

ANÁLISIS DE MICROESTRUCTURAS FRÁGILES

En zonas de cizalla frágil-dúctil

Los modelos de deformación en la corteza superior que intentan explicar el comportamiento de las rocas en un entorno frágil acuden, como hemos visto al principio, a conceptos como el de fricción interna o fricción al deslizamiento en fallas por cizalla. El modo de fracturación tensional es también importante, sobre todo a nivel de deformación interna, para explicar cambios de volumen durante la deformación frágil. Sin embargo, más allá del punto de rotura, las rocas pueden mostrar un comportamiento dúctil. En concreto, y en función de las condiciones reológicas, se puede encontrar una transición más o menos continua de formas estructurales, tanto en fallas tensionales (Fig. 64), como en las de cizalla, con formas intermedias desde las fallas puras, a las zonas de cizalla frágil-dúctil y hasta las zonas de cizalla dúctil (Fig. 65).

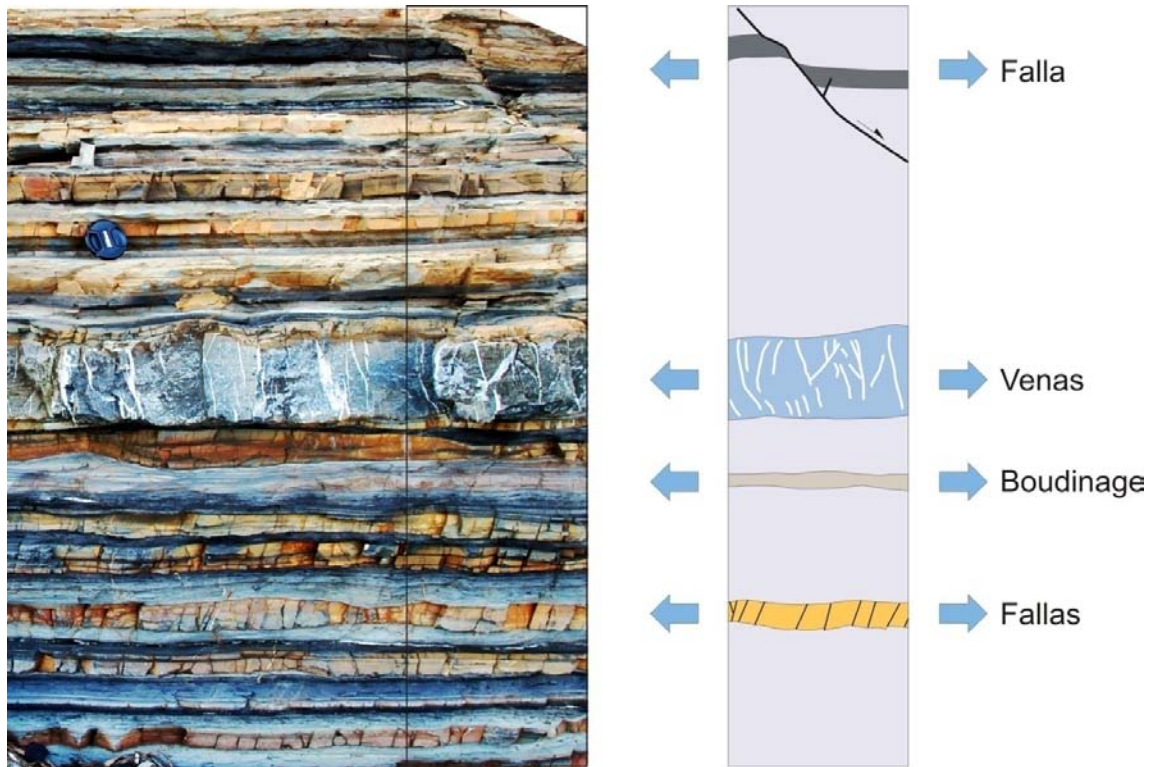


Figura 64. Estratos carboníferos estirados paralelamente a la estratificación (Cala Tirant, Menorca). En función de la reología (potencia, composición), la extensión se acomoda mediante deformación dúctil (Boudinage), fallas tensionales (Venas) o fallas de cizalla (Falla).

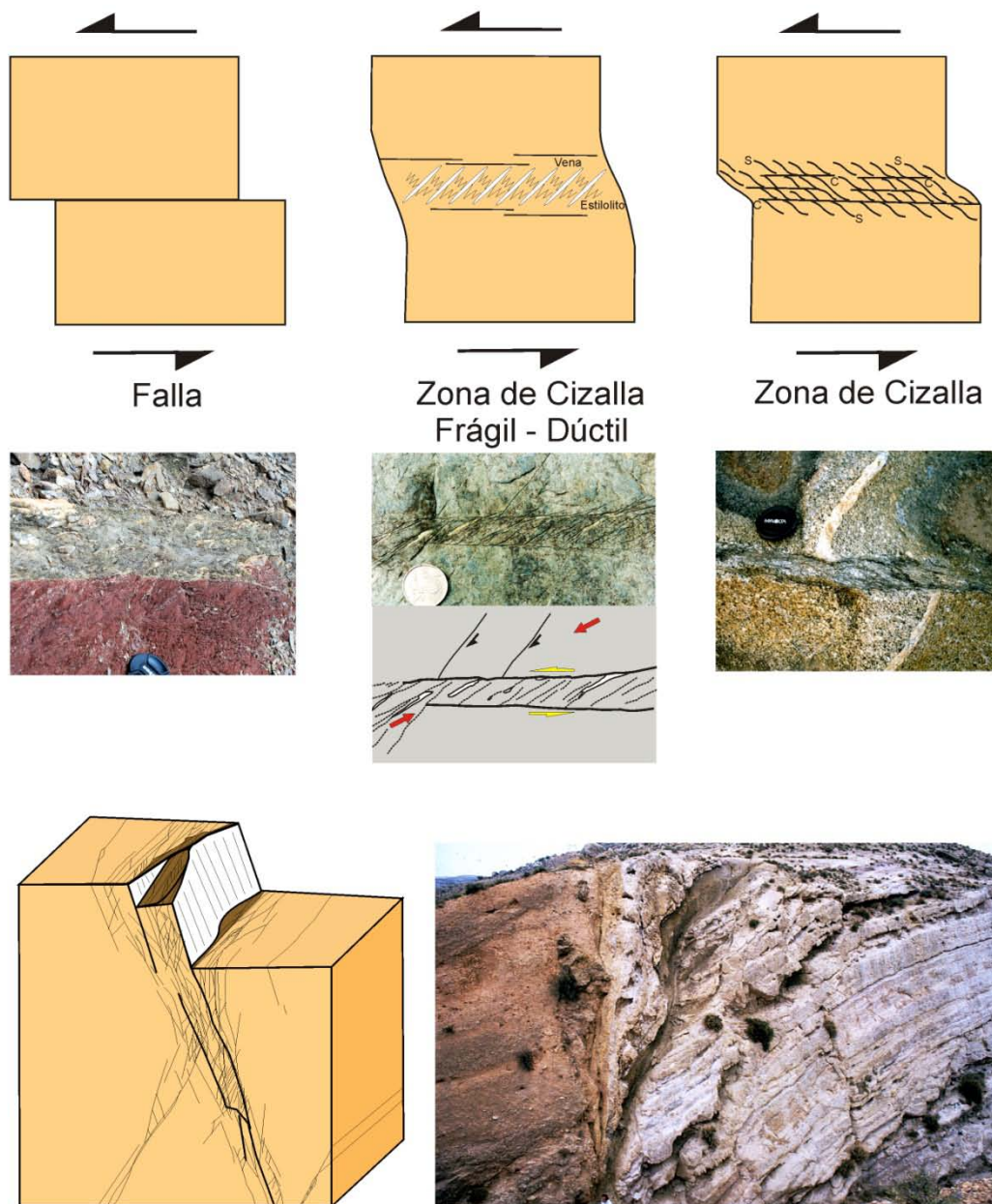


Figura 65. Las rocas pueden mostrar un comportamiento dúctil, no sólo frágil. En concreto, y en función de las condiciones reológicas, se puede encontrar una transición más o menos continua de formas estructurales, desde las fallas a las zonas de cizalla frágil-dúctil y hasta las zonas de cizalla. Abajo, la falla de Concud que limita al E la fosa tectónica de Teruel, con un pliegue de arrastre (dúctil).

Las estructuras más frecuentes en las zonas de cizalla son las **estructuras S-C**, que representan planos de esquistosidad (S) y de deslizamiento (C), que permiten deducir el movimiento y la orientación del máximo acortamiento (perpendicular a los planos S). En las zonas de cizalla frágil-dúctil, las estructuras más abundantes son los sistemas **escalonados de venas** (Fig. 66), cuya dirección nos da la del máximo acortamiento. En este entorno pueden también aparecer planos de esquistosidad groseros (Fig. 67) o **juntas estilolíticas** con la misma orientación que los planos S, aunque los picos nos dan directamente la orientación del máximo acortamiento. Con frecuencia las estructuras de aplastamiento forman estructuras anastomosadas o en **dúplex**.

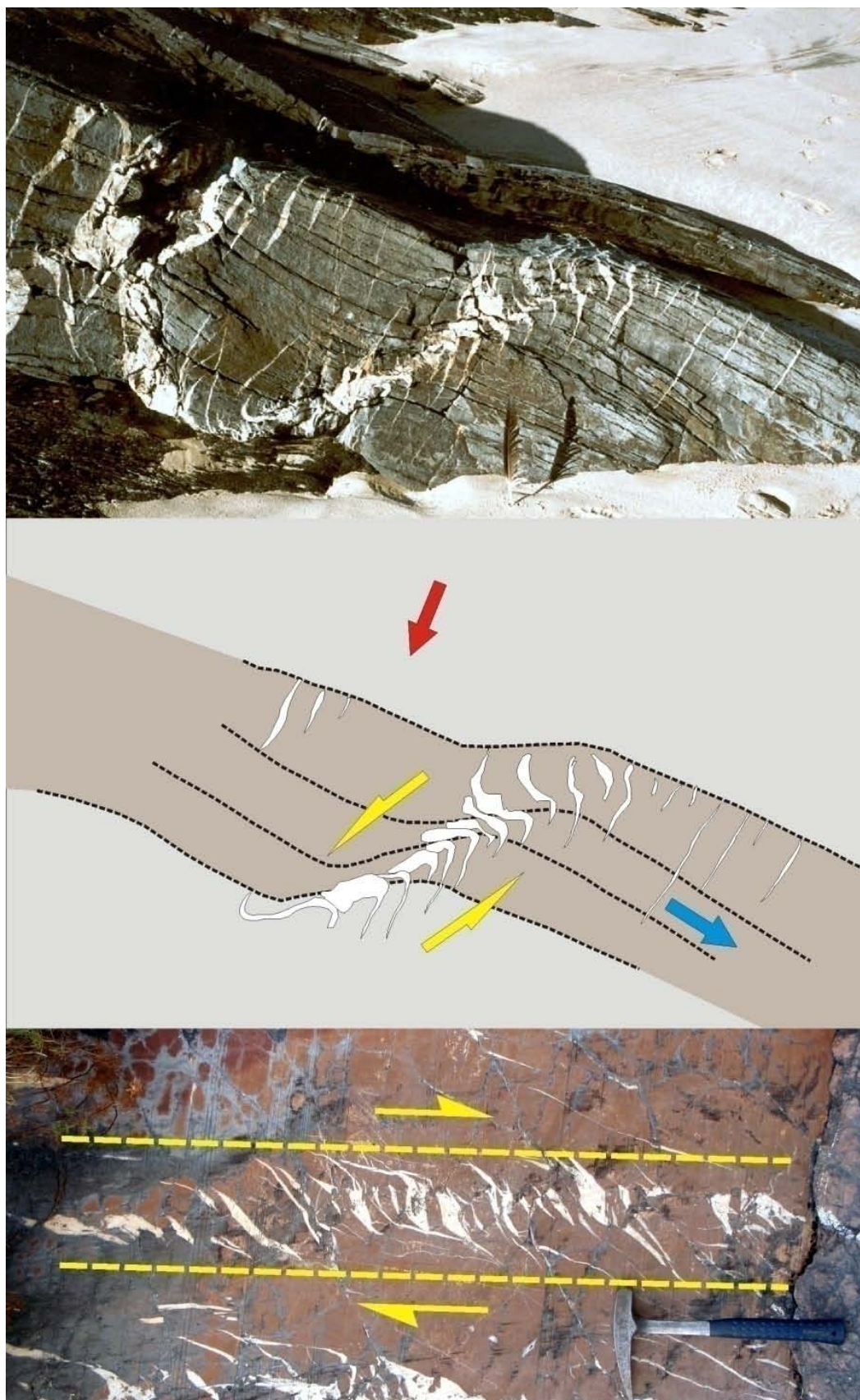


Figura 66. En las zonas de cizalla frágil-dúctil, las estructuras más abundantes son los sistemas escalonados de venas. Playa de Espasante (A Coruña).

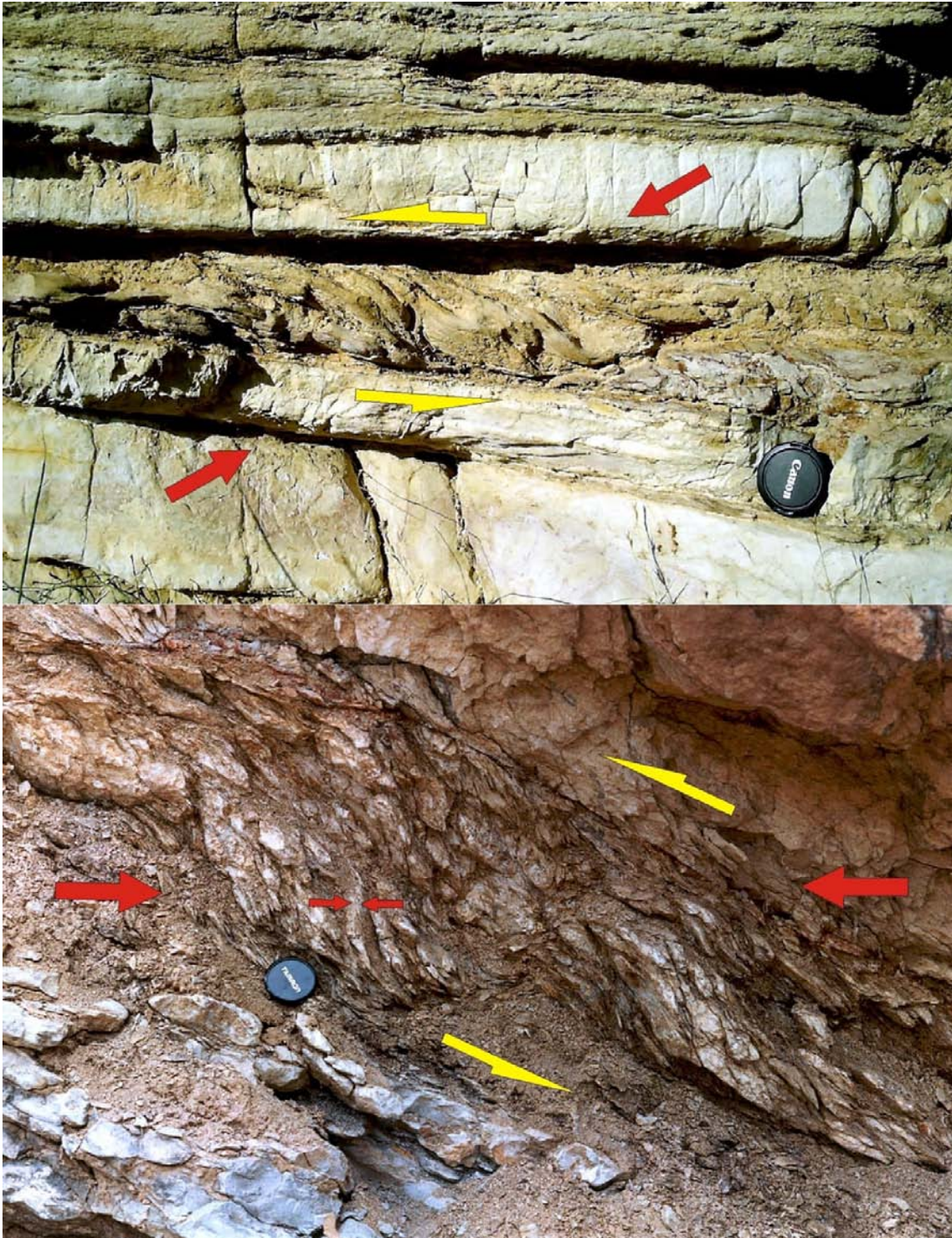


Figura 67. Zonas de cizalla frágil-dúctil. Planos de esquistosidad groseros con la misma orientación que los planos S y estructuras de aplastamiento con formas anastomosadas o en *dúplex*. Arriba, calizas del Cretácico Superior en el Pontón de la Oliva (Madrid). Abajo, en Poveda de la Sierra (Guadalajara).

Sin embargo, la mayor parte de las fallas naturales presentan asociaciones de microestructuras y planos secundarios bastante más compleja). En algunos casos resulta posible identificar fracturas secundarias denominadas R y R' (de Riedel) (Fig.

68), que se orientan a ángulos agudos desde el máximo acortamiento en las zonas de fractura.

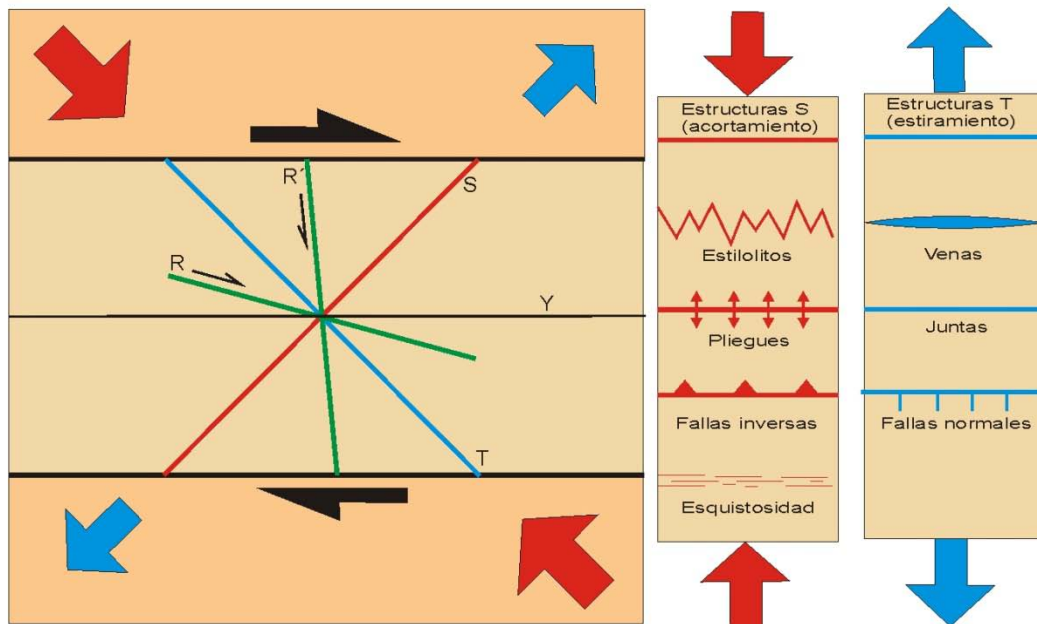


Figura 68. Fracturas secundarias R y R', de Riedel (verde). En rojo los planos S (aplastamiento) y en azul los T (fracturas tensionales). En la derecha se dibujan el tipo de estructuras que pueden aparecer según ambas orientaciones. Flechas rojas: máximo acortamiento. Azules, máxima extensión.

Los **estilolitos** son estructuras de presión-disolución muy comunes en calizas (Fig. 69) que, en corte dan formas onduladas con picos más o menos agudos, mientras que si se observan en 3D, el aspecto es de conos muy apretados. La medida de la orientación de estos picos, nos proporciona directamente la dirección de acortamiento, que normalmente coincide con los ejes principales compresivos del tensor de esfuerzos. Si los picos no son perpendiculares al plano que los contiene, los esfuerzos de cizalla producirán algún tipo de deslizamiento, con lo que se forman **estrilolitos** (o estilolito-estrías).

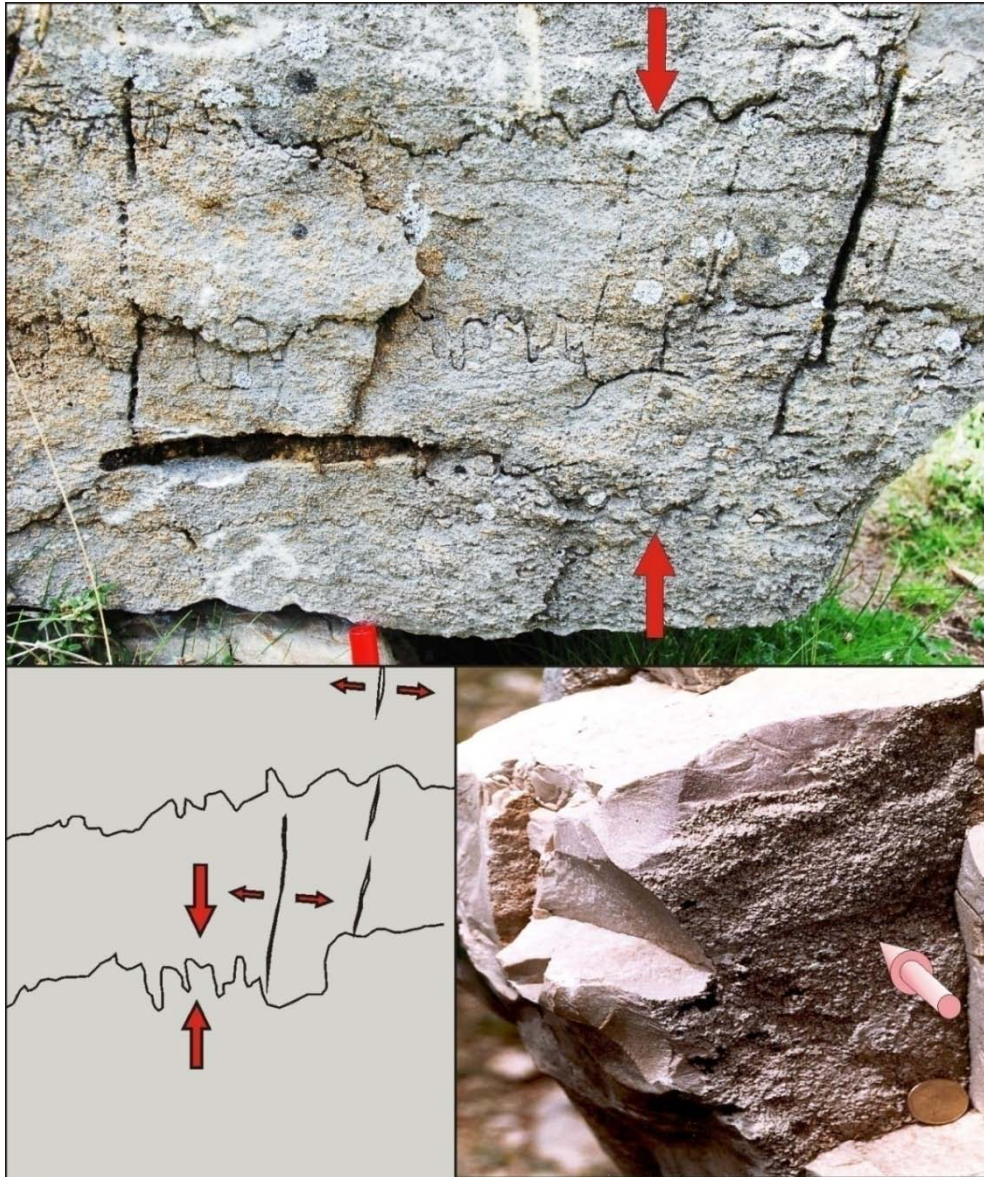


Figura 69. Arriba, estilolitos en corte en calizas devónicas de la Cordillera Cantábrica (San Emiliano, León). Abajo, estilolitos en 3D en la formación Cuevas Labradas (corte del río Gallo, Alto Tajo, Guadalajara).

En la superficie de los planos de falla

El modelo más simple para la fricción en rocas consiste en un bloque intacto que desliza sobre una discontinuidad (falla) sin asperezas. Pero las fallas no son nunca perfectamente planas, por lo que al moverse, las superficies opuestas se arañarán mutuamente produciendo estrías (Fig. 70). En las zonas en que haya un escalón en el plano, puede ocurrir que en él, los dos bloques de la falla se alejen o se acerquen. También, pequeños granos atrapados entre los dos labios pueden girar e incrustarse en uno de los bloques. El conjunto de estas microestructuras permiten obtener, no solo la dirección del movimiento relativo, sino el sentido del desplazamiento.

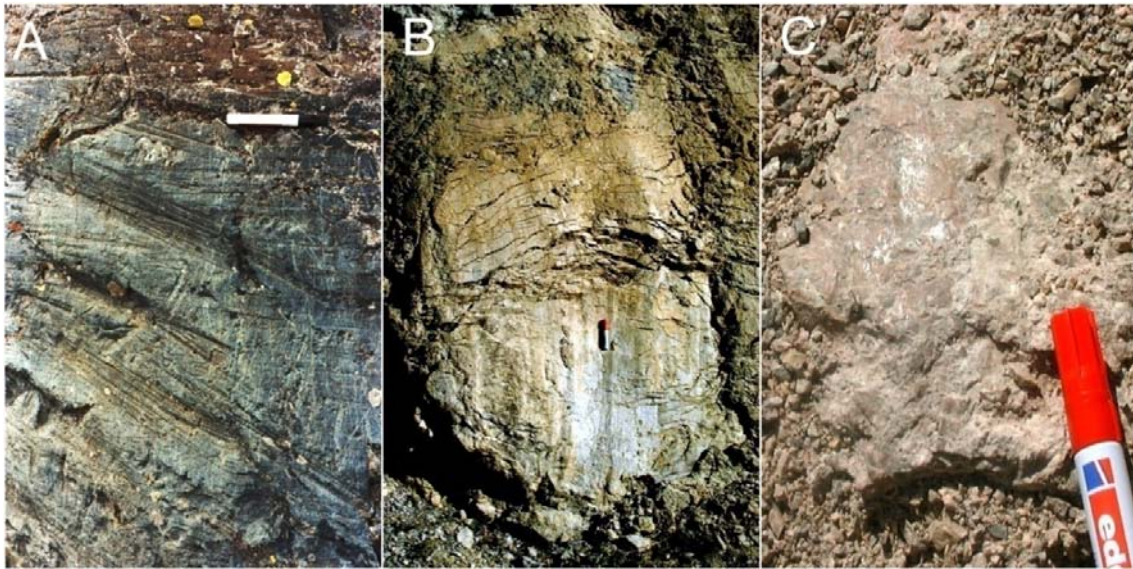


Figura 70. Superficies pulidas por el rozamiento entre bloques. A) Estrías glaciares (Ventana del Tauern, Austria). B) Estrías de falla donde se aprecia la dirección (no el sentido) del desplazamiento (Checa, Guadalajara). C) Superficie pulida (espejo de falla) en la base del manto de Somiedo (reactivación alpina) en Cospedal (León).



Figura 71. Sentido del desplazamiento a ambos lados de la falla para obtener el sentido del movimiento a partir de marcadores (en combinación con los mostrados en la Fig. 64). Arriba izquierda, pista de atletismo deformada por el terremoto (con mecanismo de falla inversa) de Chi-Chi (Taiwan). Abajo izquierda, falla inversa en las terrazas del río Jarama (Arganda, Madrid). Derecha, Canto del triásico desplazado por una falla secundaria del cabalgamiento del borde N del Sistema Central (Fuentenebro, Segovia).

En este sentido, la interpretación del sentido del movimiento en fallas parece sencilla, aunque como en el plano de falla pueden cortar otros planos secundarios, sólo vamos a mencionar los criterios más fiables (resumen en Fig. 75):

- **Desplazamiento de marcadores**

Si sólo se aprecian superficies pulidas como las de la fig. 70, puede acudir a observar el sentido del desplazamiento a ambos lados de la falla (Fig. 71) para obtener el sentido del movimiento.

- **Escalones de recristalización**

Como mencionábamos, si en un escalón de un plano de falla, ambos bloques se separan, se formará un hueco que es, en muchos casos aprovechado por fluidos saturados en minerales para formar cristales que lo rellenarán. En los planos de falla, estos escalones nos indican cuál ha sido el movimiento del bloque que falta en el sentido en el que es más fácil deslizar la mano (escalones positivos) (Fig. 72, arriba).

- **Escalones de estrilolitos**

Si los dos bloques de la falla chocan en el escalón, se podrán producir estructuras de presión-disolución similares a estilolitos con los picos inclinados respecto al plano de falla, en muchas ocasiones contenidos en el propio plano. En este caso, el sentido del movimiento del plano que falta es hacia donde es más difícil deslizar la mano (escalones negativos) (Fig. 72, abajo).

- **Cantos arrastrados**

Durante el proceso de brechificación asociado a una falla se forman cantos que pueden terminar embutidos en uno de los dos labios de la falla. Se producen así unas colas de arrastre que permiten deducir el sentido del movimiento del labio que falta: hacia donde se ha incrustado el canto (Fig. 73).

- **Escalones R**

Las fallas secundarias que cortan con un ángulo bajo al principal pueden interpretarse frecuentemente como fracturas escalonadas de tipo Riedel (R), permitiendo determinar también el sentido del movimiento (Fig. 74).

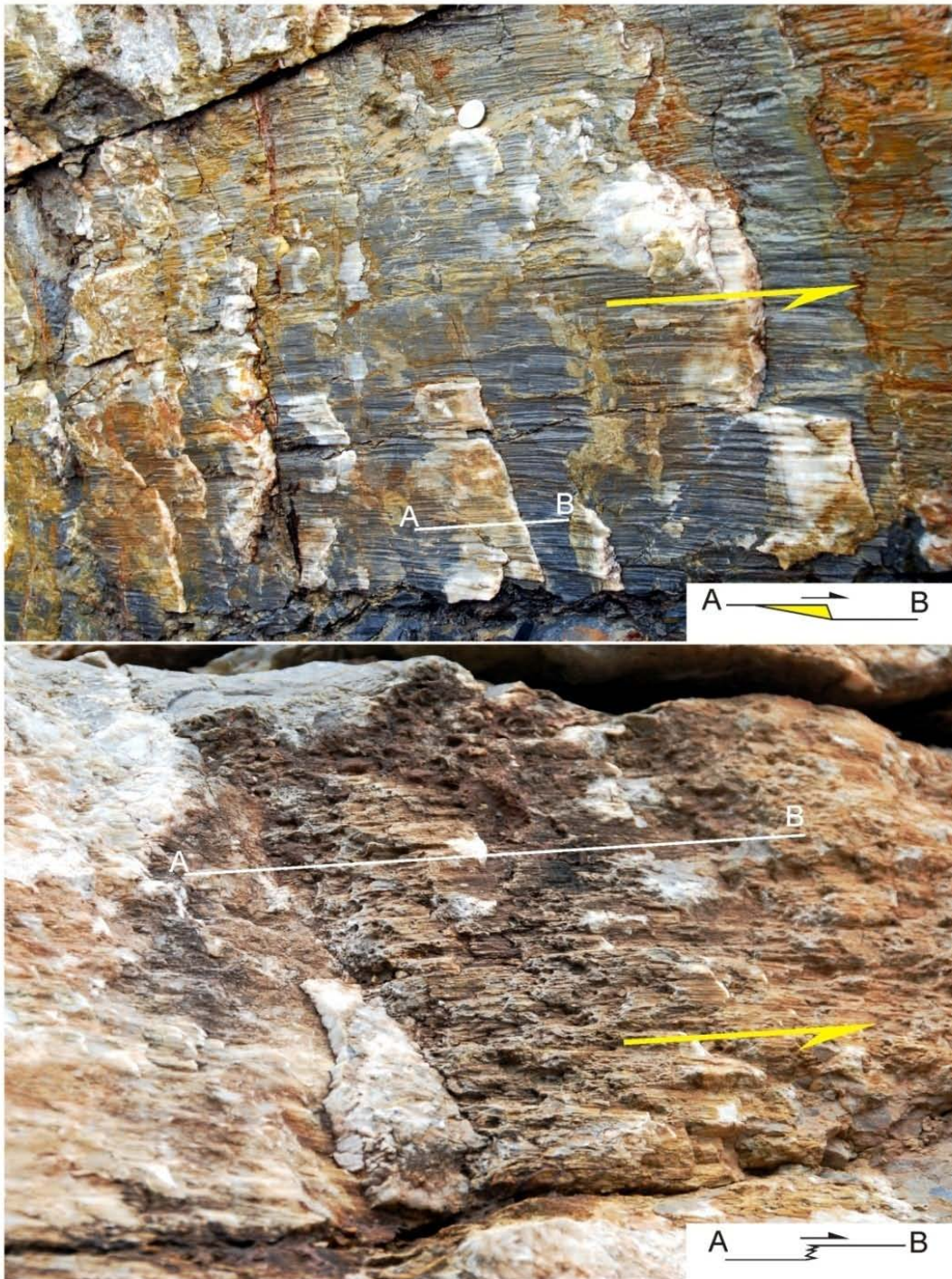


Figura 72. Arriba: Escalones de recristalización. Abajo: Escalones de estrilolitos. Calizas del Devónico en Villasecino (Cordillera Cantábrica, León).



Figura 73. Cantos arrastrados. Foto, J.L Simón-Gómez. U. Zaragoza.

En la Figura 69 se muestra un resumen de las microestructuras que indican, con una buena fiabilidad, el sentido del movimiento sobre un plano de falla: A) escalones de recristalización. B) Escalones de estrilolitos. C) Cantos arrastrados. D) Escalones R.

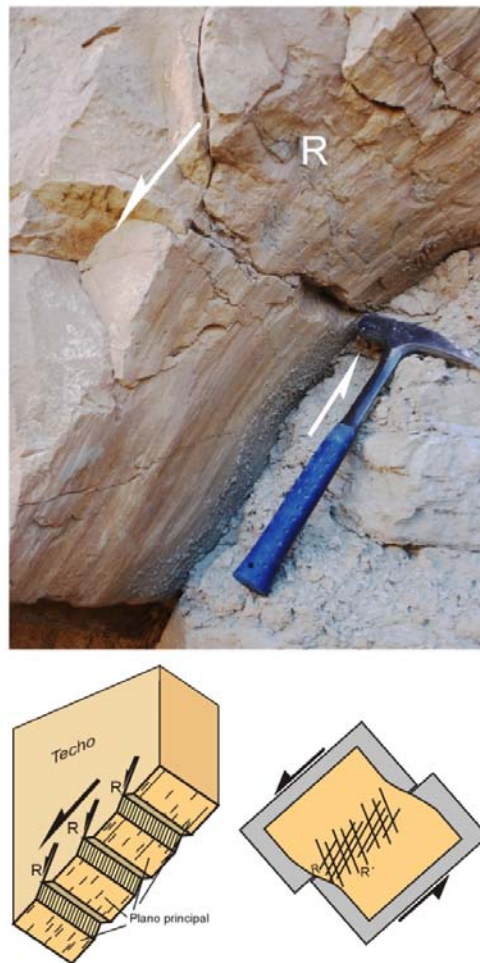


Figura 74. Escalones R. Foto e interpretación, J.L. Simón-Gómez (Univ. Zaragoza).

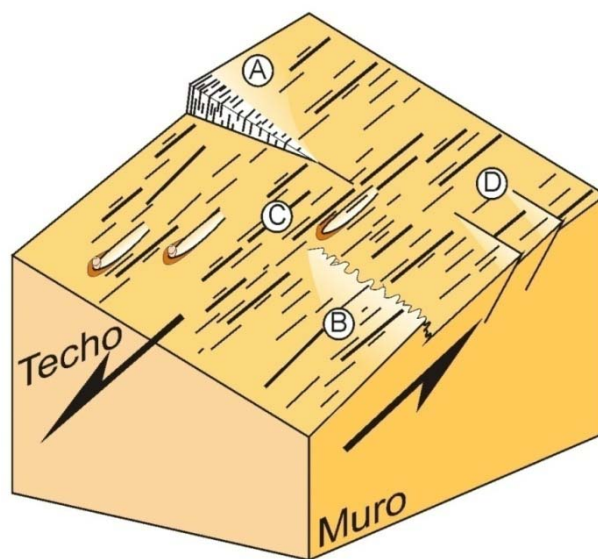


Figura 75. Resumen de las microestructuras que indican, con una buena fiabilidad, el sentido del movimiento sobre un plano de falla: A) escalones de recristalización. B) Escalones de estrilolitos. C) Cantos arrastrados. D) Escalones R.

Por cambio de volumen

En la mayor parte de los análisis tectónicos que se realizan en el nivel estructural frágil, se asume que la deformación se acomoda mediante deslizamiento en fallas. Las estructuras de deformación dúctil, como pliegues, pueden también cuantificarse mediante cortes compensados. No obstante, la presencia de venas y estilolitos, sobre todo cuando ésta es muy penetrativa, indica un cierto cambio de volumen durante la deformación. En este caso, la orientación y el número de familias de estilolitos y venas pueden utilizarse para obtener, de una forma cualitativa, la orientación y el tipo de los esfuerzos actuantes (Fig. 76).

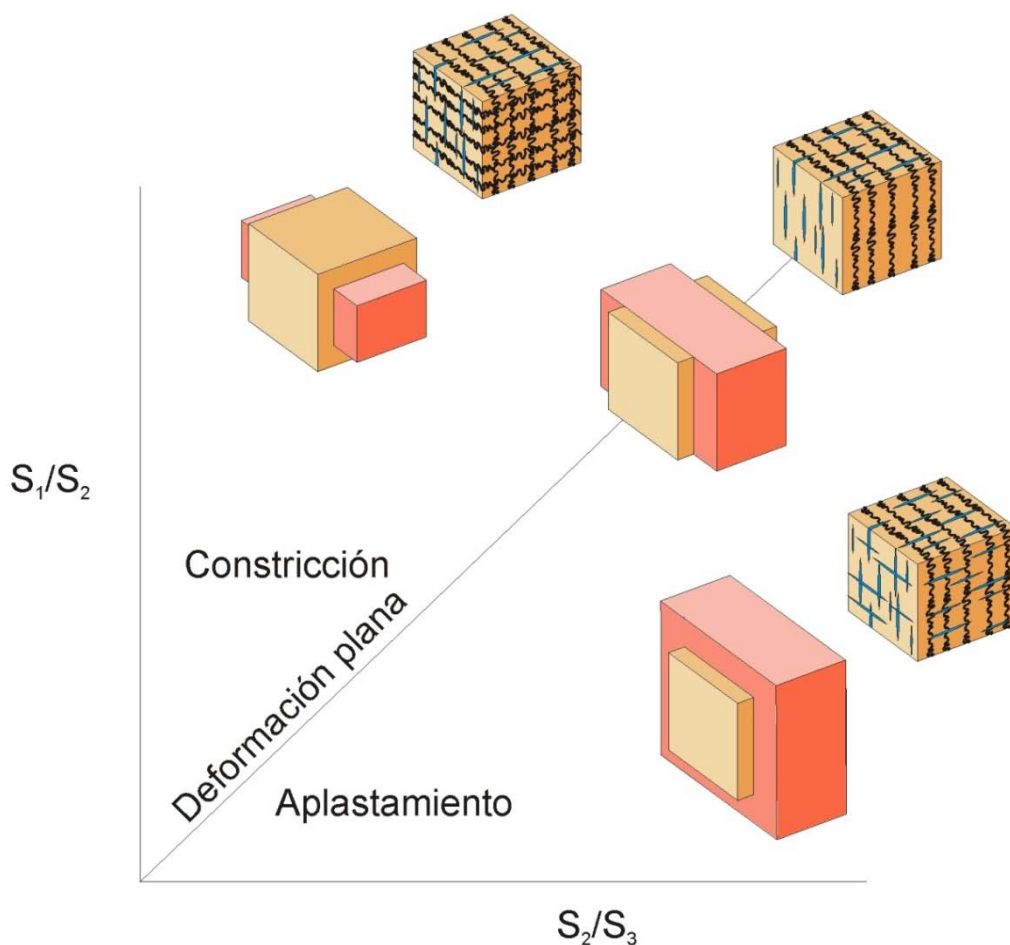


Figura 76. Diagrama de Flinn que muestra el posible desarrollo simultáneo de más de una familia de estilolitos y/o venas si la deformación no es plana (con cambio de volumen).