



ROCAS EN ZONAS DE FALLA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN

DEPTO. DE BIBLIOTECAS
BIBLIOTECA MINAS

OSWALDO ORDÓÑEZ CARMONA

Departamento de Recursos Minerales, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

RESUMEN. En los proyectos de infraestructura civil, en donde la geología e ingeniería civil deben trabajar en conjunto, caracterizando e identificando unidades y procesos de incidencia directa para las obras, es fundamental establecer, como mínimo, un lenguaje común y comprensible para el óptimo desarrollo de los proyectos. El uso correcto de una terminología para los procesos y materiales presentes en una zona de deformación mecánica (metamorfismo dinámico), así como el origen y parte de su comportamiento son presentados en este trabajo.

Términos o palabras como roca cizallada, brechas, milonitas, fallas, etc., serán caracterizados y ejemplificados con sitios en donde pueden ser observadas las características básicas que ayudan a definirlos y entenderlos con mayor facilidad.

PALABRAS CLAVES: brecha, falla, milonita, salvanda, elipsoide de deformación, clastos

ABSTRACT. In construction projects, in which civil engineers and geologists have to work together for identifying and characterizing units and processes which affect the structure directly, it is essential to establish a common language. The present paper deals with the proper use of terms that concern processes and materials found in mechanical deformation zones (dynamic metamorphism), its origin and behavior. Description and terms like shear rock, breccia, mylonite, fault, will be characterized and exemplified at places where their main features can be observed, to help defining and understanding them easily.

KEY WORDS. breccia, fault, mylonite, gouge, deformation ellipsoid, clasts.

INTRODUCCIÓN

En los pocos años, realizando estudios geológicos aplicados a proyectos civiles, se ha procurado que tanto geólogos como ingenieros civiles utilicemos una terminología técnica - científica común para la denominación de los diferentes aspectos que regularmente son objeto de estudio. Destacándose, que tanto geólogos como ingenieros civiles, en muchos casos, tienen serias diferencias y manifiestan deficiencias en lo que respecta a la claridad conceptual y genética de los fenómenos y productos asociados a las zonas afectadas por deformación mecánica, así como lo que ello representa para el desarrollo de un proyecto ingenieril.

La denominación correcta de las unidades litológicas que están asociadas con las zonas de deformación es uno de los aspectos que debe ser clarificado y asimilado con la finalidad de establecer un lenguaje único al interior de una empresa o de un grupo de trabajo interdisciplinario. Igualmente, el saber que se genera en zonas de falla?, que tipos de rocas y texturas están presentes y como es su interpretación estructural?, son algunos de los interrogantes que preliminarmente tratan de ser resueltos en este trabajo.

1. METAMORFISMO DINÁMICO O CATACLÁSTICO

La expresión Zonas de Cizallamiento (*shear zones*) es usada para caracterizar regiones de la corteza terrestre generalmente estrechas, subparalelas y que están

contenidas en un plano regional, en donde son registradas altas tasas de deformación (Ramsay, 1980).

El metamorfismo dinámico se puede desarrollar en cualquier tipo de roca y se da a lo largo de planos o zonas de falla, como resultado de deformación intensa en la zona inmediata del movimiento, generando áreas planas relativamente estrechas donde se da una fuerte trituración de la roca o deformación frágil hasta una deformación dúctil entre las rocas encajantes menos deformadas, a lo largo de las cuales, los marcadores como bandas o diques son dislocados. La deformación o comportamiento frágil se asocia a la formación de discontinuidades (fracturas) y pérdida de cohesión interna de las rocas, en otras palabras la roca se fractura. Por otro lado, el comportamiento dúctil se refiere a la distribución "suave - uniforme" de la deformación a través de una masa rocosa sin la pérdida de cohesión, la roca se deforma "plásticamente", se recrystaliza pero no se fractura.

En la zona de incidencia directa de la falla, las rocas influenciadas desarrollan estructuras subparalelas al plano principal del elipsoide de deformación y perpendiculares a la dirección de adelgazamiento máximo, siendo estas fracturas (diacclas) o estructuras del tipo soliación. El elipsoide es el producto de la deformación de una "esfera ideal" y este puede ser identificado microscópicamente, en afloramiento o regionalmente a través de los valores del rumbo y buzamiento de las fracturas asociadas a la dinámica de la falla.

Frecuentemente, la deformación mecánica esta acompañada por recristalización o por crecimiento de minerales hidratados debido al movimiento de fluidos en la zona de deformación, generándose rocas de difícil identificación, clasificación y explicación.

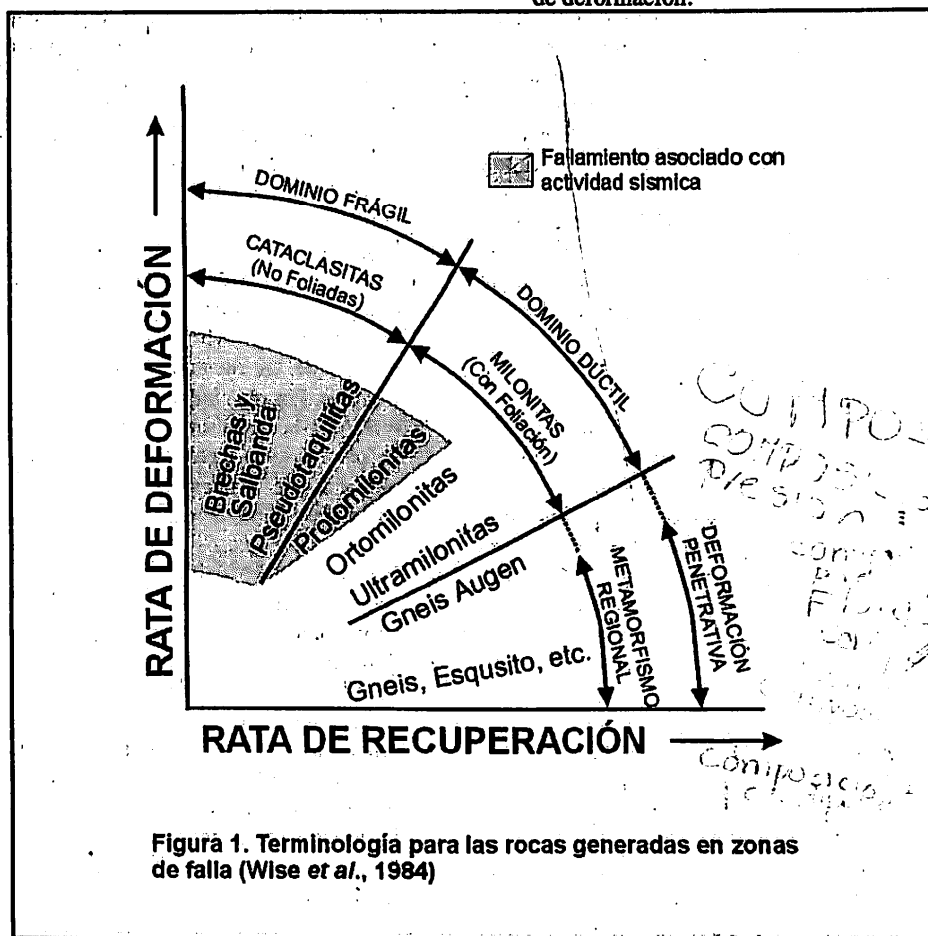
Una roca puede ser deformada o afectada dinámicamente de diversas formas, lo cual va a depender de la interacción de factores externos y de los inherentes a ella, con ello una misma falla presenta diferentes comportamientos de una roca a otra o incluso cuando afecta a la misma unidad. Entre los factores que se destacan están:

- Tamaño del grano, composición y tipo de roca
- Orientación preferencial de la red cristalina
- Porosidad, permeabilidad, densidad
- Estructuras presentes en la roca (esquistosidad, bandeamiento, etc.)
- Temperatura y presión litostática local
- Composición y presión de los fluidos metamórficos
- Tasa de deformación impuesta globalmente.

2. PRODUCTOS Y CLASIFICACIONES

La clasificación, definición y las características de las rocas generadas en las zonas de intensa deformación se basa en la combinación de lo propuesto por Wise *et al.*, (1984) quienes consideran la competencia entre la rata de deformación y la de recuperación (Fig. 1) y lo sugerido por Sibson (1977) basado en la proporción de clastos - matriz de las rocas generadas por fallamiento. Para establecer esta relación se considera matriz al material fino (<0.06 mm) y clastos a los fragmentos minerales o de roca con diámetros > 0.06 mm.

Igualmente, en la zona de falla o cizallamiento, la distribución de las diferentes rocas y los regímenes de deformación respecto a la profundidad se presenta en la Figura 2. Como puede observarse, un producto o tipo de roca presente en una zona de falla esta íntimamente asociado con la profundidad de generación y con el régimen de deformación, de ahí la importancia en identificar y caracterizar geológicamente los procesos y asociaciones texturales de los materiales presentes en las zonas de deformación.



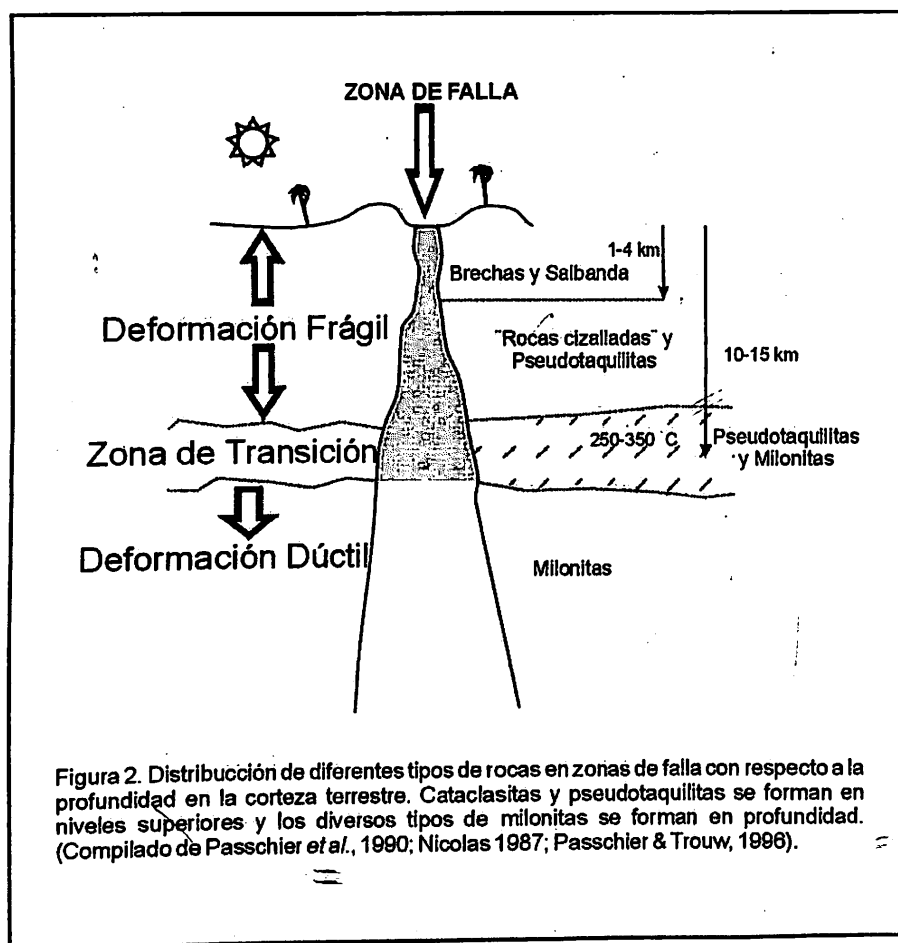
2.1. Zona de fallamiento frágil

Considerando la Figura 2, en la zona de fallamiento frágil, la que puede alcanzar 3 a 4 km de profundidad, las condiciones de temperatura y presión no son suficientes para posibilitar la recrystalización de las rocas y el mecanismo de deformación que predomina es la cataclasis (fragmentación o ruptura de la roca). Por consiguiente, la roca es fracturada desde incipiente hasta intensamente, generándose variados tipos de rocas, denominadas cataclasitas o brechas. Este tipo de roca o material es formado por una cantidad variable de fragmentos de granos y de litoclastos generalmente angulares cementados con fragmentos más finos (matriz) y por material proveniente de fluidos que se introducen por el plano de falla. La roca se clasifica de acuerdo a la cantidad de matriz generada durante la cataclasis en los siguientes tipos:

- **Brecha o protocataclasita:** 10 a 50% de matriz
- **Microbrecha o cataclasita:** 50 a 90% de matriz
- **Ultracataclasita o gouge (salvanda, jaboncillo o arcilla de falla):** > 90% de matriz. Este material mezclado con agua genera zonas localizadas y de poco espesor en donde aparece un material pastoso, en general semejante a una arcilla.

Materiales con contenidos de matriz <10%, son denominados simplemente como rocas fracturadas. Estas rocas aparecen en la zona más superficial de una falla o un poco alejadas de la zona de incidencia directa. Localmente, algunas de estas rocas pueden presentarse en pequeños bloques de formas cúbicas con aristas entre 30 y 10 cm, lo cual se da por la intersección de mínimo tres sistemas de diaclasas, las que por lo general, son paralelas a los planos del elipsoide de deformación asociado a la falla. Comúnmente, en estas zonas se establecen la mayor parte de las canteras y el término "zona de panelitas" es el usado para denominar afloramientos con estas características.

En general, sobre las cataclasitas se localizan algunos de los principales problemas de estabilidad de taludes y laderas, pero las microbrechas y la salvanda son de especial importancia o cuidado para el desarrollo de obras civiles. Una zona de falla caracterizada por la presencia de estas rocas es altamente inestable y es en donde más estudios detallados se realizan, bien sea para corregir problemas o para minimizar posibles patologías en los macizos a trabajar.



Rocas de la zona de deformación frágil son encontradas a lo largo y ancho de la zona de fallas Cauca-Romeral, así como en las varias decenas de sistemas de fractura que atraviesan el territorio colombiano. Actualmente, el desarrollo vial Aburrá-Cauca ofrece didácticos afloramientos de este tipo de roca.

Un tipo especial lo puede constituir las denominadas "**Rocas cizalladas**". Este termino ambiguo, pero muy radicado en la terminología ingenieril, se utiliza para aquellas rocas afectadas por metamorfismo dinámico, en donde se desarrolla una estructura plana repetitiva, a nivel de afloramiento, muy similar con una esquistosidad, que las asemeja con rocas metamórficas regionales. El nivel estructural corresponde desde la zona frágil hasta la zona de transición frágil - dúctil. Esta estructura se desarrolla sobre rocas de grano fino o en rocas con estructuras planas preexistentes. Ejemplos de este tipo de roca se observan en la vía que comunica a las cabeceras municipales de Santafé de Antioquia con Anzá.

Pseudotaquilita: A partir de la zona de cizallamiento dúctil - frágil y hasta la zona de fallamiento frágil y por fusión local de la roca a lo largo de un plano de falla frágil, se forma una pseudotaquilita debido al calor generado por el movimiento friccional (importante la temperatura), o posiblemente, en algunos casos, por cataclasis intensa (importante la presión). El pequeño volumen de material fundido y generado se enfría rápidamente, influenciado por la temperatura de la roca huésped, generándose finas vetas de material fino o vítreo (de ahí el término pseudotaquilita) en las cuales pueden aparecer fragmentos aislados principalmente de cuarzo y feldespato. Los contactos de la pseudotaquilita con la roca huésped son bruscos, inclusive en sección delgada. Generalmente, la pseudotaquilita ocurre en rocas macizas, secas, poco porosas, como gabro, gneis y anfibolita. En rocas porosas, el fluido presente baja la presión normal efectiva sobre el plano de falla en calentamiento y consecuentemente no se puede producir suficiente calor friccional para causar una fusión local. De este modo, una pseudotaquilita difícilmente se forma en rocas sedimentarias porosas. Como el evento que genera una pseudotaquilita es de corto tiempo, existe la posibilidad de realizar una datación y así identificar el momento en el cual una falla libero la energía para permitir la generación de este tipo de roca. La zona en donde pueden ser encontrada este tipo de rocas estaría ubicada a una profundidad entre 4-15 km (Fig. 2). En la zona de influencia de la falla de Sabanalarga pueden ser observados algunos afloramientos en donde esta roca ha sido generada por el movimiento rápido y brusco de esta falla.

2.2. Zona de fallamiento dúctil

En la zona de cizallamiento dúctil la deformación y recuperación son altas y los procesos de recrystalización y rehomogenización son los predominantes. De forma general, a este dominio se asocian rocas generadas a profundidades superiores a 10 km (Fig. 2). El término básico para las rocas que se generan en estas condiciones son las milonitas.

Milonita: es una **ROCA DURA** (material consistente, competente y resistente al choque mecánico), la cual presenta una foliación al menos microscópica, de grano generalmente fino y en la cual los granos preexistentes fueron deformados y recrystalizados. Frecuentemente, la apariencia general de la roca en afloramiento es placosa, así las muestras de mano no presenten un orientación mineral marcante. Generalmente, se tiene una matriz de grano fino la cual engloba relictos mayores, fracturados y tensionados, de los granos preexistentes de minerales resistentes, como feldespato y gránate. Estos relictos son conocidos como porfidoclastos (una milonita con porfidoclastos se genera a un nivel intermedio, en general a partir de la zona de cizallamiento que marca la transición frágil - dúctil) y la abundancia de estos en una roca define el tipo de milonita, así:

- **Protomilonita:** hasta 50% de matriz
- **Ortomilonita:** de 50 a 90% de matriz
- **Ultramilonita:** > 90% de matriz.

Algunos de los criterios para reconocer las milonitas son:

- foliación anastomosada (gran heterogeneidad de la deformación)
- reducción del grano en relación a las rocas adyacentes (encajantes)
- fuertemente foliadas y alineadas

Cuando estas rocas son ricas en filosilicatos (micas) se producen una milonita fuertemente laminada conocida como **Filonita**.

Considerando, que las rocas miloníticas representan ambientes profundos, o sea, se formaron a profundidades >10 km, la presencia de estas es importante para eventuales evaluaciones del levantamiento - erosión de una región o bien indican movimientos considerables en la vertical dentro de una zona de falla. La presencia de estas rocas en Colombia se restringe a la zona oriental la cual hace parte del Cratón Amazónico, así como algunas regiones del basamento metamórfico de la Cordillera Oriental, Sierra Nevada de Santa Marta

y el flanco este de la Cordillera Central específicamente en Puerto Berrio - Antioquia (Ordóñez *et al.*, 1999)

La transición entre la zona de dominio frágil a dúctil es generalmente gradual, y es llamada zona de transición (Fig. 2). En contraste, la transición entre un régimen que podríamos denominar semi - frágil y el dominio enteramente frágil, donde son formadas las brechas y la salvanda, es relativamente brusca, no obstante, no debe ser imaginada como un plano claramente definido en la corteza. Dentro de cualquier segmento de la litosfera y mismo dentro de una zona de cizalla de fuerte inclinación, la transición ocurrirá en una zona de geometría compleja. Si la zona de cizallamiento se extiende a través de una sección considerable de la corteza, rocas de dominio frágil y dúctil pueden ser formadas. De la misma forma en una zona de cizallamiento la introducción de fluidos favorece la reacción y formación de nuevos minerales, con lo que la presencia de asociaciones y texturas inusuales se ve favorecida en este ambiente.

3. CONSIDERACIONES GENERALES

Entre los aspectos a destacar en el presente estudio es lo referente a la terminología correcta que debe usarse con los productos asociados a zonas de falla. El término MILONITA, además de ser un tipo de material de falla, se refiere a rocas DURAS que presentan una foliación al menos microscópica y pertenecen a la zona de deformación dúctil, la cual se localiza a profundidades > 10 km.

A profundidades entre 4 y 10 km la deformación en las zonas de falla es en general del tipo transicional, o sea se tienen productos que presentan aspectos claros de deformación frágil pero que bien pueden tener asociaciones mineralógicas o texturales del dominio dúctil, siendo los productos más representativos las pseudotaquilitas y las denominadas "rocas cizalladas". El dominio enteramente frágil puede ser localizado a profundidades < 4 km, y las brechas y la salvanda son los tipos de materiales típicos de esta zona.

Considerando las condiciones geológicas de nuestro territorio, las rocas del dominio enteramente frágil son más características de fallas con actividad cenozoica, como es el caso de las fallas o Sistemas Cauca, Romeral, Palestina, Bucaramanga, etc. Sobre los corredores de influencia de estas fallas los deslizamientos, inestabilidad de taludes, zonas de rocas fracturada, etc., se constituyen en sus expresiones más significativas desde el punto de vista ingenieril y son estos los aspectos más relevantes a considerar durante el desarrollo de proyectos de infraestructura.

Por otro lado, el dominio dúctil de las zonas de falla (rocas del tipo milonitas), es más común de encontrar

en fallas que han tenido una evolución con edades hasta precámbricas y que por los procesos del levantamiento - erosión de los Andes ha sido posible su afloramiento en superficie. Localmente, las fallas de dominio frágil pueden exponer rocas miloníticas y este aspecto reviste importancia si estamos considerando evaluar la rata de movimiento vertical que una falla pueda tener en un sector determinado. Este caso en especial se observa en algunas áreas de incidencia directa de los sistemas de fallas de Romeral, Cauca, Palestina, y ello debe interpretarse como resultado de movimientos verticales de las fallas, ya que estas rocas representan ambientes de formación profundos (> 10 km).

Finalmente, debemos destacar que para las obras de ingeniería lo mas importante a determinar en una zona de falla es:

- Tipo de cizallamiento o fallamiento. Determinado a partir de los productos presentes en la zona de falla (brechas, salvanda o rocas miloníticas). Ello nos indicará el nivel estructural que la zona de deformación tiene a lo largo del área de influencia del proyecto a ejecutar.
- Dirección de los esfuerzos de deformación. Con esto se determina el tipo de falla, así como su posible evolución regional.
- Niveles estructurales presentes en la zona de falla. Fundamental para considerar el tipo de estructuras y comportamiento que el macizo afectado por la falla, presente en su zona de influencia directa.
- Comportamiento general de la falla (grado de actividad). Valido para ser considerado en represas y edificaciones.
- Zona de influencia. Dependiendo de la obra a realizar esta zona podrá ser definida regional o localmente.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se realizó gracias a la Empresa INTEGRAL S. A., en donde el trabajo interdisciplinario y amplio en los proyectos de ingeniería fue la semilla para su realización. A Uwe Martens, Jorge Julián Restrepo A. y Patricia Angel C por sus valiosos aportes y comentarios. Al Ingeniero Hector de la Cruz, por sus importantes anotaciones. A la Universidad Nacional de Colombia por el apoyo incondicional.

REFERENCIAS

NICOLAS, A. Principles of rock deformation. D. Reidel Publishing Company, 203p. 1987.

ORDÓÑEZ, O.; PIMENTEL, M. M.; MORAES, R. & RESTREPO, J. J. Rocas Grenvillianas en la región de Puerto Berrio-Antioquia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 23(87): 225-232. 1999.

PASSCHIER, C. W. & TROUW, R. A. J. Microtectonics. Springer, Berlin Heidelberg New York, 289p. 1996.

PASSCHIER, C. W.; MYERS, JS. & KRÖNER, A. Field geology of high-grade gneiss terrains. Springer, Berlin Heidelberg New York, 188p. 1990.

RAMSAY, J. G. Shear zone geometry: a review. *Journal of Structural Geology*, 2 (1/2): 88-99. 1980.

SIBSON, R.H. Fault rocks and fault mechanisms. *Journal Geology Society of London*, 133:191-213. 1977.

WISE, D. U.; DUNN, D. E.; ENGELDER, J. T.; GEISER, P. A.; HATCHER, R. D.; KISH S. A.; ODOM, A. L. & SCHAMEL, S. Fault related rocks: suggestions for terminology. *Geology*, 12:391-394. 1984.