

DEFORMACIÓN DE LAS ROCAS DE LA CORTEZA TERRESTRE

Rocks deformation in Earth crust

Jorge Bonito (*)

RESUMEN:

En esta actividad se analiza el comportamiento de algunos materiales en función de la intensidad y tiempo de aplicación de las fuerzas mecánicas y de la temperatura y presión. Así mismo se estudian modelos que permiten comprobar los efectos de la compresión y la distensión de una serie sedimentaria, y otro sobre la producción de fallas de desgarre.

ABSTRACT:

This activity shows the behaviour of some materials, function of intensity and time of mechanical strength application, and temperature and pressure. We will see some models who permit compression and distension of a sedimentary serie, and other with production of horizontal fault.

Palabras clave: Fuerza, intensidad, compresión, distensión, falla normal, falla inversa, "graben", "horst", falla de desgarre.

Keywords: Strength, intensity, compression, distension, normal fault, inverse fault, graben, horst, horizontal fault.

INTRODUCCIÓN

El tema de esta actividad práctica de laboratorio es la *Deformación de las rocas de la corteza terrestre*. Desde el punto de vista metodológico esta actividad puede realizarse atendiendo a la clasificación propuesta por Bonito (1996). Se trata de una actividad destinada a la verificación de conceptos o principios, que permite el redescubrimiento de esos mismos conceptos o principios, y también orientada a la resolución de problemas (ver Tabla 1). Todo dependerá del papel didáctico asumido por el profesor y por los alumnos, en función de los objetivos que se establezcan *a priori* para la referida actividad.

Conviene siempre llamar la atención contra las interpretaciones demasiado simplistas de los resultados experimentales (cf., v.g., Lucas & García-Rodeja, 1989), o eventualmente, contra un posible re-

duccionismo experimentalista (cf., v.g., Hodson, 1985). De cualquier forma, el laboratorio es un lugar de trabajo rico en significados. Con las actividades prácticas de laboratorio se aprenden contenidos y se da la oportunidad a los alumnos de ejercitar los métodos de recogida, organización y evaluación de esos mismos contenidos.

En el laboratorio cada alumno se encuentra directamente envuelto en la actividad, utilizando materiales, manejando equipos, elaborando proyectos, orientando investigaciones, realizando experiencias, produciendo, inventando, descubriendo formas y modelos de simular y representar lo real para en el fondo, comprender mejor los hechos. Hay posibilidad de trabajar individualmente o en pequeños grupos, proporcionando experiencias comunes que atraen la atención de los alumnos sobre un determinado suceso o fenómeno. Pero lo más importante, después del comienzo de la actividad, y según Jacobson e Bergman

ACTIVIDADES PRÁCTICAS DE LABORATORIO	PALABRAS-CLAVE
Tipo I Tipo II o Comprobativas Tipo III o Investigativas Tipo IV Tipo V	- Desarrollo de "skills" o habilidades psicomotoras - Verificación de conceptos o principios - Descubrimiento de un concepto o principio - Resolución de problemas (orientada) - Resolución de problemas (autónomamente)

Cuadro 1

Palabras clave de los distintos tipos de actividades prácticas de laboratorio.

(*) Departamento de Pedagogia e Educação • Universidade de Évora • Apartado 94 • 7001 Évora Codex • Portugal • Telef.: +351.66.744522 • Fax.: +351.66.744521 • E-Mail: jbonito@evunix.uevora.pt

(1991), es que cada alumno tiene una experiencia primera y directa con los materiales de laboratorio. Se trata en el fondo de un “hacer experiencial” (p.28).

Al final de las actividades se pretende que los alumnos alcancen los siguientes objetivos educativos:

- Conocer algunos factores implicados en las deformaciones de los materiales rocosos;
- Caracterizar los comportamientos elástico y plástico;
- Comprender la influencia del tiempo y la intensidad de la fuerza en la deformación de las rocas;
- Relacionar la formación de cadenas montañosas, pliegues, y fallas inversas, con las diferentes fuerzas compresivas que las originan;
- Relacionar la formación de “grabens” y fallas normales, como respuesta a los movimientos distensivos;
- Comprender los mecanismos de deformación a lo largo de una falla de desgarre;
- Inferir las figuras de deformación de las rocas en zonas sometidas a un desgarre;
- Relacionar la distribución de fuerzas sísmicas y el reparto de las fracturas en el espacio y a través del tiempo;
- Demostrar que distintos materiales tienen respuestas diferentes a los mismos agentes deformadores;
- Planear experiencias para comprobar el efecto de fuerzas de compresión y/o de tracción sobre diferentes materiales;
- Comprender los fenómenos erosivos;
- Reconocer relaciones entre la génesis sedimentaria y las deformaciones de las rocas.

MEDICIÓN DE FUERZAS. COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES, EN FUNCIÓN DE LA INTENSIDAD Y TIEMPO DE APLICACIÓN DE LAS FUERZAS MECÁNICAS Y DE LA TEMPERATURA Y PRESIÓN.

1 - Materiales

- Dinamómetro;
- Muelle metálico helicoidal;
- Cronómetro;
- Masas marcadas ($m_1 < m_2 < m_3 < m_4$);
- Soporte;
- Mechero de alcohol;
- Materiales-Prueba¹:
 - Banda de caucho (o aro de goma)
 - Plastilina
 - Portaobjetos (de microscopía);
 - Cubreobjetos (de microscopía);
 - Varilla hueca de vidrio;
 - Clavo de hierro;
 - Trozo o tira de zinc;
 - Trozo o tira de hojalata
 - Arcilla seca;
 - Arcilla recién humedecida.

2 - Actividades

A1 - Colocar el dinamómetro fijo en el soporte. Introducir al mismo tiempo, en la argolla del dinamómetro las masas $m_1, m_2, m_3, e m_4$ (Figura 1).

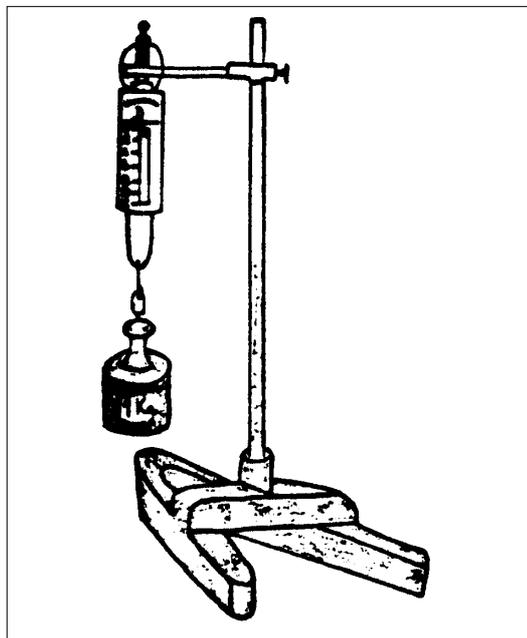


Figura 1. Medición de masas en el dinamómetro.

A2 - Observar y anotar los valores registrados en la escala del dinamómetro.

A3 - Repetir la operación A2, asociando esta vez las distintas masas.

A4 - Colgar el muelle verticalmente a una placa fija (o por ejemplo a un soporte).

A5 - Colocar en la extremidad del muelle la masa m_1 . Mantener el dispositivo montado durante un minuto. Observar y registrar los resultados obtenidos.

A6 - Repetir los procedimientos A5 utilizando las masas m_2, m_3 e m_4 , respectivamente.

A7 - Colocar la masa m_4 en la extremidad del muelle. Mantener el dispositivo montado durante : (a) 2 minutos; (b) 5 minutos; (c) 15 minutos; e (d) 25 minutos. Observar y registrar los resultados obtenidos.

A8 - Someter los materiales-prueba, uno de cada vez, a los siguientes tests: (a) fuerza distensiva; (b) fuerza compresiva; (c) calentamiento por frotamiento entre las manos y aplicación de una fuerza compresiva; (d) calentamiento por frotamiento entre las manos y aplicación de una fuerza distensiva; calentamiento de una varilla hueca de vidrio y del clavo de hierro a la llama del mechero. Aplicación de una fuerza compresiva; (f) calentamiento de la varilla hueca de vidrio y del clavo de hierro a la llama del mechero (Figura 3). Aplicación de una fuerza distensiva; (g) presión fuerte con la parte posterior de un lapicero (figura 4). Observar y registrar los resultados.

(1) Pueden añadirse otros materiales que se estime oportuno para experimentar con ellos.

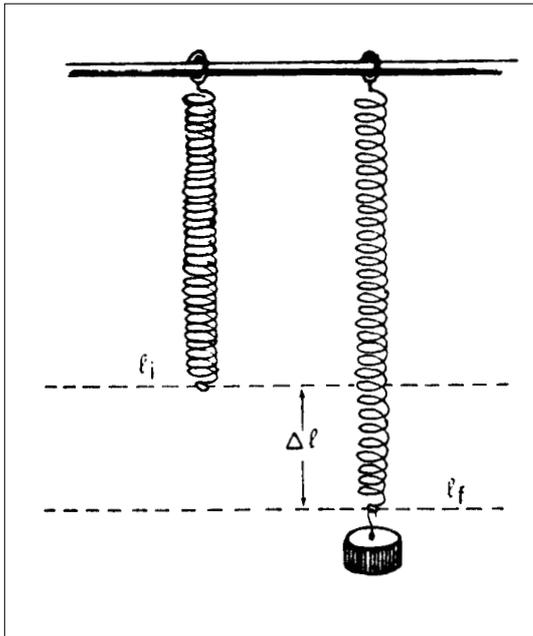


Figura 2. Alargamiento del muelle debido al efecto del peso del cuerpo.

A9 - Enunciar los factores de deformación estudiados en esta experiencia.

A10 - Relacionar el tipo de deformación sufrida por el muelle con: (a) la intensidad de la fuerza actuante y (b) con el tiempo de actuación de la fuerza.

A11 - Caracterizar los distintos comportamientos manifestados por el muelle.

A12 - Inferir acerca de la fuerza necesaria para mover una masa determinada.

A13 - Completar la tabla 2, utilizando la siguiente clave: E - Comportamiento Elástico; P - Comportamiento Plástico; R - Comportamiento Rígido; F - Comportamiento Frágil.

Un mismo material presenta comportamientos distintos frente a diferentes condiciones.

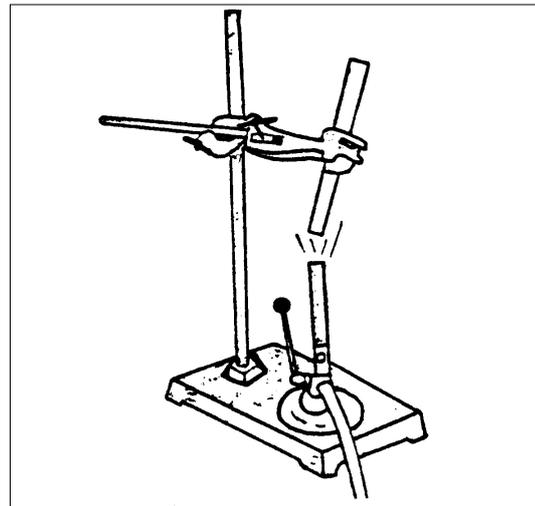


Figura 3. Calentamiento de una varilla hueca de vidrio.

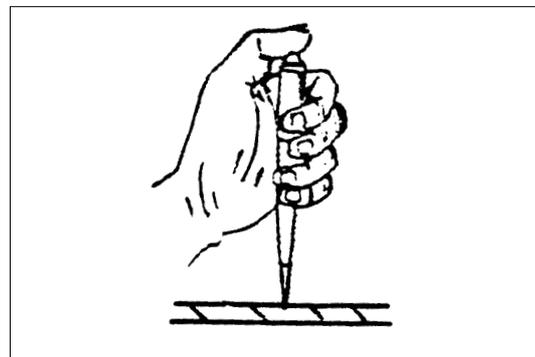


Figura 4. Presión fuerte con la parte posterior de un lapicero.

A14 - Explicar las condiciones intrínsecas del material que pueden alterar su comportamiento.

A15 - Identificar condiciones extrínsecas que pueden modificar el comportamiento de un material.

Objetos	Tests	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	Otro
1. Banda de caucho									
2. Plastilina									
3. Portaobjetos									
4. Cubreobjetos									
5. Varilla hueca de vidrio									
6. Clavo de hierro									
7. Tira de cinc									
8. Tira de hojalata									
9. Arcilla seca									
10. Arcilla húmeda									

Cuadro 2. Comportamiento de los materiales-prueba en respuesta a los diferentes tests a los que fueron sometidos

A16 - Inferir acerca de la manera posible de alterar el comportamiento de los materiales-prueba clavo de hierro o trozo de cinc.

A17 - A partir de los comportamientos obtenidos, indicar a qué tipo de materiales se asemejan la mayoría de las rocas.

A18 - Relacionar los tests a que fueron sometidos los materiales-prueba, con las condiciones existentes en el medio natural.

A19 - Inferir las condiciones naturales que pueden modificar el comportamiento de las rocas.

A20 - Ante una misma intensidad de esfuerzo compresivo, inferir el comportamiento de los siguientes tipos de rocas: (a) arcilla; (b) petróleo; (c) caliza; y (d) granito.

COMPRESIÓN DE UNA SERIE SEDIMENTARIA. FORMACIÓN DE PLIEGUES Y FALLAS INVERSAS. EROSIÓN DE UN PLIEGUE. DISCORDANCIA ANGULAR.

1 - Materiales

Para la construcción de este modelo necesitamos de algunos materiales, que pueden obtenerse fácilmente en el mercado local.

- Un recipiente de plástico² -tipo acuario- (vg., 36 cm de largo, 20 cm de alto, 20 cm de ancho, y 0,4 cm de espesor), perforado en seis lugares: (a) en las dos paredes laterales de menor longitud, a 3,5 cm de la base, por un orificio de $\Delta 0,8$ cm; y (b) en la base, en cuatro lugares aleatorios con orificios de mismo diámetro, de forma que una línea imaginaria que los una, forme un cuadrado.

- Una placa de plástico transparente (19 cm x 14 cm x 0,4 cm), agujereada a 3 cm de la base, sobre la cual se adaptará una varilla rígida (cilíndrica, con $\Delta 0,5$ cm y 19 cm de longitud) de madera o metal. Este conjunto funcionará como un pistón;

- Una placa de madera o plástico (8cm x 8cm x 0,4 cm), con una varilla idéntica a la descrita anteriormente, pero con una longitud más reducida (15 cm). Esta placa funcionará como un mazo, destinado a compactar el material utilizado;

- Colorantes en polvo: ocre amarillo (± 250 g), ocre rojo (± 250 g), ocre marrón (± 250 g), Azul Ultramar (± 250 g), Negro-Itálico (± 250 g), Amarillo de Metilo (± 250 g), harina (± 500 g);

- Yeso (± 2 kg);

- Arena cribada de 4 granulometrías: (a) grano < 60 mesh; (b) 60 mesh < grano < 25 mesh; (c) 25 mesh < grano < 18 mesh; (d) 18 mesh < grano < 14 mesh - (± 1 kg)³;

- Dos hojas de papel vegetal
- Cuatro rotuladores para transparencias (azul, rojo, negro y verde);
- Un serrucho de mano
- Una cuchara sopera;
- Un cuchillo de cocina;
- Una espátula de metal;
- Agua;
- Una máquina fotográfica;
- Una cámara de vídeo, y un trípode.

2 - Actividades

2.1 - Montaje del dispositivo experimental:

A1 - Colocar la placa de plástico (19cm X 14 cm X 0,4 cm en el interior de la cubeta y adaptar, a partir del exterior, la respectiva varilla rígida (Figura 5).

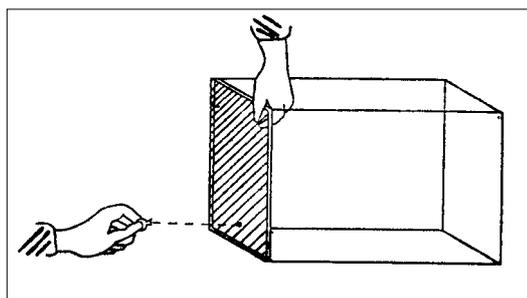


Figura 5. Montaje del dispositivo experimental. La placa de plástico de 19 cm x 14 cm x 0,4 cm, se coloca en el interior del recipiente y se adapta a la varilla rígida, la cual, una vez controlada desde el exterior, permitirá que el sistema funcione como un émbolo.

A2 - Repartir las diferentes granulometrías de arena (con diferentes colores, resultado de la adición de varios colorantes) en capas de espesor regular (aproximadamente un cm) y horizontalmente o alternadas con capas de colorante en polvo (figura 6a). El mazo ayudará a nivelar las capas de arena (Figura 6b), compactándolas rápidamente (Figura 6c).

A3 - Fotografiar, grabar, marcar en el recipiente o dibujar (a escala) en papel vegetal, las capas sedimentarias horizontales compactadas, que servirán posteriormente de referencia.

2.2 - Estructuras resultantes de Fuerzas Compresivas

A4 - Afianzar firmemente el recipiente, e imprimir una fuerza compresiva valiéndose de la varilla del pistón (Figura 7a) El pistón dentro del recipiente ejerce una compresión sobre las capas de arena (Figuras 7b,7c).

A5 - Marcar en el recipiente, grabar o dibujar (a escala) en papel vegetal, los diferentes momentos y

(2) El autor indica una tina (recipiente) de acroleína, es decir recipiente acrílico, esto es un aldehído acrílico que se obtiene a partir de la glicerina por deshidratación, y, por oxidación y polimerización origina resinas acrílicas, base de los plásticos.

(3) Conversión de la escala Mesh en escala métrica:

Sistema Mesh	Sistema Métrico
60	250 mm
25	710 mm
18	1,00 mm
14	1,4 mm

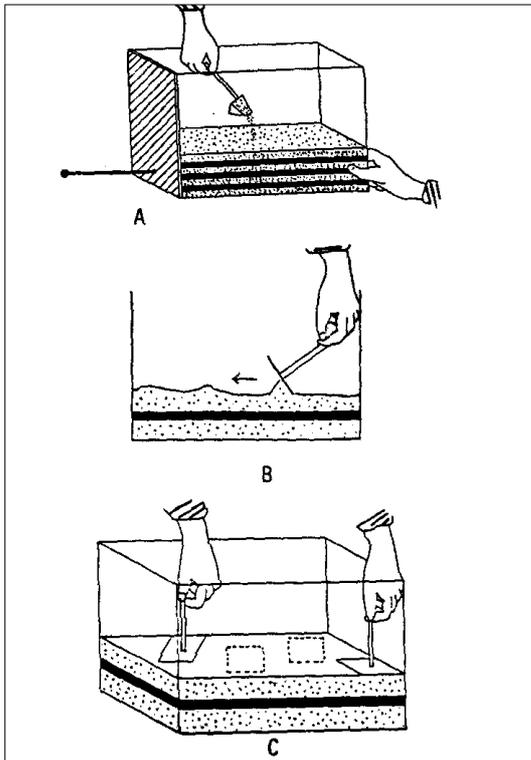


Figura 6. Colocación en el recipiente de plástico de los diferentes tipos de arena. (a) Deben formar estratos regulares y horizontales, (b) estar bien nivelados y (c) compactados.

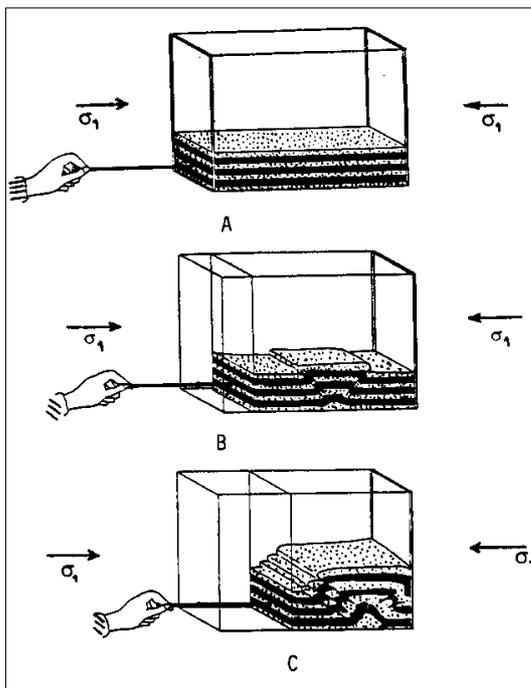


Figura 7. Aplicación de una fuerza compresiva sobre las capas de arena. (a) Sujetar el recipiente firmemente y la varilla rígida; (b) empujar el pistón en sentido opuesto al de la sujeción de la tina; (c) a medida que la fuerza compresiva alcanza mayor intensidad, se irán obteniendo las estructuras deformadas, haciéndose más evidentes y diferentes.

estructuras de deformación, consecuencia de los incrementos de intensidad aplicados.

A6 - Identificar el tipo de tensión a la que se encuentran sujetos los estratos de la figura 7.

2.3 - Erosión de un pliegue

A7 - Con la ayuda de una cuchara, excavar un talweg en el relieve, retirando pequeñas porciones de arena (y colorante).

A8 - Observar las capas coloreadas que han quedado al descubierto (Figura 8).

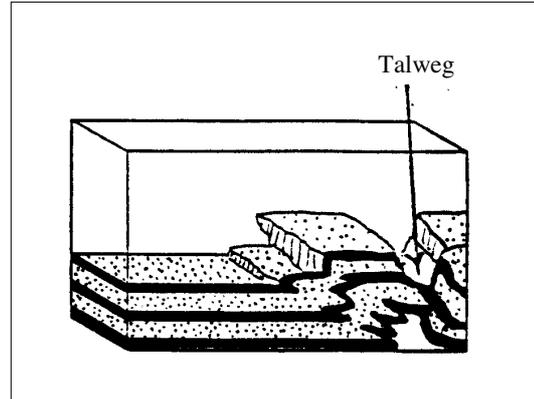


Figura 8. Talweg excavado en las capas de arena plegadas.

A9 - Fotografiar, grabar, marcar en el recipiente o dibujar (a escala) en papel vegetal las estructuras producidas en el relieve.

2.4 - Producción de una discordancia angular:

A10 - Retirar mas sedimentos, hasta obtener una superficie plana (penillanura)

A11 - Depositar encima, varias capas (coloreadas) horizontales de arena o alternadas con colorante (Figura 9)

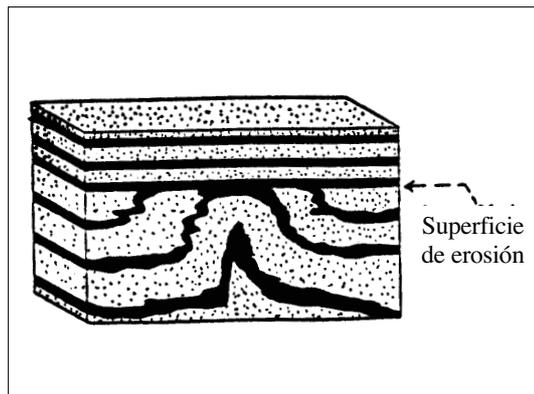


Figura 9. Contacto de las capas por una superficie de erosión (discordancia angular)

A12 - Fotografiar, grabar, marcar en el recipiente o dibujar (a escala) en papel vegetal las estructuras producidas en el relieve.

FORMACIÓN DE UN “GRABEN”. FORMACIÓN DE FALLAS NORMALES. FORMACIÓN DE UN “HORST”. COLMATACIÓN DE UN “GRABEN”

1 - Materiales

- Un recipiente de plástico -tipo acuario- (vg., 36 cm de largo, 20 cm de alto, 20 cm de ancho, y 0,4 cm de espesor) perforado en seis lugares: (a) en las dos paredes laterales de menor longitud, a 3,5 cm de la base, por un orificio de Δ 0,8 cm; y (b) en la base, en cuatro lugares aleatorios con orificios de mismo diámetro, de forma que una línea imaginaria que los una, forme un cuadrado.

- Una placa de plástico transparente (19 cm x 14 cm x 0,4 cm), agujereada a 3 cm de la base, sobre la cual se adaptará una varilla rígida (cilíndrica, con Δ 0,5 cm y 19 cm de longitud) de madera o metal. Este conjunto funcionará como un pistón;

- Una placa de madera o plástico (8cm x 8cm x 0,4 cm), con una varilla idéntica a la descrita anteriormente, pero con una longitud más reducida (15 cm). Esta placa funcionará como un mazo, destinada a compactar el material utilizado;

- Colorantes en polvo: ocre amarillo (\pm 250 g), ocre rojo (\pm 250 g), ocre marrón (\pm 250 g), Azul Ultramar (\pm 250 g), Negro-Itálico (\pm 250 g), Amarillo de Metilo (\pm 250 g), harina (\pm 500g);

- Yeso (\pm 2 kg);

- Arena cribada de 4 granulometrías: (a) grano < 60 mesh; (b) 60 mesh < grano < 25 mesh; (c) 25 mesh < grano < 18 mesh; (d) 18 mesh < grano < 14 mesh - (\pm 1 kg);

- Dos hojas de papel vegetal
- 50 cm de napa blanca
- Cuatro rotuladores para transparencias (azul, rojo, negro y verde);
- Un serrucho de mano
- Una cuchara sopera
- Un cuchillo de cocina
- Una espátula de metal
- Agua
- Una cámara fotográfica
- Una cámara de vídeo y un trípode.
- Una espátula de metal;

2 - Actividades

2.1 - Montaje del dispositivo experimental:

A1 - Encolar la napa a lo largo del borde terminal horizontal de cada placa en forma de L, en una

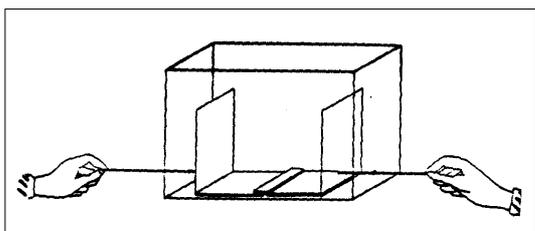


Figura 10. Montaje del dispositivo experimental con las placas de plástico en forma de L.

franja de 4 cm, de forma que solo unos 2 cm queden en contacto con el plástico.

A2 - Colocar las placas de plástico en forma de L en el interior del recipiente y adaptar, a partir del exterior, las respectivas varillas (Figura 10). Las dos placas deben quedar colocadas, de manera que se solapen ligeramente.

A3 - Repartir las diferentes granulometrías de arena (con diferentes colores, resultado de la adición de varios colorantes) en numerosas capas (no menos de 6) de espesor regular (aproximadamente 1 cm) horizontales o alternadas con capas de colorantes en polvo (Fig. 11a). La arena debe estar bien seca. El mazo ayudará a nivelar las capas de arena (Figura 11b), compactándolas enseguida (Figura 11 c).

A4 - Marcar pequeños orificios circulares en la

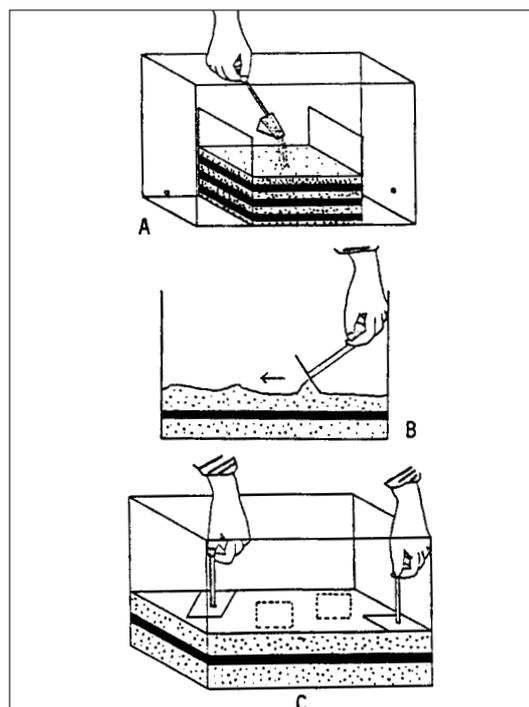


Figura 11. Colocación en el recipiente de las diferentes granulometrías de arena. (a) Deben formarse estratos regulares y horizontales, (b) bien nivelados y, (c) compactados.

superficie de la última capa para visualizar mejor las deformaciones a producir.

A5 - Fotografiar, marcar en el recipiente o dibujar (a escala) en papel vegetal, las capas sedimentarias horizontales compactadas que servirán posteriormente de referencia.

2.2 - Formación de “Grabens” y “Horsts”⁷

A6 - Aplicar, suavemente, una fuerza distensiva sobre las dos varillas que están unidas a las placas que soportan las capas de arena (Figura 12).

A7 - Fotografiar, marcar en el recipiente o dibujar (a escala) en papel vegetal las estructuras producidas (Figura 13).

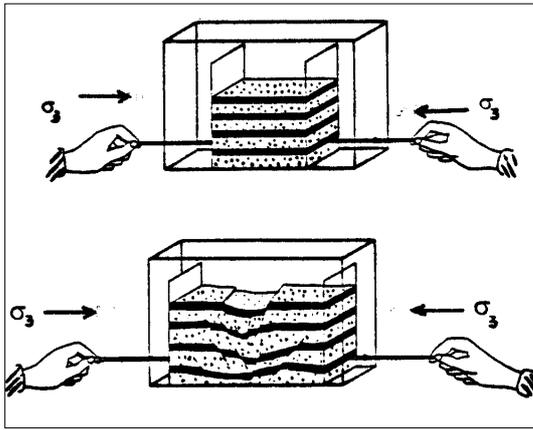


Figura 12. Aplicación de una fuerza distensiva sobre las capas de arena.

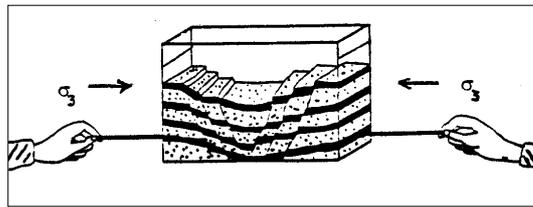


Figura 13. Formación de fallas normales y "grabens".

A8 - Describir el tipo de accidente tectónico sufrido, que simulan los estratos representados en la figura 13

A9 - Indicar los objetos del dispositivo experimental representado en la figura 13 que simulan: (a) presión litostática; (b) presión dirigida.

En vez de arena pueden utilizarse otros materiales como por ejemplo, el lacre, la plastilina o cemento y jabón azul y blanco.

Los resultados obtenidos con estos últimos, deben ser siempre confrontados con los obtenidos usando arena.

Identificamos dos condicionantes de los resultados que pretendemos obtener con este experimento: (a) el espesor total de las capas, y (b) la cantidad de agua retenida en los poros de la arena. El deslizamiento a lo largo de fallas normales, se ve dificultado por un espesor sedimentario global demasiado fino, y por la presencia de agua en los poros de la arena. Cuando uno de los factores o ambos están presentes en un experimento, pensamos que es siempre conveniente explorar los resultados obtenidos, investigando sus causas.

Como solución es posible preparar una carga litostática que facilite el deslizamiento de las capas a través de los planos de falla. Una bolsa fina de plástico con una masa de arena en su interior, puede ser suficiente para anular el poco espesor global de las capas de arena, o la presencia de agua. La presión generada por la "carga litostática" debe ser repartida uniformemente a lo largo de toda la superficie de arena (Figura 14).

Podemos también procurar obtener dos "gra-

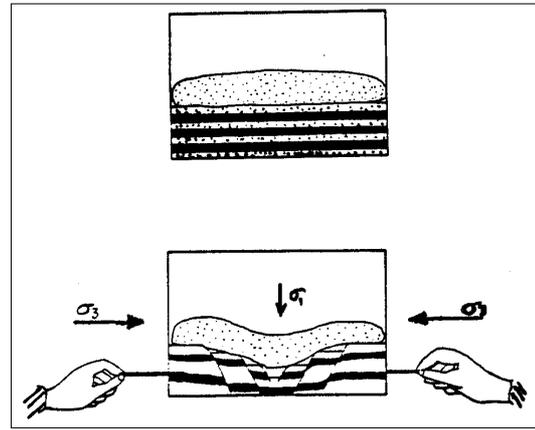


Figura 14. Aplicación de una carga litostática (bolsa con arena) para compensar el reducido espesor global de las capas sedimentarias del modelo y/o la presencia de agua en los poros de la arena.

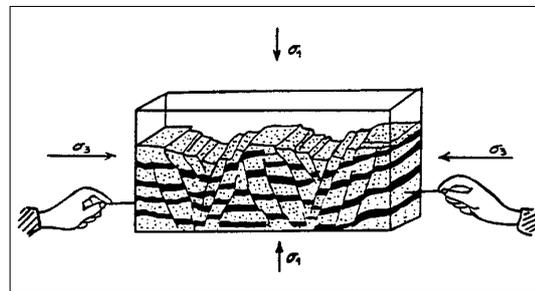


Figura 15. Formación de dos "grabens".

bens" separados por un "horst". Para que se produzca tal hecho, procedemos de la siguiente forma:

A8 - Dejar un espacio de 2 cm entre las dos placas en forma de L. Las capas sedimentarias quedarán de esta forma, sobre las dos placas y simultánea y directamente sobre el fondo del recipiente. En estas condiciones se obtendrán dos "grabens" (Figura 15).

A9 - Fotografiar, grabar, marcar en el recipiente o dibujar (a escala) en papel vegetal las estructuras producidas.

2.3 - Colmatación de un "Graben"

A10 - Aplicar sobre el "graben" generado, arena de color diferente (aún no utilizada), procurando dejar visibles los bordes de la fosa.

A11 - Fotografiar, grabar, marcar en el recipiente o dibujar (a escala) en papel vegetal, las estructuras, que servirán posteriormente de referencia.

A12 - Aplicar, a continuación, una fuerza distensiva en las varillas de las placas en L.

A13 - Volver a llenar la depresión producida con arena de otro color.

A14 - Repetir los pasos A12 y A13 hasta donde se quiera (o sea posible).

A15 - Fotografiar, grabar, marcar en el recipiente o dibujar (a escala) en papel vegetal, las estructuras producidas.

FORMACIÓN DE UNA FALLA DE DESGARRE HORIZONTAL

1 - Materiales

• Un recipiente de plástico o de vidrio -tipo acuario- (vg., 50 cm de largo, 6 cm de alto, 30 cm de ancho, y 0,4 cm de espesor) cortada longitudinalmente por el medio;

• Una placa de plástico transparente (19 cm x 14 cm x 0,4 cm), agujereada a 3 cm de la base, sobre la cual se adaptará una varilla rígida (cilíndrica, con Δ 0,5 cm y 19 cm de longitud) de madera o metal. Este conjunto funcionará como un pistón;

• Una placa de madera o plástico (70cm x50 cm x 1 cm);

• Dos listones de madera (50 cm x 1 cm x 0,5 cm);

• Arena cribada de 4 granulometrías; (a) grano < 60 mesh; (b) 60 < mesh < grano < 25 mesh; (c) 25 mesh < grano < 18 mesh; (d) 18 mesh < grano < 14 mesh (\pm 1 kg)

• Plastilina

• Arcilla (\pm 3kg);

• Clavos para madera;

• Una cámara fotográfica;

• Una cámara de vídeo y un trípode.

2 -Actividades

2.1 - Montaje del dispositivo experimental:

A1 - Trazar sobre la placa de madera, líneas transversales equidistantes a 0,5 cm, de 50 cm de longitud.

A2 - Clavar longitudinalmente los dos listones, de forma que quede entre ellos el recipiente de plástico (50 cm x 30 cm x 6 cm).

A3 - Unir las dos mitades del recipiente y colocarlo entre los listones.

A4 - Depositar varias capas de arena, compactadas con el mazo (Figura 16), o una capa espesa (2 a 3 cm) de arcilla.

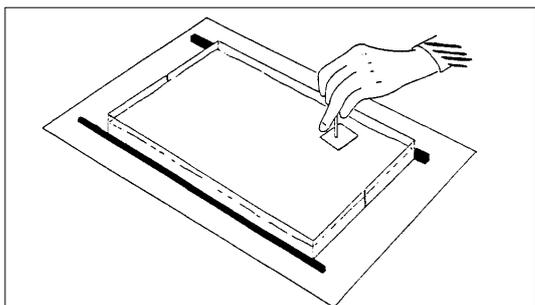


Figura 16. Colocación de capas diferentes de arena, compactadas por un mazo.

2.2- Formación de fallas de desgarre horizontal

A5 - Aplicar una compresión horizontal progresiva y gradual en una de las mitades del recipiente, deslizándola lentamente sobre la placa de madera (Figura 17).



Figura 17. Al aplicar una compresión horizontal en una de las mitades del recipiente de plástico, surgen pequeñas fracturas, denominadas hendiduras o fisuras de tracción.

A6 - Fotografiar, grabar, o dibujar (a escala) en papel vegetal las estructuras sucesivamente producidas.

A medida que se hace deslizar un compartimento del recipiente con relación al otro, comienzan a surgir pequeñas fracturas de tracción, dispuestas escalonadamente. El espaciamiento de las aberturas es regular y depende del espesor de las capas. Las grietas permiten el ligero desplazamiento del material deformable. Gradualmente la extensión de las fracturas aumenta, y simultáneamente giran en el sentido de la apertura del cizallamiento. A partir de las fracturas “en échelon”⁴ se forman lentículas de cizallamiento. En seguida, la falla paralela al desgarre del zócalo recorta las grietas “en échelon”(Figura 18).

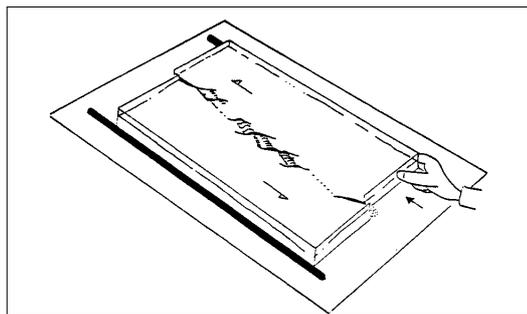


Figura 18. Ejemplo del resultado de una experiencia de desgarre izquierdo.

La gran falla aparece después de las pequeñas fracturas “en échelon”, por la unión de una sucesión de rupturas aisladas, torcidas, producidas en cascada. En cuanto se forman las fisuras, el régimen general de fuerzas compresivas provoca zonas elevadas con pliegues y cabalgamientos, permitiendo el desarrollo de un relieve a lo largo del desgarre. En el comienzo la deformación es simple, lenta y progresiva. Rápidamente los campos de fallas se hacen cada vez más complejos, con unión de fracturas que crecen, acentuándose el relieve.

Tomando como base el capítulo 2, desarrollamos un sistema que mide la intensidad de las fuerzas aplicadas, sean compresivas o distensivas. Para conseguir tal efecto procedemos de la siguiente manera:

El recipiente quedó fijado sólidamente a la mesa por medio de tornillos. Cada varilla del pistón, fué perforada en la parte terminal, y se le adaptó una argolla de metal. Para fuerzas compresivas, se

(4) Término francés, asumido por la tectónica, que significa “en escalón”, escalonadamente.

atan dos hilos de nylon a la argolla. Cada hilo pasará por las paredes laterales del recipiente de plástico, reuniéndose ambos en la otra argolla, donde se aplica un dinamómetro.

El dinamómetro se sujeta en la argolla. En el estado inicial, la fuerza de aplicaciones es nula ($\sigma_1=0$). Los incrementos de fuerza son aplicados en el dinamómetro, específicamente, en la extremidad opuesta a la que está unida a la argolla. A medida que la fuerza se produce, es posible verificar los registros de su intensidad en la escala dinamométrica. Cuando se interrumpe la operación, el marcador de la escala vuelve a cero. Al reiniciar la aplicación de fuerzas, sus medidas deben ser sumadas a las anteriores.

Puede ocurrir que no esté todavía claro para los alumnos, la relación entre la fuerza y el tipo de materiales a plegar, o sea por ejemplo, la necesidad de aplicar fuerzas de módulo elevado a fin de plegar las capas muy espesas. Con una actividad simple, daremos una idea de esa relación. Basta distribuir una hoja entera de periódico (4 páginas) a cada alumno, y después solicitarles que la doblen por el medio, el número de veces que les sea posible hacerlo. A medida que el papel está más doblado, se hace más difícil hacerlo nuevamente, dado que la cantidad de papel duplica cada vez las partes que están superpuestas. Con esta estrategia, simple y práctica, podemos obtener una idea aproximada de las relaciones entre intensidad de las fuerzas y las respectivas deformaciones producidas.

También podemos controlar, con un margen bastante reducido, el factor tiempo. Se trata de desarrollar las experiencias con una lentitud muy acentuada, o por el contrario, aplicar rapidez en su ejecución. Analizando los resultados de las dos situaciones, podemos obtener una mejor aproximación inductiva, acerca de los procesos reales, y de la influencia del factor tiempo en la deformación de materiales, aunque naturalmente, bastante limitada.

A7 - Explicar los comportamientos detectados al aplicar fuerzas de tracción..

A8 - Comparar los comportamientos observados en 2, con los obtenidos con los materiales usados en las experiencias 3, y 4, en cuanto a la duración de la deformación sufrida.

A9 - Comentar las siguientes afirmaciones:

“En cuanto las presiones exceden el límite de elasticidad de las rocas surge una ruptura en un punto: el foco.”

“Las fallas resultan siempre de la actuación de tensiones compresivas”.

A10 - Comparar los espesores máximos de los estratos en el estado inicial y durante los demás momentos, con la formación de cadenas montañosas.

A11 - Calcular, en porcentaje, los saltos verificados en los estratos, comparando el número de fallas que surgen después del comienzo de la compresión con aquel inmediatamente anterior al estado final.

A12 - Comparar las estructuras formadas dentro del recipiente de plástico con un corte simplificado del cabalgamiento de la Carrapateira (orla occidental del Algarve)⁵

A13 - Descubrir los parámetros que diferencian las experiencias de laboratorio de los fenómenos geológicos.

A14 - Explicar la inclinación y la disposición de las capas a un lado y otro de la superficie de erosión.

A15 - Comentar las siguientes afirmaciones:

“En los sedimentos, es posible encontrar rocas volcánicas. A menos de 10 km de profundidad, la temperatura de fusión de las rocas podrá ser suficiente para que ocurran incursiones astenosféricas en una zona de adelgazamiento”. “A lo largo de las fallas existen fuentes termominerales gaseosas, consideradas como manifestaciones volcánicas”.

A16 - Explicar el adelgazamiento progresivo de la corteza continental y la separación de los dos márgenes continentales.

A17 - Relacionar los movimientos compresivos y distensivos con la disposición cronológica de los estratos en un anticlinal y en un sinclinal.

A18 - En un valle cuyas vertientes presenten 45° de pendiente, aflora un estrato horizontal. El espesor de la capa en el afloramiento es de 4 m. Calcular el espesor del estrato.

A19 - Indicar si en una falla normal el ángulo formado entre el muro y el plano de falla es mayor o menor de 90°. ¿Y en una falla inversa?

CONSERVACIÓN DE LOS MODELOS

Para conservar el modelo (v.g., para estudios o ilustraciones posteriores), podemos añadir cemento y agua a la arena del recipiente, formando argamasas. Sin embargo, este método tiene algunos inconvenientes desagradables: (a) la manipulación del cemento, para algunas personas, produce reacciones alérgicas, por lo que es necesario una mascarilla para protegernos del polvo; (b) en cuanto endurece la argamasa, surgen trazos blancos del cemento, habiendo necesidad de envolver todo muy bien con agua, destruyendo obviamente las estructuras; (c) el tiempo de secado de la argamasa es largo, y (d) el modelo después de seco, difícilmente se presta al aserrado.

Para evitar estos inconvenientes, usamos yeso, menos incómodo en la manipulación, y más fácil de aserrar, aún estando algo húmedo, con ayuda de un vulgar serrucho. A parte de esto, el fino espesor del polvo de yeso y su color blanco, permiten desarrollar estructuras muy precisas.

Los procedimientos descritos anteriormente, respecto a la disposición de las capas de arena, deben seguirse con igual cuidado cuando aplicamos yeso. Los colorantes deben usarse en la proporción 4 cucharas de colorante para 1 kg de yeso.

(5) Esta comparación es válida para alumnos de la zona Sur de Portugal. Elegir una similar en la zona del lector del artículo.

Después de la realización de las diversas experiencias, el recipiente con el modelo se sumerge en otro recipiente mayor, o en una pila con agua, de forma que las dimensiones de estas últimas, sean superiores a la del recipiente inicial. El agua se infiltra en el yeso a través de los orificios laterales y basales del recipiente de plástico, expulsando el aire contenido en los poros del modelo (Figura 19).

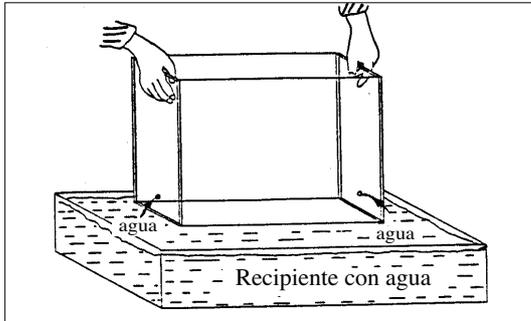


Figura 19. Inmersión del modelo en yeso en una tina con agua.

El nivel del agua debe subir gradualmente, a fin de evitar la erosión de la superficie por inundación. Debido a las dos placas en forma de L del modelo de las estructuras distensivas, el agua se infiltra fácilmente en el yeso a partir de los lados (Figura 20).

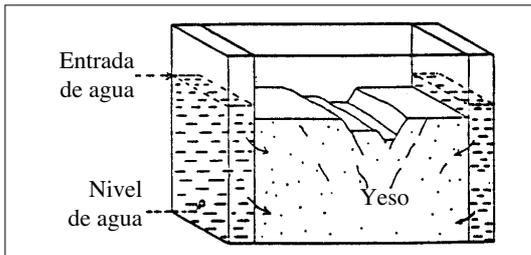


Figura 20. Infiltración del agua en el modelo en yeso: (a) nivel del agua, (b) entrada del agua, (c) agua, (d) yeso.

En el modelo de estructuras compresivas debemos aplicar una segunda placa (un segundo pistón o placa) en el lado opuesto, evitando de esta forma, que el agua al entrar por el orificio del recipiente contacte directamente con el yeso, corriendo el riesgo de causar daños al modelo, aumentando aún el tiempo de inmersión necesario (Figura 21).

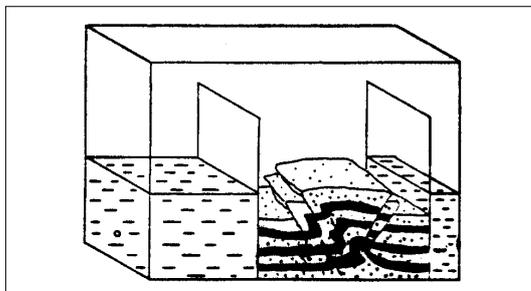


Figura 21. Aplicación de un segundo pistón al modelo de estructuras compresivas, evitando el contacto inicial directo del agua con el yeso.

El tiempo de inmersión necesario es aproximadamente de 20 minutos. Después de ese tiempo, el recipiente más grande (o la pila) con agua debe vaciarse, o ante la imposibilidad de tal operación, elevar el recipiente que contiene el modelo, emergiendo del agua, dejando secar cerca de dos horas. Una vez seco, el modelo se extrae fácilmente del recipiente que lo contiene. Podemos girar la parte superior del recipiente 180°, para que quede con la abertura para abajo, y por acción de la gravedad, el modelo se desprenderá.

El yeso puede después aserrarse fácilmente en bloques paralelos (Figura 22). El aserrado debe ser suave y delicado, sosteniendo los dos bloques con la mano libre. Si el serrucho se clava en el yeso, podemos mojarlo regularmente con agua, facilitando el ejercicio.

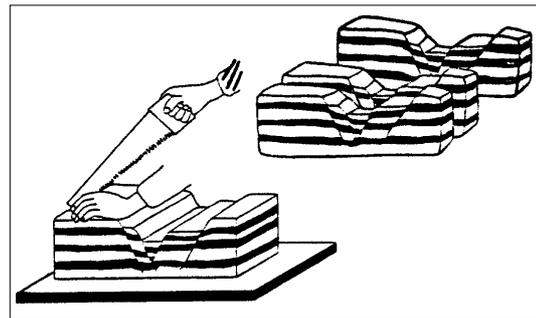


Figura 22. Corte en bloques del modelo en yeso.

BIBLIOGRAFIA

- Bonito, J. (1996). *As actividades práticas no ensino das geociências. Contributos para o ensino das deformações das rochas no ensino secundário*. Dissertação de Mestrado não publicada. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Dercourt, J. & Paquet, J. (1986). *Geología. Objectos e métodos*. Coimbra: Livraria Almedina. (Trabajo original en francés publicado el 1981)
- Hodson, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.
- Jacobson, W. J., & Bergman, A. B. (1991). *Science for children. A book for teachers*. 3ª ed. New Jersey: Prentice Hall.
- Lucas, A. M., & García-Rodeja, I. (1989). Contra las interpretaciones simplistas de los resultados de los experimentos realizados en aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), 11-16.
- Mattauer, M. (1973). *Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre*. Paris: Hemann.
- Melendez, B., & Fuster, J. M. (1991). *Geología*. 5ª ed. Madrid: Editorial Paraninfo.
- Price, N. J., & Cosgrove, J. W. (1990). *Analysis of geological structures*. New York: Cambridge University Press.
- Sousa, M. B. (1985). A deformação das rochas. *Geonovas*, 8/9, 17-30.
- Strahler, A. N. (1992). *Geología física*. Barcelona: Ediciones Omega. (Trabajo original en inglés) ■.

Nota del Cordinador: El autor ha colocado en las figuras 12,13,14 y 15 las componentes del elipsoide de esfuerzo dominantes $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ en la posición que corresponde para provocar un efecto resultante de una distensión horizontal. Si el lector consulta la obra de Mattauer, M., 1976, Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre, Omega, Barcelona, p. 46, fig. 4.3, podrá observar que el efecto resultante de distensión horizontal, propio de una fosa o graben, se corresponde con una situación de compresión horizontal en el sentido de σ_3 , tal como lo ha representado correctamente el autor.