

Prismas generados por fracturas en experimentos con fécula

Shunshan Xu¹, Angel Francisco Nieto-Samaniego², Paola Andrea Botero-Santa³

Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Centro de Geociencias, Boulevard Juriquilla No. 3001, Juriquilla, Qro., Querétaro, CP 76230. México.

¹sxu@geociencias.unam.mx, ²afns@geociencias.unam.mx, ³pabotero@geociencias.unam.mx

[Recibido en junio de 2012, aceptado en octubre de 2012]

Presentamos un experimento didáctico de desecación de fécula. El objetivo es obtener patrones prismáticos de fracturas, similares a los que se forman en derrames de basalto, o a las grietas de desecación en sedimentos. Se observaron dos tipos de fracturas en el experimento: a) las primeras que se formaron son grandes, cruzan completamente el contenedor utilizado en el experimento. Dichas fracturas se cruzan con ángulos muy cercanos a 90°. b) Las segundas fracturas que se forman son más pequeñas, se desarrollan después de formadas las grandes y presentan ángulos de intersección de entre 90° y 140°. Tanto las fracturas grandes como las pequeñas tienen inclinaciones cercanas a 90° con respecto a la superficie de desecación. Se muestra cómo utilizando diagramas de Voronoi se puede obtener patrones semejantes a los arreglos de las fracturas del experimento.

Palabras clave: Fracturas de desecación; Prismas columnares; Experimento de desecación; Diagramas de Voronoi.

Prisms generated by joints in experiments of water-starch mixture

We present a didactic experiment of desiccation using starch-water mixture. The aim is to obtain prismatic joints similar to columns in basalt lava flows, or the desiccation fractures in sediments. Two types of joints were observed in experiments: a) the first formed joints are large, crossing completely the container used in the experiment. The intersection angles among the large joints are about 90°; b) The second joints are smaller; they develop after the large ones forming intersection angles from 90° to 140°. Both large and small joints have dips near 90° with respect the dissection surface. Using Voronoi diagrams we explained patterns which resemble the prismatic joints obtained in the experiment.

Keywords: Desiccation fractures; Basaltic prisms; Desiccation experiment; Voronoi diagrams.

Introducción

Los prismas generados por fracturamiento se pueden observar en rocas volcánicas y en sedimentos. En las primeras se forman por el enfriamiento de la lava en superficie, o cerca de ella. Al enfriarse la lava, se solidifica y disminuye su volumen, de modo que se agrieta formando prismas. Los conjuntos de fracturas que forman los prismas son muy comunes en la naturaleza, por ejemplo delimitan la geometría de las «columnas basálticas», aunque también están presentes en otras rocas volcánicas de diferente composición química, como por ejemplo andesitas, dacitas y riolitas (Pidgeon 1978, Herbert *et al.* 1982). Aunque el tamaño de las columnas viene condicionado por varios factores, uno de los más importantes es la velocidad de enfriamiento. Cuanto más rápido se enfrie la lava, más finas serán las columnas, y viceversa.

Por otro lado, puede verse la formación de columnas prismáticas en el desecamiento de sedimentos arcillosos o fangosos. La pérdida de agua en arcillas y lodos provoca una disminución del volumen del material, generándose las «grietas de desecación», que en ocasiones se pueden encontrar «fosilizadas» en sedimentos antiguos.

En el laboratorio se pueden reproducir fácilmente las grietas generadas por desecación. A continuación se describe un experimento muy sencillo que producirá grietas y/o prismas columnares utilizando materiales de uso común. También presentamos un método gráfico

sencillo que permite imitar, de manera aproximada, cómo se forma el arreglo geométrico de las fracturas observadas en el experimento.

Metodología del experimento

Si se dispone de fécula de maíz, pueden recrearse fracturas poligonales que formarán pequeñas columnas, similares a las que observamos en las coladas de lava. El proceso es muy sencillo, se mezclan cantidades iguales de maicena y agua fría en un recipiente de tamaño mediano. La mezcla debe tener entre 1 y 4 cm de espesor. Esta mezcla se deja secar lentamente al medio ambiente, o bien, se puede colocar debajo de un foco. Una variante es usar focos de distintos vatios (watts) para variar la velocidad de desecación, o incluso usar una secadora de pelo. Aunque las columnas que se formarán en el experimento se deben a la deshidratación, al igual que las grietas en el fango y no al enfriamiento, como en la colada de lava, debemos considerar que tanto la desecación como el enfriamiento son procesos que obedecen las ecuaciones de difusión, por lo cual podemos considerar que en nuestro experimento la pérdida de agua es equivalente a la pérdida del calor (Müller 1998).

Resultados del experimento

Las primeras fracturas se generan después de unas 5 horas si la mezcla se seca en un foco de 100 vatios. En ambiente natural se tardan aproximadamente un día en aparecer las primeras grietas. El tiempo en que se forman las primeras fracturas depende del espesor de la mezcla y la cantidad de agua que se haya usado. Se puede observar que las primeras fracturas que aparecen son grandes, y que generalmente cruzan todo el recipiente (figura 1a). También se aprecia que cuando una fractura intersecta a otra que ya existe, la intersección tiene lugar con un ángulo de 90°. Por otra parte cuando una fractura se bifurca, entonces se forma un punto triple con un ángulos de intersección cercanos a 120° (figura 1b).

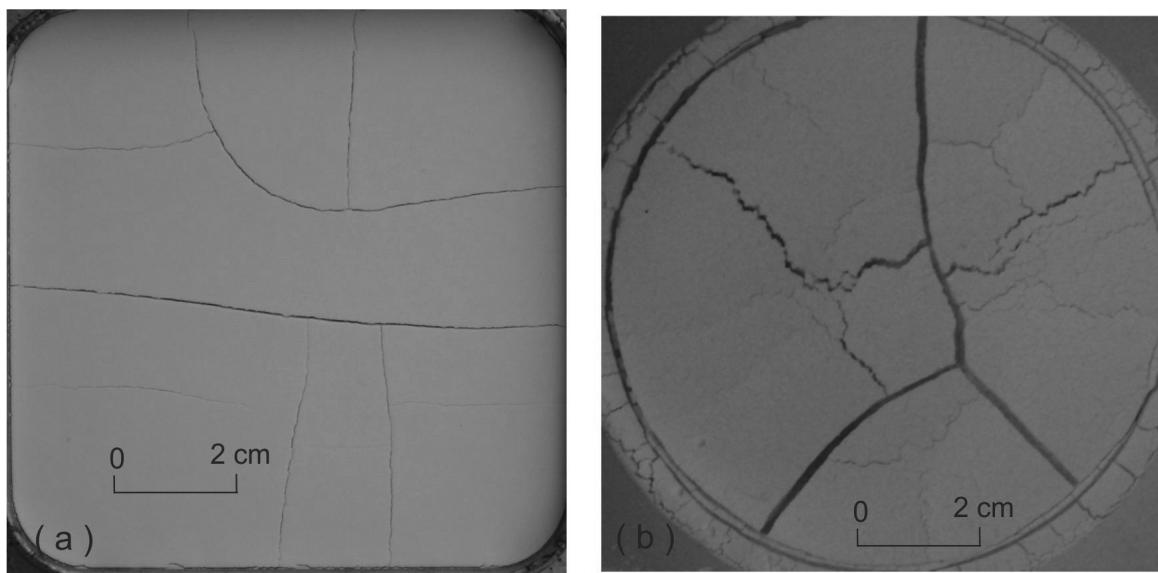


Figura 1. Aparición de primeras fracturas en experimentos de fécula de maíz. (a). Fracturas grandes cortando el plato de lado a lado con intersecciones a 90°. (b). Generación de puntos triples en la intersección de tres fracturas formando un ángulo de 120°.

Después de que se forman las primeras fracturas, la desecación continúa y con el paso del tiempo empieza a acumularse la contracción dentro de los prismas formados por las fracturas grandes, hasta que se forman las fracturas poligonales menores. Esta segunda generación de

fracturas tienen un tamaño mucho menor que las primeras (figura 2a y 2c). Al realizar las mediciones de los ángulos que forman las fracturas pequeñas y ponerlos en un diagrama de frecuencia, sin considerar las intersecciones a 90° con las fracturas grandes, observamos que los ángulos más frecuentes están comprendidos entre 90° y 140° (figura 2).

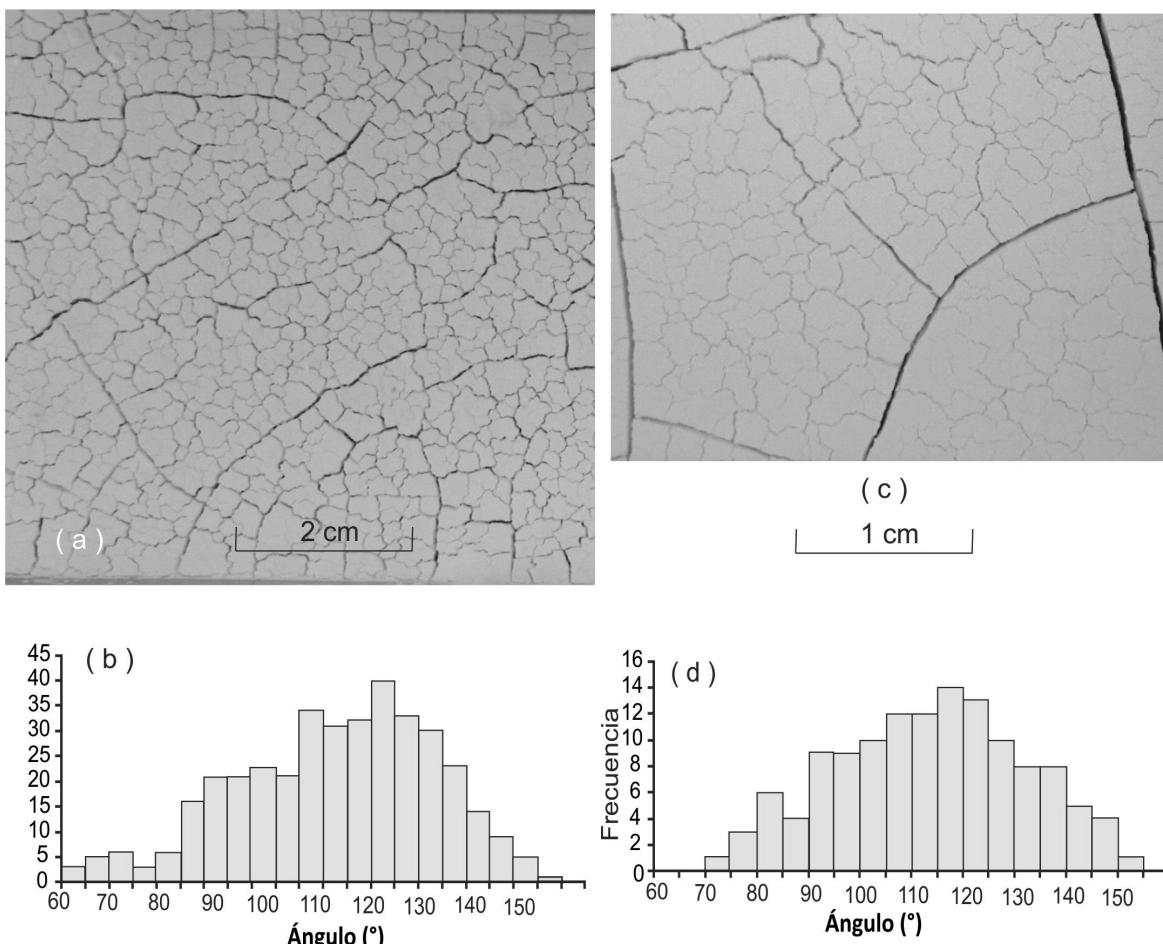


Figura 2. Relación entre facturas grandes y fracturas menores. En (a) y (c) se muestran fotografías de experimentos con fécula; (b) y (d) muestran diagramas de frecuencia donde se observa que la gran mayoría de los ángulos de intersección en fracturas menores tienen entre 90° y 140° .

Reconstruyendo cómo se forman los patrones poligonales

Haremos un ejercicio muy sencillo que permite darse una idea de la manera en que se forman los patrones poligonales de los experimentos. Para ello construiremos una serie de «diagramas de Voronoi», los cuales fueron definidos por el matemático ruso Georgy Feodosevich Voronoi y que se usan actualmente en la determinación de áreas de influencia. Este tipo de diagramas son una herramienta bastante común de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Primeramente requerimos una imagen (fotografía) de la superficie de desecación del experimento, en ella se deben identificar las fracturas grandes, que como dijimos anteriormente son las primeras que se formaron. Ahora bien, se debe poner un punto en cada centro de los polígonos que forman dichas fracturas, como los puntos rojos en el ejemplo de la figura 3a.

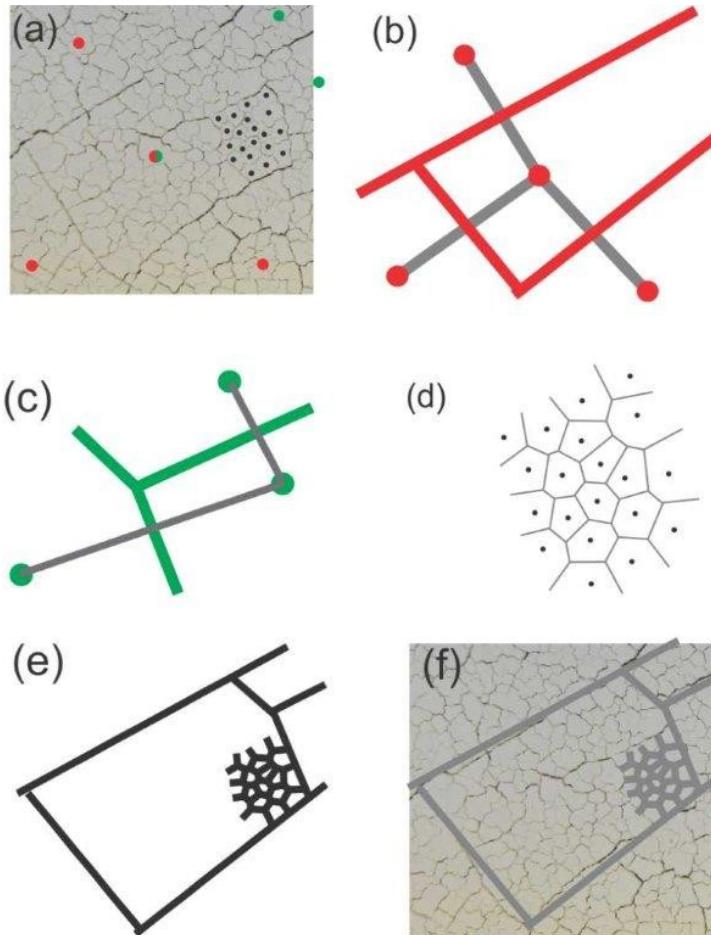


Figura 3. (a) Parte de la fotografía de la figura 2a, los puntos rojos se ubican en los centros de los polígonos formados por las fracturas mayores, los puntos verdes en los centros de los polígonos medianos y los negros en los centros de polígonos menores. La construcción del diagrama de Voronoi para las fracturas mayores se muestra en (b), para las fracturas medianas en (c) y para las fracturas más pequeñas en (d). En (e) se muestra el resultado final juntando los diagramas que se elaboraron. En (f) se sobrepuso el arreglo de fracturas de los diagramas de Voronoi sobre la fotografía original, obsérvese la similitud entre lo obtenido y el experimento.

construir el diagrama, como se explicó arriba en el texto. Ahora hacemos lo mismo con las fracturas de tamaño intermedio. En la figura 3c se muestra el diagrama de Voronoi de los polígonos formados por las fracturas medianas y en la figura 3d el diagrama de Voronoi de los polígonos formados por las fracturas más pequeñas.

Por último, si unimos todos los diagramas de Voronoi como se muestra en la figura 3e, podemos ver que el arreglo es muy similar al del experimento; obsérvese cómo al superponerlo con la imagen coinciden bastante bien (figura 3f).

¿Por qué se parecen los arreglos del dibujo obtenido y los del experimento? Aunque el proceso de desecación es en realidad bastante más complejo (Vogel *et al.* 2005, Li y Zhang 2011), podemos considerar de manera muy general que la contracción por desecación en un área pequeña del experimento es aproximadamente homogénea, lo que quiere decir que es aproximadamente igual en todas direcciones. En el dibujo que hicimos estamos considerando que dos puntos de contracción tendrán exactamente la misma influencia en el material y por lo

A continuación se trazan líneas que unan dichos puntos y luego, con la ayuda de una regla, se identifica el punto medio de cada línea. Sobre ese punto medio se traza una línea perpendicular, como se muestra en la figura 3b. Este procedimiento se repite para todas las líneas y obtendrás un patrón poligonal muy parecido al patrón que forman las fracturas mayores del experimento. Ahora hay que repetir el mismo procedimiento en el interior de cada uno de los polígonos formados por las fracturas mayores y se obtiene un arreglo poligonal muy parecido al que formaron las fracturas medianas del experimento.

Procedemos igualmente a identificar los centros de los polígonos formados por fracturas medianas (puntos verdes) y por último se identifican los centros de los polígonos pequeños de una zona de la imagen (puntos negros) (figuras 3c, d). En la figura 3b se muestra cómo se construyó el diagrama de Voronoi para los polígonos formados por las fracturas más grandes. Las líneas grises son las que unen los centros de los polígonos y las rojas son las perpendiculares que trazamos para

tanto la fractura se formará entre ambos con una dirección perpendicular a la línea que los une. Como podemos ver, aunque no es igual, esto es parecido al fenómeno de desecación.

Conclusiones

A continuación se exponen las principales conclusiones de este trabajo:

- 1) Las grietas y fracturas se originan por contracción, lo cual puede ser causado tanto por deshidratación como por enfriamiento, por lo que los patrones de fracturas de ambos procesos se parecen.
- 2) Los materiales se contraen cuando se secan o se enfrían y por eso se fracturan, formando patrones prismáticos diversos. Las fracturas son perpendiculares a la superficie de desecación y forman prismas que tienen su eje mayor perpendicular a la superficie de enfriamiento o desecación.
- 3) Es posible recrear geométricamente los patrones de fracturas observados en los experimentos de desecación con fécula, haciendo diagramas de Voronoi para cada una de las etapas de formación de fracturas.
- 4) El ejercicio presentado aquí lo hemos implementado para grupos de estudiantes de 10 a 16 años. La mayoría de ellos comentaron que no habían observado en detalle grietas de desecación y que el ejercicio realizado, además de ser divertido, permite establecer una relación entre contracción y formación de grietas.

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento otorgado por los proyectos PAPIIT-IN107610 y Sener-Conacyt 143935.

Referencias

- Herbert E., John B., Shepherd R., Haraldur S., Stephen J. S. (1982) On lava dome growth, with application to the 1979 lava extrusion of the soufrière of St. Vincent. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 14(3-4), 199-222.
- Li J. H., Zhang L. M. (2011) Study of desiccation crack initiation and development at ground surface. *Engineering Geology* 123(4), 347-358.
- Müller G. (1998) Starch columns: Analog model for basalt columns. *Journal of Geophysical Research* 103(B7), 15239-15253.
- Pidgeon R. T. (1978) 3450-m.y.-old volcanics in the Archaean layered greenstone succession of the Pilbara Block, Western Australia. *Earth and Planetary Science Letters* 37(3), 421-428.
- Vogel H.-J., Hoffmann H., Roth K. (2005) Studies of crack dynamics in clay soil I. Experimental methods, results, and morphological quantification. *Geoderma* 125, 203-211.