° y 70° , contrarios al frente de excavación. Este caso se considera desfavorable y se le asignan 13 puntos.

CASO 3. Dirección de avance paralela al rumbo de discontinuidad subvertical (70° - 90° en ambos sentidos). Condición muy desfavorable y un valor asignado máximo de 15.

CASO 4. Dirección de avance de la excavación perpendicular al rumbo de la discontinuidad y en el mismo sentido del buzamiento. Tiene dos posibilidades: a. Buzamientos entre 20° y 45° , condición considerada muy favorable, asignándosele 3 puntos y b. Buzamientos entre 45° y 70° , condición favorable y un valor asignado de 5.

CASO 5. Dirección de avance de la excavación perpendicular al rumbo de la discontinuidad y en el mismo sentido del buzamiento con ángulos altos entre 70° y 90° . Condición ligeramente desfavorable y 10 puntos.

CASO 6. Dirección de avance de la excavación oblicua al rumbo de la discontinuidad con buzamiento entre 20° y 70° hacia el talud. Condición ligeramente desfavorable, 10 puntos.

CASO 7. Dirección de avance de la excavación oblicua al rumbo de la discontinuidad con buzamientos entre 20° y 70° contrarios al frente del talud de corte. Condición desfavorable, 13 puntos.

CASO 8. Dirección de avance de la excavación oblicua al rumbo de la discontinuidad, con buzamientos entre 70° y 90° en cualquier sentido. Condición desfavorable, 13 puntos.

CASO 9. La discontinuidad es sensiblemente horizontal (0 a 20°). En este caso se ha determinado que para el uso y penetración del escarificador tiene además mucha importancia, el espesor o espaciamiento de la

discontinuidad. El término "espesor" se utiliza para estratificación en rocas sedimentarias, e intervalos foliados en el caso de rocas metamórficas; el término "espaciamiento" se utiliza si la discontinuidad es una diáclasa. Se contemplan dos casos:

- a. Espesores o espaciamentos mayores de 0.35 m.
- b. Espesores o espaciamentos menores de 0.35 m.

El primer caso se considera muy desfavorable y se le asignan 15 puntos, y el segundo caso se clasifica como desfavorable con 13 puntos.

El autor considera que para los otros casos, la influencia del espesor o espaciamiento en la dificultad de excavación es menor, sin embargo, en futuras investigaciones se podrá determinar si vale la pena para fines prácticos, considerar esta variante en el resto de los casos.

Dado que es la primera vez que se publican bloques diagramáticos con este objetivo, se recomienda su uso y reportar cualquier sugerencia que se considere necesaria para ajustar los valores asignados propuestos.

CONCLUSIONES

1. Se ha propuesto un sistema de clasificación para determinar el tipo de remoción en banqueos y excavaciones para obras viales, basado en el trabajo original de Weaver (1975).
2. El sistema de clasificación y predicción del tipo de remoción depende, además de la velocidad de onda sísmica, de otros factores que caracterizan e influyen en la resistencia de una masa rocosa. Los criterios presentados permiten utilizar la clasificación aún en el caso de que no se disponga de estudios geofísicos.
3. Los resultados de la investigación de campo para evaluar la influencia de la orientación de discontinuidades en el tipo de remoción, han permitido incorporar a la clasificación unos bloques diagramáticos que relacionan la dirección y sentido del avance de la excavación con la orientación de la discontinuidad más prominente.

4. Una de las ventajas de la clasificación propuesta es que disminuye significativamente los criterios subjetivos, debido a que los factores involucrados pueden ser observados en el campo. Se recomienda, sin embargo, que dicha información sea obtenida por un ingeniero geólogo especialista en geotecnia.
5. El uso de la clasificación permitirá disminuir los problemas frecuentes que se originan, principalmente en obras viales, cuando se trata de definir el pago de excavación en distintos materiales. Corredor (1986), ha preparado las especificaciones respectivas adaptadas a la clasificación propuesta.
6. La clasificación propuesta ha sido probada con éxito en el movimiento de tierras que se ejecuta en la Autopista Rómulo Betancourt en el Oriente de Venezuela, donde afloran rocas metamórficas con variados grados de meteorización, dureza y fracturamiento.
7. La clasificación propuesta requiere de un mayor número de aplicaciones prácticas para su implementación final, y podrá exigir de ejecución de pruebas de campo con los equipos recomendados. En este sentido, se recomienda a los profesionales especialistas en esta problemática, publicar o informar al autor, casos específicos donde se evalúe la efectividad de la misma.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento al Sr. Amadeo Ludovico y al Sr. Giácomo Clérigo de las Empresas ARPIGRA Y VINCCLER respectivamente, por permitir el uso de sus equipos de movimiento de tierras en las pruebas de campo. Al Ingeniero Gustavo Corredor por su entusiasmo y motivación para la publicación de este trabajo, y a la Geólogo Lelis Delgado por su importante colaboración en campo. Ambos profesionales contribuyeron además en la lectura de la versión inicial y aportaron valiosos comentarios para mejorarla. A la Ingeniero Josefina Ortas de Martínez por su colaboración técnica en la preparación de la memoria descriptiva y en la concepción de los dibujos; su valiosa ayuda resultó indispensable para la culminación del presente trabajo. Teresa Ortas y Vicente Callejas colaboraron en la elaboración de tablas y dibujos.

REFERENCIAS

Aires-Barros, L. (1970).

"Note Preliminaire Sur Un Indice D'Alterabilite. First Int. Congress. I.A.E.G. Paris.

Barton, N., Lien, R., and Lunde, J. (1974).

"Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support". Rock Mechanics. Vol. 6., pp. 189-236.

Bienowsky, Z. T. (1974).

"Geomechanics Classification of Rock Masses and Its Application in Tunelling." Proc. 3rd. Congress ISRM. Vol. 2a.

Caterpillar Tractor Company (1982).

Caterpillar Performance Handbook. Edition 13, Section 1-10. Peoria, Illinois.

Corredor, G. (1986).

"Definición de Partidas y Especificaciones Constructivas, basados en la Clasificación de Weaver modificada y adaptada por Salcedo." Comunicación personal.

De Solo, O. (1962).

"Necesidades de una Definición Mecánica de las Rocas para los Estudios Geológicos de Carreteras." Bol. Soc. Venezolano de Mec. de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Nº 6. pp.3-8.

Ege, J.R. (1968).

"Stability Index for Underground Structures in Granitic Rock". Geol. Society of America. Memoir 110.

Gallovich, E. (1984).

"Ensayos Sismoelásticos. Metodología y Aplicación en Estudios Geotécnicos". Trabajo de ascenso a profesor asistente. U.C.V.

Hamrol, A. (1961).

"A Quantitative Classification of the Weathering and Weatherability of Rocks." Proc. 5th International Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Paris. Vol 2. p. 771.

ISRM (1981)

"Rock Characterization. Testing and Monitoring. Suggested Methods." E.T. Brown, Pergamon Press.

Lumb, P. (1962).

"The Properties of Decomposed Granite". Geotechnique. V. 12. p. 226.

Salcedo, D. (1970).

"Hacia una Definición Geotécnica de Suelo y Roca". Boletín Soc. Venezolana de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Nº 34. pp. 32-39.

Salcedo, D. (1983).

"Macizos Rocosos: Caracterización, Resistencia al Corte y Mecanismos de Rotura". Memorias Conferencia 25 Aniversario Soc. Venezolana de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones Caracas. pp. 143-215.

Sancio, R. (1984).

"Ingeniería de las Rocas Blandas. Estado del Arte." Memorias VIII Seminario de Geotecnia. Soc. Venezolana de Mec. de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Caracas. pp. 264-1 al 28.

Sancio, R. & Brown, I. (1980).

"A Classification of Weathered Foliated Rocks for Use in Slope Stability Problems". 3rd. Australian-New Zealand Geomechanics Conference. New Zealand. pp. 2-81 - 2-86.

Selby, M. J. (1982)

Hillslope Materials and Processes. Oxford University Press.

Weaver, J. M. (1975).

"Geological Factors Significant in the Assessment of Rippability." The Civil Engineer in South Africa. Vol. 17, Nº 12. December.

CLASIFICACION DEL TIPO DE REMOCION

NOTAS COMPLEMENTARIAS (SALCEDO, 1988)

NOTA I.

La clasificación debe ser aplicada a masas rocosas litológica y estructuralmente iguales. Cuando existan variaciones en litología, y/o en orientación de estructuras y/o en espaciamiento, la masa rocosa debe ser dividido en regiones. Los límites entre regiones pueden ser cambios bruscos en componentes litológicos, fallos geológicos o ejes de pliegues, por ejemplo.

NOTA II.

Cuando la masa rocosa tiene varias discontinuidades, se recomienda tomar como primera aproximación las características de la familia más desarrollada con las propiedades que reflejen el menor valor asignado. Si las operaciones de campo no concuerdan con el tipo de remoción predicho con la clasificación propuesta, se pueden utilizar parámetros promedio de las características de las distintas discontinuidades.

NOTA III.

Cuando existan diaclasas abiertas y estén rellenas con materiales o minerales duros tales como cuarzo o calcita, se recomienda aumentar el valor asignado correspondiente a la escala siguiente.

NOTA IV.

En los casos de avance de excavación perpendicular al rumbo de la discontinuidad más desarrollada, las operaciones de campo deberán organizarse de forma tal que se avance en el mismo sentido del buzamiento, como se ha considerado en los casos 4 y 5. Si por razones de espacio y factibilidad de vías de acceso no es posible cumplir con esta recomendación, el valor asignado correspondiente deberá ser aumentado a la escala siguiente.

NOTA V.

Cuando la masa rocosa esté constituida por alternancia de intervalos duros y blandos, se deberán tomar decisiones mediante pruebas de campo. Es evidente que una mototralla empujada por un bulldozer, no puede estar levantando frecuentemente la cuchilla cada vez que se encuentre con un intervalo duro. La presencia del intervalo duro es fácil de detectar en el

campo, porque la cuchilla se tranco y el bulldozer patina sin avance. A juicio del suscrito, en base a pocos casos encontrados, se recomienda como punto de partida establecer que si la masa rocosa tiene más de un 30% de intervalos duros intercalados con blandos, la eficiencia de la mototroilla se pierde y es preferible escarificar previamente.

NOTA VI.

Cuando no se disponga de sondeos geofísicos, se puede descartar el valor asignado correspondiente y sumar los valores asignados a los otros factores. En estos casos para fines de clasificación y determinación del tipo de remoción, se deberán utilizar los valores totales "sin geofísica", indicados en el cuadro correspondiente a la sumatoria de valores.

NOTA VII.

Cuando no se disponga de sondeos geofísicos y la suma de los valores asignados de los demás factores excluyendo el "Rumbo y Buzamiento", no supera un valor total de 20, se deberá descartar el valor asignado por ese factor y considerar el material como de remoción convencional.

NOTA VIII.

En los casos de rocas metamórficas donde la foliación o esquistosidad es la discontinuidad más desarrollada y existen muy pocas diaclasas, se seleccionará ésta para estimar los valores asignados en la Tabla 1. La esquistosidad no es una diaclasa o plano de fractura y por lo tanto para la determinación de sus propiedades, se requiere experiencia geológica de campo. Para fines de "apertura", si se encuentran intervalos duros interfoliados con blandos (metareniscas duras y filitas blandas, por ejemplo), la esquistosidad puede considerarse abierta y rellena por dichos intervalos blandos.

NOTA IX.

En las rocas sedimentarias, la estratificación debe considerarse como una discontinuidad y se le aplica el mismo criterio anterior para el caso de estratos duros y blandos interestratificados. (Areniscas o calizas duras y lutitas blandas, por ejemplo.)

NOTA X.

La clasificación no es aplicable al caso de suelos cementados duros. La definición de su tipo de remoción es función del grado de cementación, por lo tanto, se recomiendan pruebas de campo.

TABLA 1
CLASIFICACION DEL TIPO DE REMOCION (WEAVER - SALCEDO) *

Clase de roca Descripción Velocidad estándar Valor asignado	I Muy Buena 7250 m/a 26	II Buena 2150-1850 m/a 24	III Regular 1850-1500 m/a 20	IV Pobre 1500-1200 m/a 12	V Muy pobre 1200-450 m/a 5
Dureza de la roca Descripción	RL > 50 Extremadamente dura Requiere muchos golpes de martillo de golpeo para romper material intacto. Resuma al golpear con martillo.	RL: 20-30 Muy dura Muestra de masa resaca mas de un golpe de martillo para quebrarse Resuma al golpear con martillo.	RL: 10-20 Dura No puede ser rayada con navaja blanda de masa se rompe con golpes firmes de martillo. Resuma al golpear con martillo.	RL: 10-20 Blanda Puede ser rayada con navaja blanda firme con la punta del martillo de golpeo promedio de 1 a 3 m. Golpes de martillo producen sondas opacadas.	RL: 0 Muy blanda Puede ser desmenuada con navaja blanda. Resuma con golpes firmes de martillo. Con presión de los dedos se producen pedruzcos de hasta 3 mm de tamaño.
Valor asignado	10 $\sigma_c > 70 \text{ MPa}$ $I_p > 3$	5 $\sigma_c: 10-25$ $I_p: 1-3$	2 $\sigma_c: 10-25$ $I_p: 0.4-1$	1 $\sigma_c: 3-10$ $I_p < 0.1$	0 $\sigma_c < 1$
Metamorfosis de la roca Descripción	Fríasca La masa necesita composición química heterogénea y estructura cristalina discontinua generalizada cerrada. No hay decoloración.	Ligeramente metamorfizada Las propiedades de la masa resaca han disminuido. Los bloques de resaca al ser golpeados muestran ligera decoloración.	Metamorfizada Roca decolorada: discontinuidades pueden ser evidentes. Atención: cuando se golpea la roca se muestra un patrón de fractura de la roca.	Altera mas metamorfizada Masa mas decolorada; discontinuidades evidentes. Atención: cuando se golpea la roca se muestra un patrón de fractura de la roca pero hay remanentes de roca menos metamorfizada.	Descompuesta Toda la masa necesita estar decolorada y con discontinuidades evidentes. Atención: cuando se golpea la roca se muestra un patrón de fractura de la roca pero hay remanentes de roca menos metamorfizada.
Valor asignado	9	7	5	3	1
Empacamiento de discontinuidades Valor asignado	> 3 m 30	3 - 1 m. 25	100 - 30 cm. 20	30 - 5 cm. 10	< 5 cm. 5
Persistencia (Cantidad de asedada) Valor asignado	Muy baja persistencia (K/m.) 5	Baja persistencia (1-3 m) 5	Persistencia media (3-10 m) 3.	Alta persistencia (10-20 m.) 2	Muy alta persistencia (> 20 m.) 1
Abertura y relleno de diaclasas Valor asignado	Cerrada 5	Ligeramente abierta (0.25 - 0.50 mm) 5	Abierta: 0.5 - 2.5 mm 4	Muy abierta: 2.5 - 5.0 mm. 3	Extremadamente abierta > 5 mm 1
Rumbo y bitornio Valor asignado	Muy desfavorable 15	Desfavorable 13	Ligeramente desfavorable 10	Favorable 5	Muy favorable 3
Sumatoria de valores asignados a) Total b) $\frac{100 \cdot \text{seg}(\text{valor})}{100}$	100-85 80-60	85-70 60-50	70-50 50-30	50-25 30-20	< 25 < 20
Tipo de remoción	Voladura	Voladura y escarificación (Baqueo combinado)	Escarificación difícil	Escarificación normal	Escarificación convencional
Cabellos de fuerza del tipo de tractor requerido Véase tabla 2	Explosivos	650-750 HP	410-450 HP	300-350 HP	140-223 HP

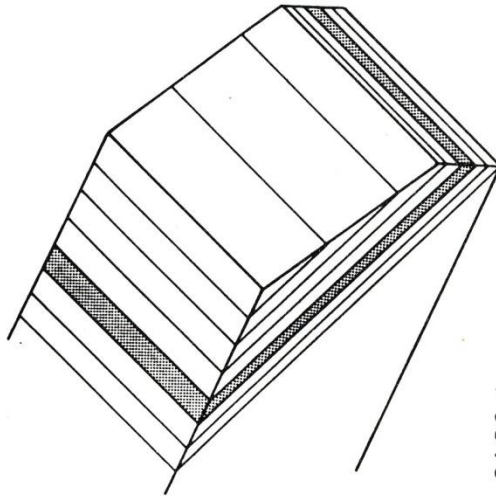
* SEGUN WEAVER (1975), MODIFICADA Y ADAPTADA POR D. SALCEDO (1984-1986)

NOTA: LA CLASIFICACION DEBE SER UTILIZADA EN CONJUNTO CON NOTAS COMPLEMENTARIAS, BLOQUES DIAGRAMATICOS Y TABLA 2, ANEXOS

RL: Rebote con martillo de Schmidt tipo L
 I_p: Índice de percutibilidad
 I_p: Índice de carga puntual
 σ_c: Compresión uniaxial

TABLA 2
TABLA COMPARATIVA DE TRACTORES (BULLDOZERS)

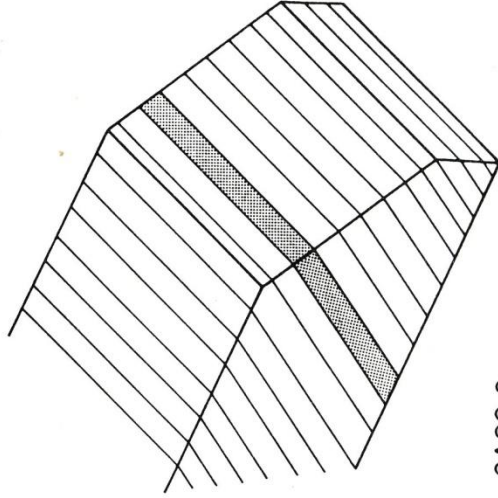
COMPAÑIA	TIPOS DE EQUIPOS Y CABALLOS DE FUERZA									
	D6D 140HP	D7G 200HP	D8L 335HP	D9L 460HP	D10 700HP	DIIN 750HP	D65E6 155HP	850 145HP	TD15C 140HP	I4C 140HP
CATERPILLAR										
KOMATSU		D80A-18 220HP	D155-1 320HP	D355-3 410HP	D455A 650HP					
JOHN DEERE										
INTERNATIONAL DRESSER		TD20E 210HP	TD25E 310HP							
FIAT ALLIS		FD20 223HP	FD30 300HP	F/A31 425HP						



CASO 1

DIRECCION DE EXCAVACION: Paralela al rumbo de discontinuidad

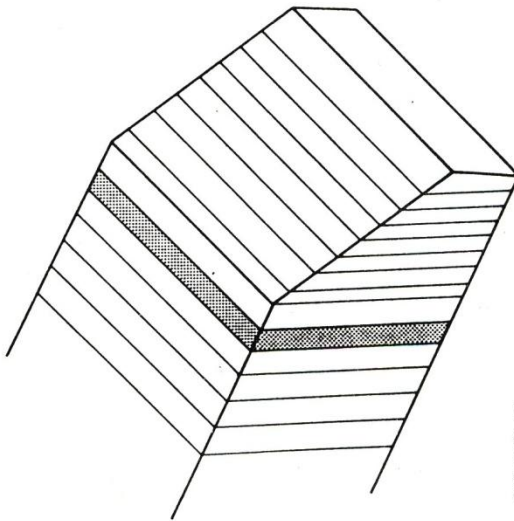
<u>BUZAMIENTO</u>	<u>CLASIFICACION</u>	<u>VALOR</u>
20° - 70°	Ligeramente desfavorable	10



CASO 2

DIRECCION DE EXCAVACION: Paralela al rumbo de discontinuidad

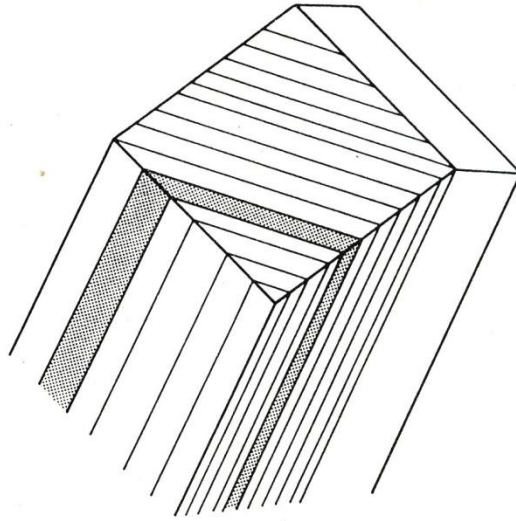
<u>BUZAMIENTO</u>	<u>CLASIFICACION</u>	<u>VALOR</u>
20° - 70°	Desfavorable	13



CASO 3

DIRECCION DE EXCAVACION: Paralela al rumbo de discontinuidad

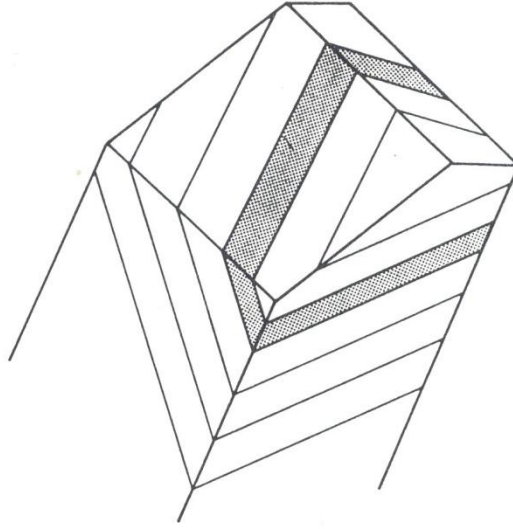
<u>BUZAMIENTO</u>	<u>CLASIFICACION</u>	<u>VALOR</u>
70°-90°	Muy desfavorable	15



CASO 4

DIRECCION DE EXCAVACION: Perpendicular al rumbo de discontinuidad

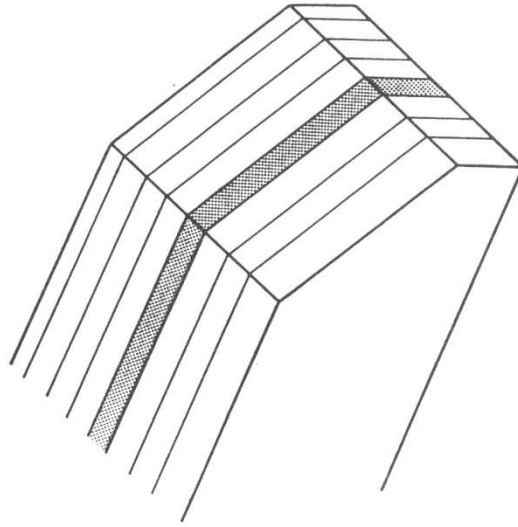
<u>BUZAMIENTO</u>	<u>CLASIFICACION</u>	<u>VALOR</u>
20°-45°	Muy favorable	3
45°-70°	Favorable	5



CASO 6

DIRECCION DE EXCAVACION: Oblicua al rumbo de discontinuidad

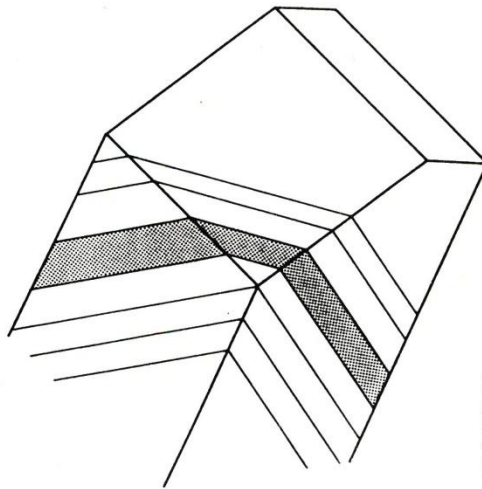
<u>BUZAMIENTO</u>	<u>CLASIFICACION</u>	<u>VALOR</u>
20°-70°	Ligeramente desfavorable	10



CASO 5

DIRECCION DE EXCAVACION: Perpendicular al rumbo de discontinuidad

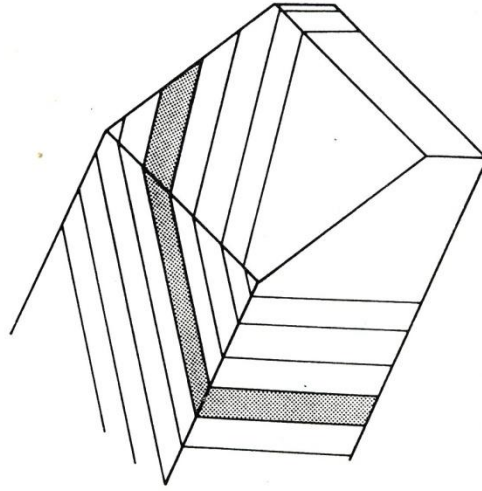
<u>BUZAMIENTO</u>	<u>CLASIFICACION</u>	<u>VALOR</u>
70°-90°	Ligeramente desfavorable	10



CASO 7

DIRECCION DE EXCAVACION: Oblicua al rumbo de discontinuidad

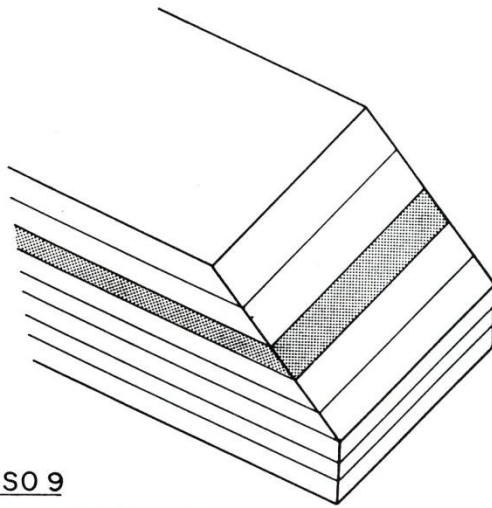
BUZAMIENTO	CLASIFICACION	VALOR
20° - 70°	Desfavorable	13



CASO 8

DIRECCION DE EXCAVACION: Oblicua al rumbo de discontinuidad

BUZAMIENTO	CLASIFICACION	VALOR
70° - 90°	Desfavorable	13



CASO 9

BUZAMIENTO: 0°-20°

<u>ESPEJOR DE INTERVALO (e)</u>	<u>CLASIFICACION</u>	<u>VALOR</u>
e > 0.35 m	Muy desfavorable	15
e < 0.35 m	Desfavorable	13