



## Formación de cavidades en rocas graníticas bajo condiciones no epigénicas

### Cavities formation in granite rocks under non epigenic conditions

VIDAL ROMANI, J. R.; GRACIA PRIETO, F. J

Las cavidades graníticas tipo gnama y tafone se han entendido siempre como resultado de procesos de alteración epigénicos. En el trabajo se describe el hallazgo de cavidades de este tipo encontradas no en un perfil de alteración de un macizo rocoso, sino en el interior de la roca y relacionadas con las discontinuidades estructurales que la afectan, interpretándose según la teoría elástica de formación de cavidades.

**Palabras clave:** gnamma, tafone, Galicia, granito, geomorfología.

The gnamma and tafone granite cavities are understood like the result of weathering processes developed under epigenic conditions.

The paper describe the find of cavities, gnamma and tafone type, during the excavation of a granite intact rock and connected with the structural discontinuities. The find is interpreted according the elastic theory of cavities formation.

**Key words:** gnamma, tafone, Galicia, granite, geomorphology.

VIDAL ROMANI, J. R.

(Laboratorio Xeolóxico de Laxe, 15168. O Castro (Sada, A Coruña).

GRACIA PRIETO, F. J.

(IGME-ENRESA. c/ Cristóbal Bordiu, 35, entro A. 28003 Madrid)

## INTRODUCCION

Han sido suficientemente descritas y desde muy temprano (1883, REUSCH, H.), en la literatura geomorfológica las cavidades formadas por procesos naturales de alteración en las rocas graníticas. Aunque de morfología muy variada podemos considerar dos tipos principales de cavidades: las gnammas (Pías, vasque) y los tafoni (cavernous weathering, cacholas).

La mayoría de los autores que han trabajado en estos temas sostienen una génesis diferente para cada una de las dos formas, así como también una diferente evolución subáerea. Desde la primera mención científica (Reusch, 1883), que se hace de una de estas formas: los tafoni, ha existido una continua polémica en cuanto a su origen, génesis y evolución, aún no resuelta, y de la que existen buenas síntesis, p. e. (TWIDALE, 1982). Generalmente se explican como cavidades originadas subáereamente, que evolucionan por desagregación, granular o en placas, de la roca en aquellos puntos en donde los procesos de alteración parecen más efectivos, (base de los bloques rocosos, pies de escarpes de relieves rocosos, juntas rocosas, etc.). Por el contrario, la otra forma (gnamma) no ha suscitado una controversia tan grande a la hora de avanzar hipótesis sobre su origen, génesis y evolución ulterior. En el momento actual se admite, de una manera generalizada que se trata de una forma originada por alteración, según unos autores, (TWIDALE, 1982), bajo el suelo, y como consecuencia de un proceso de meteorización (fase biostásica) edáfica del substrato rocoso. Al progresar este frente de alteración a una velocidad diferente, se generan en la superficie del macizo meteorizado, irregularidades, fundamentalmente concavidades y convexidades. Con posterioridad, y debido a una fase rextásica, o simplemente denudativa, el perfil de alteración es desmantelado, y esas concavidades progresan individualizadamente, ya en una fase de evolución subáerea. En esta etapa de al-

teración del macizo juega un papel esencial el agua de la lluvia retenida temporalmente en esas concavidades, al propiciar una aceleración selectiva del proceso en tales puntos, dando así lugar al desarrollo bien diferenciado de una gnamma (pía, vasque).

En síntesis pues, tanto gnammas como tafoni se entienden generalmente como formas de evolución subáerea, aun cuando puedan haberse iniciado en algún caso, (gnamma), en condiciones subedáficas.

## EL MODELO ELASTICO DE FORMACION DE CAVIDADES. LA CONCENTRACION DE CARGAS

Desde 1983, de una manera explícita se empezó a plantear por uno de nosotros (VIDAL ROMANI, J. R. 1983), la hipótesis de que gnammas y tafoni, aún siendo formas diferentes, de también diferentes evoluciones, fueran manifestaciones de un único proceso de alteración del granito. Esta hipótesis parte de la observación usual de las dos formas en asociación: la una (tafone), superpuesta a la otra (gnamma). Esto nos dio pie a interpretarlas, no como resultado de un fenómeno epigénico, sea en esa fase subáerea, reconocida por todos los autores, en la evolución de las dos formas, o aun en la anterior fase subedáfica, (las dos fases de TWIDALE (1986) para la forma de tipo gnamma). Según nuestra hipótesis, a la etapa epigénica habría precedido una de deformación tectónica del macizo rocoso, durante la que se originarían gnammas y tafoni (VIDAL ROMANI, J. R. 1985a y b).

En efecto, la posibilidad de que hayan actuado, en una etapa de la historia geológica del macizo rocoso, grandes esfuerzos afectando a la totalidad de su volumen es claramente admitida por todos los autores al entenderse como rasgos estructurales los sistemas de discontinuidades (diaclasas, fracturas, planos de foliación) que los afectan y nunca como una consecuencia de los procesos de alteración epigénicos que los ponen

de manifiesto. Incluso en rocas solubles, o fácilmente solubilizables por el agua (p. e. carbonatos, sulfatos), pueden ser diferenciados con claridad los rasgos morfológicos debidos únicamente a la solubilización de la roca, de aquellos en los que la disolución actúa, guiada por planos de discontinuidad o líneas de discontinuidad pre-existentes, dando lugar entonces a formas de degradación con pautas geométricas (este carácter geométrico o repetitivo periódico de las formas resultantes parece ser lo que decide a la mayoría de los autores a considerar como rasgos estructurales o no los de una geoforma determinada).

La distribución, de los esfuerzos tectónicos a los que ha visto sometido un macizo rocoso, ha sido bien estudiada, al menos a nivel macroscópico. Peor entendidas son las deformaciones a pequeña escala, como p. e., el comportamiento de la roca en zonas localizadas, en el entorno inmediato de los planos de fractura. Menos entendidos aun son los casos en que se trata de deformaciones que hayan tenido lugar a grandes profundidades de la superficie terrestre y con un comportamiento de la roca sometida a unas condiciones diferentes de presión y temperatura a las que tiene en superficie, aun siendo consideradas dentro del dominio elástico (VIDAL ROMANI, 1983). A veces, sin embargo, al observar las superficies de fractura donde ha existido un movimiento diferencial del macizo según ellas, deducimos que se han producido casos de concentración de esfuerzos, y así quedan reflejados en rasgos morfológicos distintivos, como p. e.: *estrías y conos de presión* (onglets), *crecimientos cristalinos orientados*, (en las zonas de depresión del plano de falla), etc. No es pues difícil imaginar que en esos planos de fractura, movilizados con posterioridad o simultáneamente, a la rotura del macizo se puedan alcanzar tensiones con magnitudes que sobrepasen la resistencia a la compresión simple del granito, dando lugar a la rotura de la roca. Se pueden deducir, teóricamente (VIDAL ROMANI, 1985 a y b), tan-

to las condiciones de carga como las dimensiones de los volúmenes de roca afectados por estas fuerzas concentradas en tipos de granito con distintas resistencias a la compresión, (o lo que es equivalente, en distintos grados de alteración).

Esos volúmenes cuyo entorno se ha dibujado (VIDAL ROMANI, 1985 a y b), se asemejan a los observados en formas reales de gnammas y tafoni.

El final de todo este largo proceso de concatenación de ideas no es tanto el demostrar la formación de gnammas y tafoni por procesos tectónicos de concentración de cargas, cuanto el llegar a la conclusión de que es razonable imaginar que ésto es verosímil que ocurra. Otra cosa es que lo posible llegue a suceder en la realidad. En efecto, dado que estas formas sólo pueden, en principio ser percibidas cuando el macizo rocoso granítico llega a la superficie libre de la Tierra, y son, ineludiblemente, puestas de manifiesto (como los sistemas de discontinuidades, s. s.: diaclasas, planos de foliación, juntas, etc.) una vez que los procesos de meteorización (química y física, y/o biológica actúan sobre la roca), es en principio difícil comprobar, tanto la existencia de esa concentración de cargas, como los efectos achacados a ellas (roturas de la roca en volúmenes esféricos, subesféricos, elipsoidales, etcétera. VIDAL ROMANI, J. R. 1985 b).

Bastaría, en principio con mostrar, en un caso claramente diferente de lo que es un frente de alteración normal, la existencia de este tipo de rasgos morfológicos (gnammas y tafoni), para probar la factibilidad de la hipótesis del *modelo elástico deformación de cavidades*.

#### CAVIDADES GRANÍTICAS EN PERFILES DE ROCA NO ALTERADA

Durante el verano de 1986 se completó la excavación de la cerrada para la presa de Santa Uxía (río Xallas, A Coruña) a cargo de la empresa CMZ. Aprovechó entonces la

empresa dedicada al control y seguimiento de la obra, (INARSA, Zaragoza), para encargar a uno de nosotros un estudio geológico y microtectónico de la cerrada recién excavada. Tuvimos entonces oportunidad de observar como la excavación, realizada enteramente en un granito masivo, había puesto al descubierto un conjunto de cavidades subsféricas o esferoidales, a profundidad variable, desde unos metros de la superficie libre del macizo hasta unos 15 metros (Figs. 2 y 3) máxima profundidad alcanzada para la cimentación de la presa. Según manifestaciones de los técnicos de CMZ, no era esta la primera ocasión en la que se encontraban este tipo de anomalías al hacer perforaciones en los granitos de la zona en otras obras. Estos hechos fueron los que indujeron a estudiar con un mayor grado de detalle la aparición de aquellas formas.

## CARACTER DEL MATERIAL

La presa se emplaza sobre el tradicionalmente llamado granito tipo Ruña (fig. 1) caracterizado por presentar facies de grano grueso y abundantes megacristales. Es el «granito de dos micas con megacristales», IGME (1981), miembro posterior de la serie de los granitos de dos micas sincinemáticos con la 2.<sup>a</sup> fase de deformación hercínica. Hacia el sur aparece un granito (tipo Dumbría) de características petrográficas muy similares al anterior, aunque en este caso presenta enclaves, así como texturas orientadas, con un origen anatético IGME, (1981).

Muy cerca de la presa, al Oeste, aparecen unos granitos (granodioritas tardías, IGME, 1981) tradicionalmente denominados de Pando o facies de borde de Pindo. Son granitos biotíticos rosados de facies de grano medio y grueso.

Entre estas granodioritas y el granito tipo Ruña aparecen, en las proximidades de la presa, dos diques de microgranito porfídico, de carácter tardío. Finalmente, en toda la región se reconocen diversos enclaves

de esquistos y metacuarcitas, supuestamente de edad precarbonífera.

Se distinguen en la región dos fases de deformación hercínica; la primera de ellas solo da microestructuras dúctiles. La segunda genera estructuras de dirección NNW-SSE.

Entre ambas tiene lugar el emplazamiento del complejo granítico de Noia, al que pertenecen las unidades citadas anteriormente. Existen fases de fracturación tardía que generan numerosas fallas normales y de desgarre, siendo la familia N50E la más importante de todas las que afectan al complejo (IGME, 1981). A esta familia de discontinuidades corresponde la asociación con el sistema de cavidades que se estudian en este trabajo. También son muy abundantes las diaclasas de orientación variable y relacionadas con fenómenos, supuestamente descompresivos del macizo.

Cabe decir por último, que todos los materiales graníticos aquí citados se encuentran bastante alterados en superficie, dando perfiles de meteorización de hasta 3 metros de espesor en las proximidades de la presa, si bien, debido a los efectos erosivos de las aguas del río Xallas, en el emplazamiento de la presa los recubrimientos de roca alterada son inapreciables.

## CARACTERISTICAS DE LAS CAVIDADES

Al realizar la excavación de la presa aparecieron cavidades en el frente y base del estribo derecho, a profundidades que oscilaban entre los 3 y 15 m. Sus diámetros también eran variables y estaban comprendidos entre 0.5 y 1.5 m (Fig. 2 y 3). En la zona de frente aparecían relacionados con un plano de falla que delimitaba la excavación por el Este. En la zona de estribo se manifestaban desconectados, aparentemente, de los sistemas de diaclasas de las muchas que afectaban allí al granito. En el interior de una de las cavidades del estribo se observaba un fi-

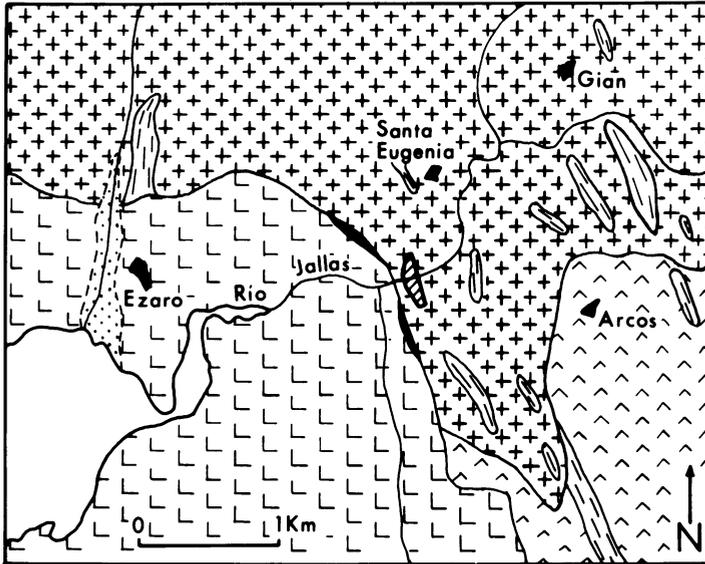


Fig. 1. Localización geográfica y geológica de la presa de Sta. Eugenia (Uxía). Geología basada en IGME (1981).

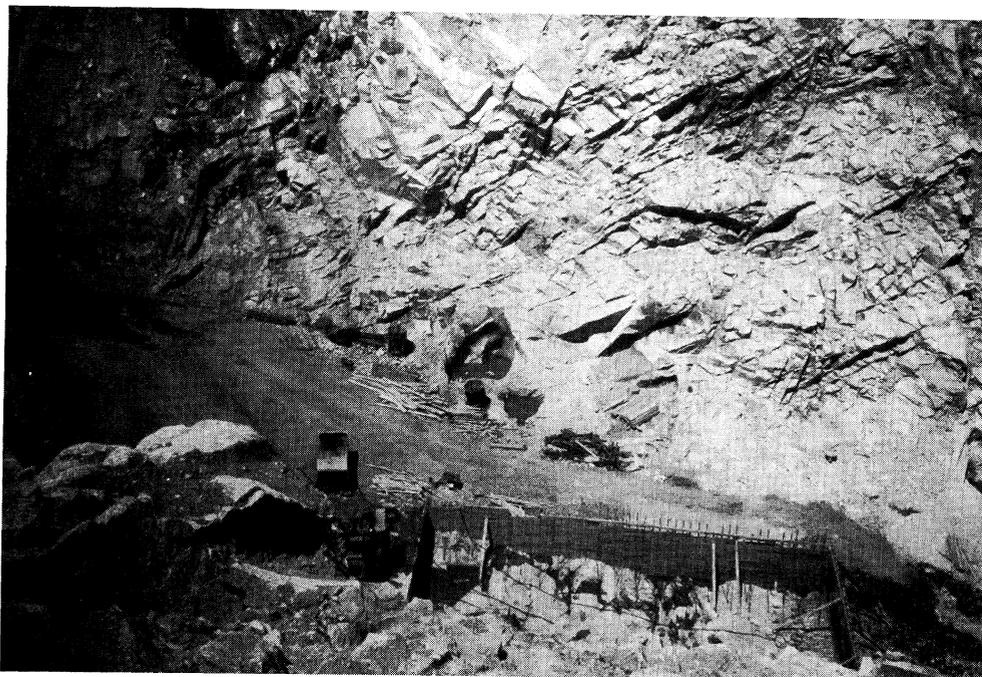


Fig. 2. Vista general del fondo de la excavación de la cerrada a unos 15 m de profundidad con dos de las cavidades. Una parcialmente vaciada y la otra llena de agua.

lón de cuarzo que atravesaba la cavidad, y que daba en su interior un relieve convexo con un resalte de unos 2 cms.

La pared interna de la cavidad era limpia y neta sin ningún rastro de alteración y la curvatura de las mismas estaba muy bien definida, dando a las oquedades una morfología cercana a la esférica, con un ligero elongamiento en la vertical, según el plano de discontinuidad con el que estaban asociadas.

En el momento de la excavación las cavidades estaban rellenas de agua, en algunos casos y con restos de granito meteorizado (arenas, lehm), que no colmataban la cavidad.

A partir de estos datos podemos interpretar la existencia de una comunicación con la zona superficial del macizo, la que se conseguiría a través del sistema de disconti-

nuidades que lo afectan. Si bien el agua debería proceder, inequívocamente de la escorrentía superficial canalizada a través del sistema de drenaje de la zona (río Xallas), los productos de meteorización deben tener su origen en la alteración de la roca, que procedería dirigida por los planos de discontinuidad parcialmente abiertos. Está claro que el relleno de las cavidades no pueden haber sido aportado desde el exterior, ya que de ser así, debería haber existido una selección granulométrica, estratificación, etc. que probase la relación de esos aportes con un transporte y clasificación realizado por el agua. Igualmente podría suponerse la existencia de una cavidad antecedente al relleno por el agua, e identificar los huecos en el granito como singenéticos (géoda, nido pegmatítico) lo que no puede ser sostenido por la observación en la realidad de esas ca-



Fig. 3. Asociación diaclasa-pía en granitos de Dumbría.

vidades de paredes limpias y lisas y por la inexistencia de esas texturas (pegmatitas ó géodas), en el resto del macizo que circundan el área reconocida. Tampoco pueden interpretarse como marmitas turbillonares muy abundantes en la zona, al estar las cavidades incluidas dentro de una zona de roca sana (a veces a 15 m de profundidad de la superficie libre del terreno). Debemos pues concluir que el único origen verosímil para estas cavidades esté relacionado con un proceso de alteración canalizado a través del plano de fractura (o de discontinuidad) y que progrese a mayor velocidad según esas zonas esféricas relacionadas con aquel plano y que identificamos como puntos de la superficie de fractura en los que se ha producido una concentración de fuerzas, de la suficiente magnitud, como para que se haya ocasionado la rotura de la roca según el modelo descrito en la hipótesis a la que antes hacíamos referencia: *el modelo elástico de formación de cavidades*.

Conviene señalar que otros autores han mencionado la existencia de gnammas (pías, vasque), asociadas a planos de diaclasis (Fig. 3) (TWIDALE, C. R., 1982; CHOFFAT, 1985); (VIDAL ROMANI, 1979).

Tal asociación había sido interpretada, inicialmente, como una prueba de la relación entre una discontinuidad (p. e. un plano de diaclasa), que induce una mayor debilidad del macizo rocoso según ella, y el comienzo de la alteración subedáfica o subaérea selectiva del macizo, argumentándose en ello el origen epigénico de las gnammas.

A la luz de los hechos antes reseñados, nos encontramos con una nueva interpretación de esa asociación, *gnammas-discontinuidad*, que identificaríamos así como un caso de concentración de cargas en puntos determinados de ese plano de discontinuidad (plano de diaclasa o de fractura), en el macizo rocoso, que acusaría la rotura del

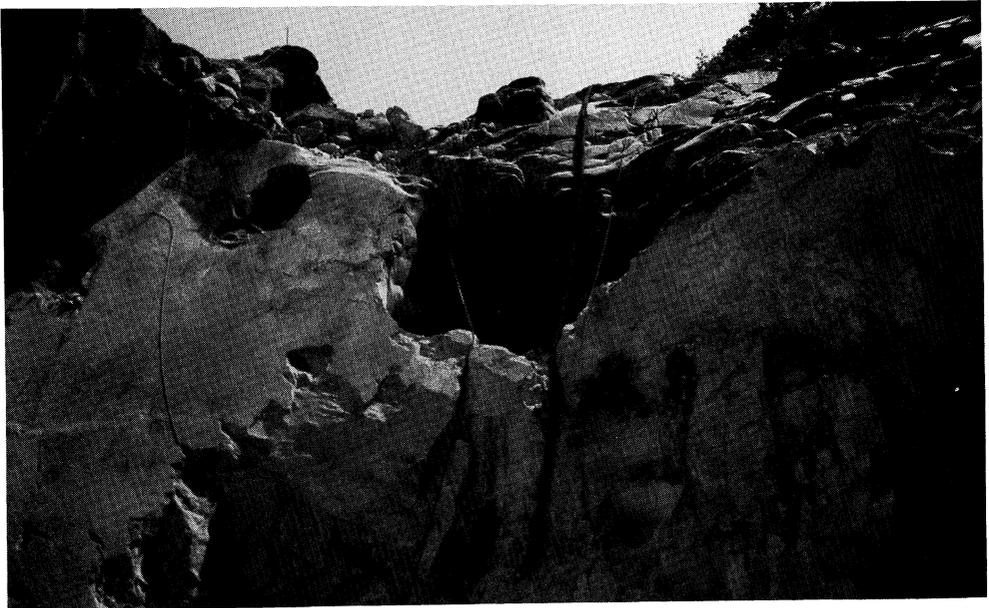


Fig. 4. Vista parcial de la excavación por debajo del cauce del río Xallas. A la izquierda un resto del plano de fractura con las cavidades asociadas a ella. En superficie esas cavidades han podido ser retrabajadas por el río o colmatadas por sedimentos. En la parte inferior izquierda ya aparecen dentro del perfil rocoso excavado.

macizo en el entorno del punto, en cada caso (ver Fig. 5).

Así, la alteración subaérea, (o aún sube-dáfica), progresaría diferencialmente en unas zonas más que en otras de la superficie de rotura, ocasionando la aparición de gnammas asociadas a esos puntos de los planos de discontinuidad del macizo rocoso. Lo que varía pues no es la interpretación de esas cavidades (gnammas o tafoni) como producidas por alteración del macizo rocoso en condiciones superficiales, sino el origen de las formas esféricas que esa alteración pone de manifiesto.

La gran rapidez con la que se desarrollaron las obras de cimentación de la presa de Santa Uxía nos impidió realizar una investigación de mayor magnitud que la que nos ha proporcionado los datos aportados en este trabajo. Hoy en día, el corte aquí descrito está sellado por la citada construcción y sin posibilidades de ser re-examinado. Aún así, la importancia de las observaciones es a nuestro entender muy grande.

## CONCLUSIONES

Si bien el mecanismo propuesto por uno de nosotros en la teoría del *Modelo elástico de formación de cavidades* es físicamente impecable y teóricamente irrefutable, y ha sido exhaustivamente comprobado en casos concretos, a otra escala que la geológica, y sobre todo en obras de ingeniería civil, está claro que sólo la experimentación a escala

natural en un material como el granito o similar, y con un campo de fuerzas similar, o igual, al producido en la deformación tectónica de las rocas graníticas podría servir para probar más allá de toda duda, la veracidad del mecanismo que uno de nosotros ha propuesto. La reproducción de este tipo de fenómenos en un ensayo de laboratorio está, por el momento, fuera de nuestro alcance, por claros motivos económicos y debemos basarnos para la confirmación de nuestras hipótesis en la observación de hechos reales como el descrito que, aún en el caso más desfavorable apoya al menos la teoría mantenida por nosotros en este trabajo, al existir unos rasgos morfológicos que hacen siquiera sospechar cuando no confirmar, la veracidad de nuestras suposiciones. Otros procesos naturales, como los propios planos de fractura, presentan rasgos que hablan de concentración de esfuerzos, y así se pueden interpretar las estrías, recristalizaciones orientadas, roturas, etc., asociadas a los mismos. En nuestra opinión pues, las cavidades esféricas asociadas a los planos de discontinuidad en las zonas descritas en este trabajo de granito de Ezaro corresponden a un caso de concentración de cargas por movimiento diferencial a lo largo del plano de fractura y han sido puestas de manifiesto por la subsiguiente alteración incipiente del macizo según el plano de la misma discontinuidad. Así se interpretarían también las asociaciones diaclasas-gnammas o diaclasas-tafone observadas frecuentemente en otros casos reales y en condiciones superficiales.

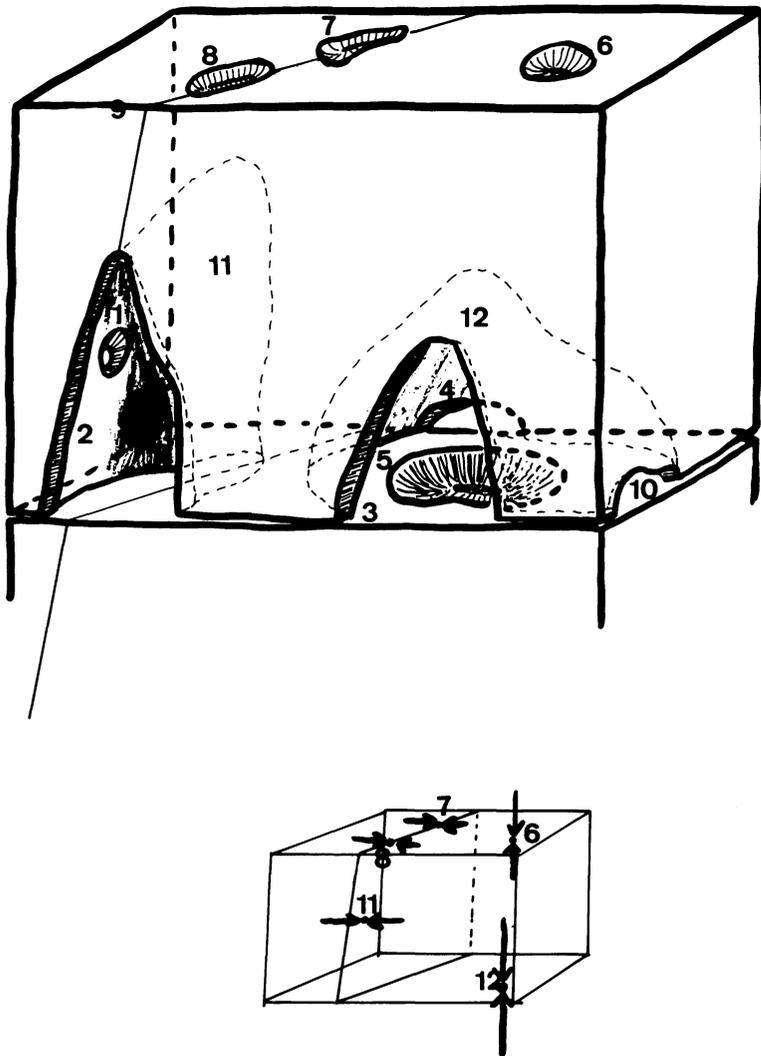


Fig. 5. Esquema de aplicación de pares de fuerzas, por concentración de caras en el bloque diagrama para producir los distintos tipos de cavidades del dibujo superior.

Las cavidades numeradas como 1, 3, 4, 9, no han sido producidas por concentración de cargas, sino como consecuencia del desarrollo normal de los procesos de tafonización del bloque (1, 3, 4, 9) o de evolución de las gnammas (en el esquema no aparece ningún caso de éstos).

- 1.—Ventana en tafone-diaclasa (VIDAL ROMANI, 1983).
- 2.—Ventana por derrumbe de pared lateral en tafoni-diaclasa (VIDAL ROMANI, 1983).
- 3, 4 y 9.—Ventana por derrumbe de pared lateral en tafoni-bloque.
- 5.—Gnamma (pía), tipo pit (TWIDALE, 1982).
- 6.—Gnamma (pía), tipo pit en relación con plano de diaclasa.
- 7 y 8.—Gnammas (pías) relacionadas con superficie de diaclasa.
- 10.—Superficie de diaclasa transversal al sistema ortogonal que define el bloque del esquema representado.
- 11.—Tafone (cachola)-diaclasa.
- 12.—Tafone (cachola)-bloque.

## BIBLIOGRAFIA

- CHOFFAT, P. (1885). Notes sur l'érosion a Portugal. Sur quelques cases d'érosion atmospherique dans les granites du Minho (tafoni). *Com. Serv. Geol. Port.* Tomo III, págs: 2-22.
- IGME (1981). Memoria y mapa geológico de España, 1:50.000. Plan Magna. Hoja n.º 93, (Outes). IGME. Madrid.
- REUSCH, H. (1883). Note sur la géologie de la Corse. *Paris Soc. Geol. Bull.* 11: 53-67.
- TWIDALE, C. R. (1982). *Granite Landforms*. Editorial Elsevier Amsterdam, 372 páginas.
- TWIDALE, C. R. (1986). Granite Landforms Evolution: fractures and implications. *Geol. Runds.* 75/3: 769-779.
- VIDAL ROMANI, J. R. (1985). a) Los rock doughnuts. Génesis y morfología. Aplicación a algunos casos gallegos. *Actas Reun. Quat. Iber.* vol. III, págs. 459-473. Lisboa.
- VIDAL ROMANI, J. R. (1985). b) Estudio teórico sobre el origen de las características morfológicas de las pías (gnammas, vasque). *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, vol. 10, págs. 138-168. O Castro.
- VIDAL ROMANI, J. R. (1983). El cuaternario de la provincia de A Coruña. Geomorfología granítica. Modelos elásticos de formación de cavidades. *Tesis Doctoral*. Pub: Universidad Complutense de Madrid, 600 págs.