

TRABAJOS DE LAS SECCIONES



CONFERENCIAS-LECCIONES PRONUNCIADAS
POR D. N. LLOPIS LLADO EN ATAUN (GUI-
PÚZCOA), DURANTE EL CURSILLO DE INI-
CIACION A LA GEOESPELEOLOGIA ORGANI-
ZADA POR EL GRUPO «ARANZADI»

Segunda Conferencia

LA EROSION SUBTERRANEA

Comportamiento hidrológico de las rocas.— El modelado de las cavernas se debe fundamentalmente, a la erosión del agua subterránea adaptándose a una estructura determinada tal como ya hemos insinuado en la conferencia anterior, pero de la misma manera que se precisa conocer la estructura de la masa caliza a la que se adapta la caverna, necesitamos también tener algunas nociones acerca de la marcha y características del agua subterránea si queremos tener un conocimiento completo de las cavernas.

El agua subterránea procede ineludiblemente del exterior, es decir es agua de lluvia que por circunstancias especiales penetra en el interior de las rocas de la corteza terrestre circulando por ella. Para que esto sea posible, es necesario que dichas rocas tengan caracte-

rísticas físicas determinadas, puesto que no todas ellas tienen capacidad de absorción del agua. De aquí, que desde el punto de vista hidrológico, las rocas se dividan en dos grandes conjuntos: rocas *permeables e impermeables*, según que permitan o no el paso del agua. Las primeras obedecen a su vez a dos tipos distintos de permeabilidad: pueden ser *rocas sueltas*, es decir, que sus elementos estén simplemente yuxtapuestos, sin cemento alguno que los una, como las arenas, o por el contrario pueden tener sus elementos fuertemente unidos por un cemento en cuyo caso son extremadamente compactas, es decir están *lapidificadas*.

En el primer caso (fig. 10) el agua penetra fácilmente en las rocas a través de sus poros, circulando gota a gota entre los espacios que separan sus elementos, en virtud de un fenómeno llamado *percolación*; el agua impulsada por la acción de la gravedad tiende a desplazarse hacia abajo, lo que hace hasta encontrar una roca impermeable que le impida su progresión hacia la profundidad, en cuyo caso la roca permeable queda empapada de agua total o parcialmente, denominándose entonces *capa freática*, y el límite superior de dicha capa se denomina *nivel piezométrico*.

El segundo tipo de rocas, en cambio, a consecuencia de estar lapidificadas, no tienen poros por estar éstos ocupados por el cemento que une sus elementos y por este motivo el agua sólo puede penetrar a través de las fisuras, es decir de los planos de estratificación, diaclasas y fallas que las crucen, de tal modo que cualquier roca lapidificada que no tenga fisuras es totalmente impermeable.

Pero las rocas lapidificadas fisuradas tendrán una permeabilidad muy distinta a la de las arenas, de manera que aquí el agua ocupará única y exclusivamente los espacios libres facilitados por la estructura de la roca y por lo tanto circulará libremente por ellos de tal modo que el resto de la masa rocosa estará totalmente seco. De aquí la existencia de dos tipos distintos de permeabilidad: Permeabilidad por imbibición en el caso de la roca suelta; permeabilidad por infiltración en el caso de las rocas compactas fisuradas.

Este segundo caso es el de las calizas, que son rocas compactas fisuradas y por consiguiente tendrán permeabilidad por infiltración. En este caso se establecerá también un nivel piezométrico teórico determinado por una superficie ideal obtenida uniendo los límites superiores del agua infiltrada en las fisuras.

Características de la circulación en las calizas.— En la masa caliza el agua penetra exclusivamente por las fisuras circulando tanto más fácilmente cuanto mayor sea la capacidad absorbente de éstas, es decir, cuanto más abiertos tengan sus labios. Cuando el agua penetra

por una fisura tiende, como siempre, a bajar impelida por la acción de la gravedad y siguiendo la ley hidrológica universal de la máxima pendiente y la mínima resistencia, es decir que baja a zonas que ofrecen menor resistencia a su progresión hacia la profundidad. Pero en su camino el agua se ve obligada a vencer la resistencia que le ofrecen las paredes de la fisura, produciendo en su consecuencia un rozamiento que se traduce en un fenómeno de erosión en virtud del cual las paredes de las fisuras van ensanchándose progresivamente, aumentando por lo tanto su capacidad colectora y produciéndose como consecuencia también, un progresivo aumento de la erosión. De este modo, una fisura al principio con poca capacidad absorbente, puede transformarse en una zona de absorción en gran escala.

Pero simultáneamente con este fenómeno mecánico inherente a la circulación del agua en la caliza, se produce una acción química gracias a la solubilidad del carbonato cálcico en el agua ácida; en virtud de esta propiedad, el agua no sólo actúa mecánica sino también químicamente sobre las paredes de la fisura, produciendo los consiguientes fenómenos de decalcificación con separación de "terra rosa". Este tipo especial de circulación propio del karst se denomina *circulación cárstica*.

En la circulación cárstica existe, pues, siempre una acción química y mecánica sobre las paredes de las fisuras, pero el predominio de una u otra acción dependerá del volumen de agua que circule y de las características particulares de la circulación. Si el agua penetra penosamente en lámina muy fina por una fisura de labios poco abiertos, la progresión hacia la profundidad será muy lenta y el proceso mecánico será casi nulo dominando entonces los fenómenos de disolución. Si por el contrario la fisura es de labios muy abiertos y el volumen de agua que circula por ella tiene cierta importancia, la circulación se hará rápidamente, desarrollándose fuerza viva bastante para producir fenómenos mecánicos de importancia, en detrimento de las acciones químicas. Pero una fisura de labios estrechos puede ser ensanchada por los fenómenos de disolución y ser apta posteriormente para absorber agua en mayor escala con producción de fenómenos de erosión, es decir que existe siempre, o casi siempre, una evolución de uno a otro tipo de infiltración. La circulación cárstica puede empezar, por lo tanto, con fenómenos exclusivamente de disolución y terminar con predominio de fenómenos erosivos a tenor de las características geométricas de la fisura primitiva.

En la superficie de todas las masas calizas encontramos huellas evidentes de fenómenos de disolución. Si consideramos (fig. 11) el caso más sencillo de un bloque calizo, formado por estratos horizontales y con dos sistemas de diaclasas ortogonales DD' D"D" y de

planos verticales, acompañados como siempre de múltiples leptoclasas, veremos cómo los fenómenos de disolución se concentran a lo largo de los sistemas de diaclasas especialmente en los puntos de intersección (P) de dos diaclasas ortogonales, a consecuencia de ser éstos puntos de mínima resistencia y por consiguiente de fácil infiltración. En estos puntos por lo tanto, la disolución se efectuará en mayor escala y por lo tanto se producirán en ellos depresiones circulares que se convertirán rápidamente en los puntos principales de absorción del agua; la "terra rosa" resultante de esta disolución sólo en parte será arrastrada por el agua hacia abajo a lo largo de las diaclasas, depositándose el resto en la depresión embudiforme así constituida, denominando al conjunto *dolina o torca* (Dol.) (el nombre de dolina está admitido internacionalmente; en España hay una serie de nombres regionales para estos embudos de las calizas, de los cuales el más extendido es el de torca, aunque puede prestarse a confusión, porque en Castilla se denominan torcas indistintamente a dolinas y simas).

Las dolinas activas evolucionan rápidamente en superficie y profundidad; en superficie aumentando su diámetro por progresiva disolución de los bordes del embudo, de tal modo (fig. 11) que poco a poco van ensanchándose hasta llegar a conljugarse con otras dolinas vecinas que evolucionan de la misma manera, constituyéndose entonces unas depresiones más extensas y de formas ovaladas o irregulares rellenas también de "terra rosa" denominadas *uvalas* (U); la uvala continúa evolucionando a su vez conljugándose con otras uvalas vecinas hasta constituir depresiones a veces extensísimas denominadas *poljés* (P). La capacidad absorbente aumenta progresivamente desde la dolina al poljé a consecuencia de que cada vez presenta mayor superficie, de tal modo que los poljés representan verdaderos elementos topográficos en los cuales, a consecuencia de la fertilidad determinada por la presencia de las arcillas de decalcificación, se establecen caseríos y aun poblaciones, pudiendo absorber ríos de caudal importante y constituyendo por lo tanto verdaderos oasis en el desierto calizo.

La evolución en profundidad de las dolinas está condicionada por los fenómenos de disolución no sólo a lo largo de las diaclasas principales, sino sobre todo de la red de leptoclasas acompañantes. Estas últimas, a consecuencia de la estrechez de sus labios y de su multiplicidad, constituyen zonas óptimas para los fenómenos de disolución, de tal modo que toda la base caliza de la dolina va siendo dividida poco a poco en una serie de bloques paralelepípedicos determinados por los planos de las leptoclasas y separados por las arcillas de decalcificación. Como estas arcillas van siendo arrastradas poco a poco

hacia abajo por el agua, se produce en el fondo del embudo de la dolina una pérdida de volumen y consiguiente inestabilidad de los bloques calizos, los cuales se desplazan poco a poco hacia abajo impedidos por la gravedad, determinando un progresivo hundimiento del fondo de la dolina que poco a poco va aumentando su profundidad, pudiendo en ocasiones, cuando la disolución y consiguiente desplazamiento de bloques es muy rápido, transformarse en un pozo de muchos metros de profundidad, denominado *sima*.

En este momento la capacidad absorbente de la dolina es enorme, puesto que representa una zona de absorción importante, donde el agua puede penetrar en masa sin traba de ninguna especie, comenzando entonces fenómenos de erosión en gran escala. Pero un resultado idéntico puede alcanzarse sin pasar forzosamente por la fase dolina, puesto que la intersección de dos diaclasas de labios abiertos situada en la vaguada de un río, puede absorber agua en cantidad suficiente para producirse desde el principio erosión bastante para formarse rápidamente una sima absorbente que por sus características morfológicas no diferirán mucho de la engendrada a partir de la dolina; sólo la evolución es en el primer caso mucho más compleja. Estas simas absorbentes se denominan *sumideros* (D. S.).

Tipos de erosión (fig. 12).—Una vez el agua cárstica penetra en la masa caliza, continúa circulando por su interior, utilizando diaclasas y planos de estratificación, condicionadas siempre por la ya indicada ley de la máxima pendiente y la mínima resistencia. Esta circulación cárstica puede realizarse de dos maneras distintas: 1) A presión hidrostática (P. H.) cuando el agua llena totalmente las fisuras por donde circula, en cuyo caso a la fuerza normal de la gravedad se suma la que resulta de la presión de la columna de agua, intensificándose por consiguiente los fenómenos de erosión que alcanzarán el máximun. 2) Libremente (L), es decir que el agua no llena totalmente las fisuras por donde circula, en cuyo caso la circulación es en todo idéntica a la de los ríos epigeos y la erosión, condicionada exclusivamente a lo largo de la vaguada, como la erosión fluvial ordinaria.

Los efectos de la erosión en uno y otro caso, son distintos, puesto que cuando interviene la presión hidrostática, la erosión se realiza simultáneamente en todas las paredes de la fisura, produciéndose además fuertes torbellinos que tienden a redondear las paredes de la fisura a lo largo de la cual se establece una serie de zonas alternativamente anchas y estrechas a manera de marmitas superpuestas y la sección longitudinal del conducto tiene forma de rosario o de embudo, en el cual las regiones más anchas representan los puntos de

máxima erosión o de mínima resistencia. En el segundo caso, en cambio, existirá siempre una vaguada subterránea, es decir un plano inclinado más o menos irregular, por la que desciende el agua; la sección transversal de los conductos sometidos a este tipo de erosión será idéntica a la de los valles fluviales, es decir tendrá forma de V, mientras que en el primer caso las secciones transversales de los conductos son siempre esferoidales u ovoideas.

Pero a menudo nos encontramos con formas mixtas (F. M.) que nos indican que aquellas cavidades han sido sometidas primeramente a un proceso de erosión hidrostática, pasando luego a una fase nival normal; en estos casos encontraremos siempre la vaguada fluvial en V por debajo de la sección esferoidal generada a presión hidrostática.

El hidrólogo alemán Lehmann, estudiando el conjunto de la hidrografía subterránea cárstica, expuso la teoría (fig. 13) de que en los aparatos cársticos actuales existían dos zonas distintas de circulación LEM: una circulación superficial de tipo fluvial y una circulación profunda a presión hidrostática pero la experiencia proporcionada por el estudio de las cavernas nos enseña que la hipótesis de Lehmann solamente se realiza en algunos casos concretos y no tiene por consiguiente valor general, puesto que únicamente puede realizarse en el caso de que exista una acumulación máxima de aguas cársticas en las zonas profundas de las masas calizas y defecto de aguas en las zonas superficiales. Parece que lógicamente ha de ser así en general, puesto que el agua, impelida por la gravedad, tiende a acumularse en la profundidad, pero en el caso del carst, hay que tener en cuenta las características topográficas de las fisuras colectoras, puesto que si éstas son estrechas en la parte superior de la masa caliza y por el contrario amplias en las zonas profundas, puede darse el caso de producirse un fenómeno inverso al imaginado por Lehmann, es decir puede producirse una circulación a presión hidrostática en la zona superficial y una circulación filuvial en la zona profunda. Por otra parte la observación de multitud de cavernas permite determinar la existencia de multitud de pequeños conductos acuíferos con evidentes señales de presión hidrostática afluyendo a cavidades muy amplias con huellas de circulación fluvial, lo que corrobora lo que acabamos de indicar.

Esta teoría de Lehmann se sustenta sobre las antiguas ideas de Cvijic, nombre inolvidable en el estudio de la hidrología cárstica a quien se deben los principios fundamentales sobre los que se asienta la morfología e hidrología cárstica modernas Cvijic consideraba tres zonas diferentes en una masa caliza sometida a la erosión cárstica: una zona seca superior de circulación muy transitoria; una zona se-

mihúmeda intermedia de circulación intermitente y una zona húmeda inferior de circulación permanente. Estas tres zonas de Cvjic constituyen una realidad hidrológica, teniendo en cuenta naturalmente, las posibilidades de elevación de la zona húmeda inferior, la cual puede en ocasiones alcanzar la superficie en detrimento de las zonas seca y semihúmeda que en su consecuencia desaparecen. Igualmente puede ocurrir que por circunstancias climáticas o evolutivas la zona seca progrese rápidamente hacia la profundidad, alcanzando a toda la masa caliza, pero en uno u otro caso subsiste la realidad de la concepción de Cvjic.

Estructura y karst.—Como se ve por todo lo que venimos diciendo, no puede existir erosión cárstica sin una estructura por sencilla que ésta sea, pues si no la hubiera, la masa caliza sería impermeable y el agua no podría penetrar en su interior. Pero como la estructura de una masa caliza puede ser muy diversa y la adaptación del karst a esta estructura es indispensable, el aparato cárstico, adaptándose a ella, producirá formas extremadamente variadas y complejas.

Si consideramos el caso más sencillo (fig. 14), del que hemos llamado karst de mesa, es decir, considerando un paquete de estratos calizos horizontales cruzados por sistemas de diaclasas verticales o subverticales, como ocurre en ciertas porciones de las Causses del Macizo Central Francés o en muchas regiones tabulares españolas, veremos cómo el agua penetra en una tal región única y exclusivamente a lo largo de las diaclasas, puesto que los planos de estratificación, gracias a su horizontalidad, no pueden ser utilizados por la gravedad y sólo puede circular el agua por ellos a presión hidrostática. De aquí un dominio de la vertical en las formas de erosión generadas por el agua cárstica, de tal modo que las cavernas tienen en este karst alturas considerables y anchura muy reducida, como en el caso clásico de la cueva de Bramabiau, que puede tomarse como ejemplo a este respecto. La red subterránea se orienta exclusivamente a lo largo de las diaclasas y de aquí los trazados ortogonales de las cavernas excavadas en esta región. El conjunto obedece, pues, a una gran sencillez de líneas, puesto que todas las direcciones se cortan según ángulos sensiblemente rectos.

Si al lado del karst de mesa consideramos el que hemos denominado karst de montaña, es decir desarrollado en una región montañosa, de plegamiento o de plegamiento y fractura, veremos cómo la circulación cárstica se complica extraordinariamente, puesto que aquí, a consecuencia de los buzamientos de los estratos, el agua circula activamente por ellos y las diaclasas son casi siempre inclinadas, por cuyo motivo las formas de erosión se desarrollarán según la

componente impuesta por los planos de mínima resistencia dados por la intersección de las diaclasas y de los planos de estratificación. El conjunto del aparato cárstico resultará de topografía extremadamente compleja, pero siempre con predominio de las formas con tendencia a la horizontal.

El nivel de base en el karst.—En ambos tipos de karst el agua tiende como siempre a penetrar en la profundidad. Pero esta penetración tiene evidentemente un límite, puesto que las aguas subterráneas están regidas por leyes idénticas que las superficiales; de aquí que sea indispensable la aplicación al agua cárstica del principio hidrológico fundamental de nivel de base, entendiéndose por tal la zona límite de la erosión, es decir la región de un curso de agua que a consecuencia de ser horizontal o constituir una cuenca, el agua no erosiona en el primer caso y se estabiliza en el segundo. El nivel de base general de todas las aguas del mundo es el mar, puesto que al llegar a él los ríos cesan su actividad erosiva; pero además en todos los cursos de agua superficiales se encuentran una serie de zonas distribuidas a lo largo de su recorrido, en las cuales la pendiente es tan pequeña que los fenómenos de erosión disminuyen considerablemente, aumentando en cambio enormemente la sedimentación. Estas zonas pueden considerarse como verdaderos niveles de bases parciales que condicionan la erosión en la porción de río situada por encima de ellos. A estos niveles de bases parciales es posible comparar el nivel de base cárstico, puesto que igual que en las aguas superficiales el nivel de base general de todas las aguas cársticas es también el mar.

Generalmente las aguas cársticas están detenidas en su progresión hacia la profundidad, por una capa margosa a arcillosa, impermeable, en cuyo caso dichas aguas aparecen en la superficie; cuando aquella capa impermeable resiste, las aguas cársticas están condicionadas por el nivel de base total epigeo; de aquí la abundancia de fuentes cársticas a todo lo largo de las hoces calizas atravesadas por ríos epigeos, puesto que dichos ríos constituyen el nivel de base total del karst. No obstante, estas consideraciones sólo pueden tomarse como carácter general, puesto que, en ocasiones, existe circulación cárstica por debajo de los ríos epigeos y aun estos mismos pueden sufrir pérdidas por infiltración por las diaclasas de la vaguada y aun desaparecer completamente como es clásico en cierto tipo de karst; en estos casos existe siempre alguna circunstancia de orden geológico que permite a las aguas "burlar" el nivel de base local más inmediato para discurrir hacia otro nivel de base local más bajo. No ocurre lo propio (fig. 15), en cambio, cuando el afloramiento de las aguas cársticas está condicionado por una capa impermeable, en cuyo caso si

los valles epigeos (líneas gruesas) han cortado dicha capa impermeable, el nivel de base cárstico quedará por encima de la vaguada epigea y todo el aparato cárstico quedará "suspendido" por encima del valle superficial; en este caso el nivel de base cárstico no coincide con el nivel de base local epigeo. Si por el contrario, a pesar de la existencia de una capa impermeable que condicione la evolución cárstica esta capa no ha sido cortada por el valle epigeo, el nivel de base cárstico se encontrará por debajo de la vaguada epigea (líneas finas), pero cuando el nivel piezométrico teórico de este karst sea muy elevado y alcance el fondo del valle epigeo, éste constituirá un nivel de base accidental de las aguas cársticas situada al nivel superior (puntos).

Alimentación del aparato cárstico.—Las aguas cársticas, como las freáticas, tienen su origen en la precipitación atmosférica, pero la reunión de estas precipitaciones para constituir importantes cursos de agua subterráneos (fig. 16), puede realizarse de dos maneras distintas: 1. Que la reunión se haga en el exterior, constituyendo ríos epigeos que son absorbidos en masa por los sumideros y que circulan subterráneamente hasta dar con el nivel de base. 2. Que la absorción se realice gota a gota por el conjunto de dolinas, uvalas y poljés de quo consta la zona de absorción del aparato cárstico, en cuyo caso estas aguas lentamente filtradas se van reuniendo poco a poco a lo largo de diaclasas colectoras, formando cada vez caudales mayores, hasta llegar a constituirse verdaderos ríos de importancia análoga a los absorbidos en masa. En el primer caso las aguas cársticas son alóctonas, puesto que proceden de zonas extracársticas; en el segundo caso, son aguas autóctonas, puesto que se han reunido in situ en el propio aparato cárstico. En uno u otro caso, una vez constituido el río subterráneo, desarrolla una fuerza viva suficiente para excavar conductos y cavidades importantes.

Establecimiento de las cavernas.—La alimentación de una aparato cárstico no es constante, como no lo es la de los ríos epigeos, sino que sufre fuertes variaciones, pequeñas unas, como las variaciones estacionales, seculares otras, que pueden traer como consecuencia la desecación definitiva o transitoria del aparato cárstico.

Las variaciones estacionales tienen poca influencia, en general, en el desarrollo del aparato cárstico puesto que, en los países de precipitación media, rara vez se deseca durante dos estiajes; en las regiones mediterráneas únicamente puede ocurrir que en veranos muy secos el aparato cárstico llegue a permanecer inactivo, pero aun así no puede hablarse en modo alguno de paralización o muerte; en todo

caso hablaremos de un régimen subterráneo de tipo torrencial, en todo análogo al de los ríos epigeos de las mismas regiones.

Pero las variaciones que verdaderamente influyen en el desarrollo del aparato cárstico son las seculares condicionadas por los cambios climáticos. Cuando de una manera definitiva la precipitación anual de un país determinado disminuye considerablemente, la red subterránea colecta evidentemente mucha menor cantidad de agua y si la precipitación disminuye progresivamente el aparato cárstico tiende a la desecación transformándose entonces en una red de cavidades laberínticas muertas a las que designamos con el nombre de cavernas o cuevas.

En realidad, pues, el nombre de caverna sólo debería emplearse en el caso del karst muerto, Pero la desecación de la red hidrográfica subterránea obedece en ocasiones a otras causas distintas de las climáticas; puede ser provocada por factores tectónicos. Los movimientos epirogenéticos elevando en masa una región cárstica, deprimen el nivel de base de toda la red hidrográfica superficial y subterránea y por consiguiente las aguas cársticas progresan rápidamente en profundidad (fig. 17) puesto que esta depresión del nivel de base va seguida ineludiblemente por la depresión del nivel piezométrico teórico del karst y por consiguiente las cavidades superiores son abandonadas excavándose en profundidad otras nuevas activas.

En uno y otro caso, el abandono de los primitivos conductos por los que se inició el aparato cárstico, nos conduce a la génesis de la caverna, con lo cual hemos alcanzado el segundo de los objetivos perseguidos en esta conferencia. En primer lugar hemos visto la estructura y características de la masa caliza que contiene a la caverna. En segundo lugar hemos seguido paso a paso el establecimiento de ésta dentro de la masa caliza. Finalmente, en la última parte de estas charlas asistiremos a la evolución de este elemento fundamental del karst.

Ataun, 16 de junio de 1952



Fig. 10.— Corte-esquema de dos tipos de roca permeable: ARENA—permeabilidad por imbibición—y CALIZA—permeabilidad por infiltración. Nivel piezométrico (N, N') y manto freático en el primer tipo: nivel piezométrico teórico (N, N') en el segundo.

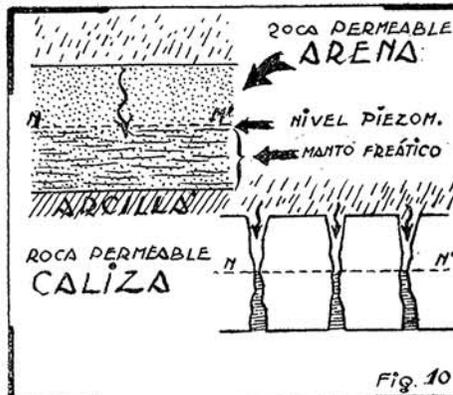


Fig. 10

Fig. 11— D D' y D'' sistema de diaclasas en corte ortogonal. Los fenómenos de disolución actúan con una mayor intensidad en el punto de intersección P, formando una depresión circular embudiforme, con depósito de «terra rosa» (arcillas) en su fondo, denominada DOLINA (Dol.) Por conjugación con otras próximas la primitiva dolina aumenta en superficie y forma la UVALA (Uv.). Una mayor extensión del fenómeno da origen a la formación del POLJE (Pol.).

Desarrollo de la dolina en profundidad, Dol. 1, Dol. 2, Dol. 3 y formación de la SIMA (Sim.) Dol. 4 CIMA-SUMINERO, partiendo de una dolina. D. S., SIMA-SUMIDERO en la vaguada de un río formada sobre una diaclasa de labios muy abiertos.

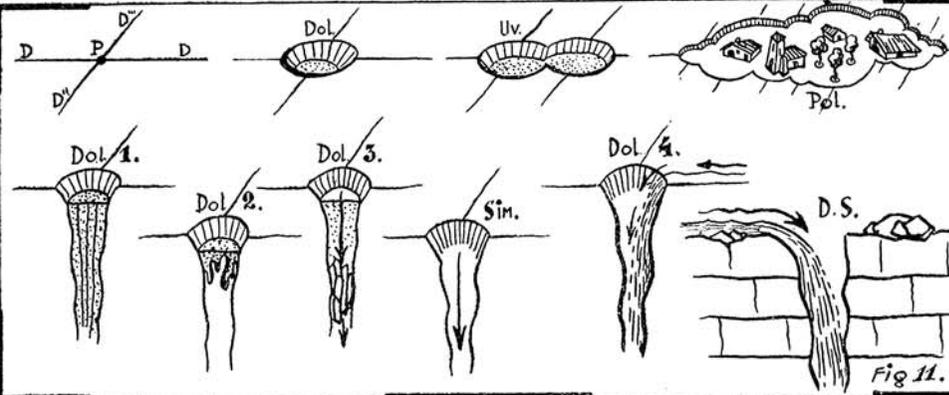


Fig. 11.

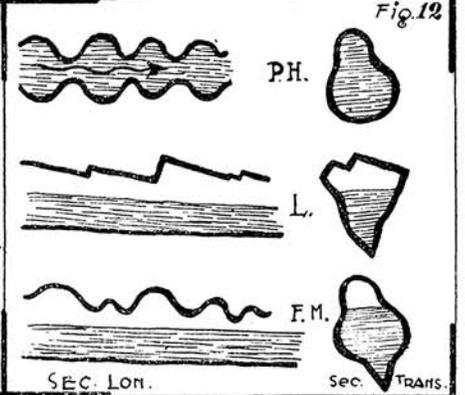


Fig. 12

Fig. 12.— Tipos de erosión en el aparato cárstico en sus secciones longitudinales (Sec. lon.) y transversales (Sec. Trans.). En P. H. el agua circula a presión hidrostática; en L., la circulación se verifica libremente, como en los ríos epigeos, viniendo la erosión condicionada por la gravedad. F. M., ejemplo de forma mixta de erosión.

Fig. 13.— Tipos de circulación en el aparato cárstico. 1). Según Lehman hay una zona inferior de la caverna donde el agua circula a presión hidrostática. 2). La experiencia presenta casos en los que la teoría de Lehman puede darse en forma inversa siendo la circulación de las aguas a presión hidrostática en la parte superior de la masa caliza debido a lo angosto de las fisuras colectoras y libre en las zonas profundas debido a la amplitud de las fisuras de circulación. 3). Esquema mostrando la circulación de las aguas cársticas según Cvijic.

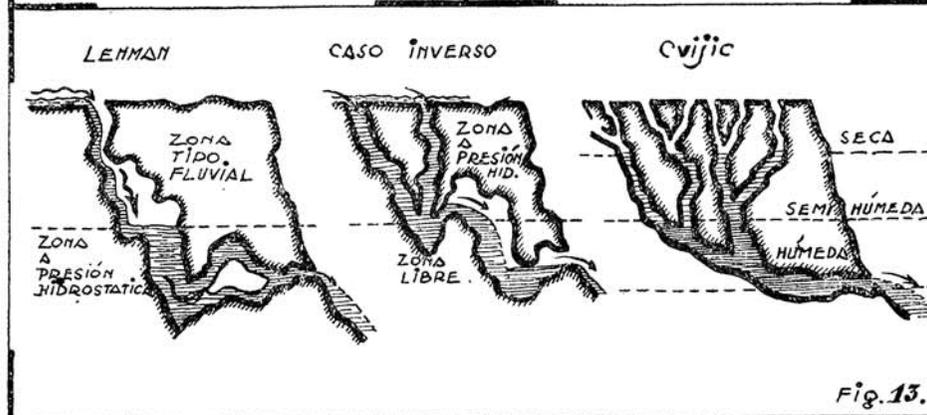


Fig. 13.

Fig. 14.— Estructura de la masa caliza en el karst de mesa y karst de montaña. En el primer caso el agua penetra por las diaclasas desarrollándose la erosión del paquete calizo en un sentido vertical. En el segundo caso la erosión cárstica desarrolla intensamente utilizando los planos de estratificación y diaclasas según la componente impuesta en su intersección; el aparato cárstico resulta notablemente complicado en su topografía pero sus formas tenderán a la horizontal.

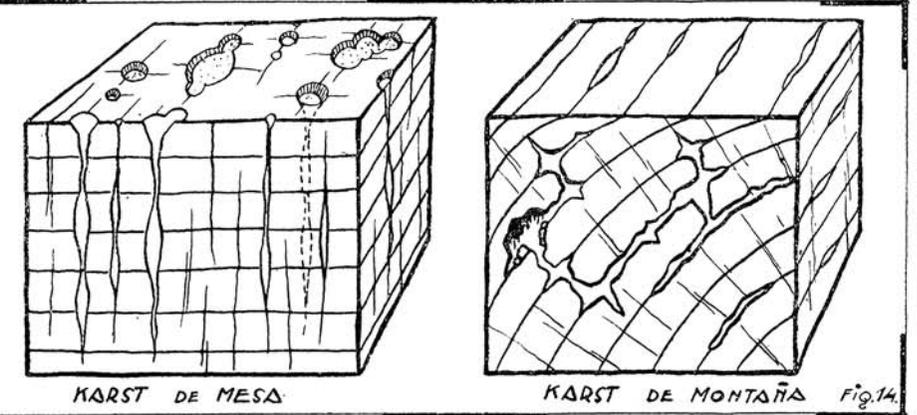


Fig. 14.

Fig. 15.— Corte esquemático transversal de un valle en zona caliza mostrando distintas fases de su desarrollo en profundidad y las variaciones del nivel de base cárstico. 1). La erosión del río epigeo corta la capa impermeable: el nivel de base cárstico queda por encima de la vaguada y no coincide con el nivel de base local epigeo. 2). Cuando la capa no ha sido cortada, el nivel de base cárstico se encontrará por debajo de la segunda vaguada epigea. 3). Si el nivel piezométrico del karst considerado en el número 2), es muy elevado y alcanza el fondo del valle epigeo, éste será el nivel de base de las aguas cársticas.

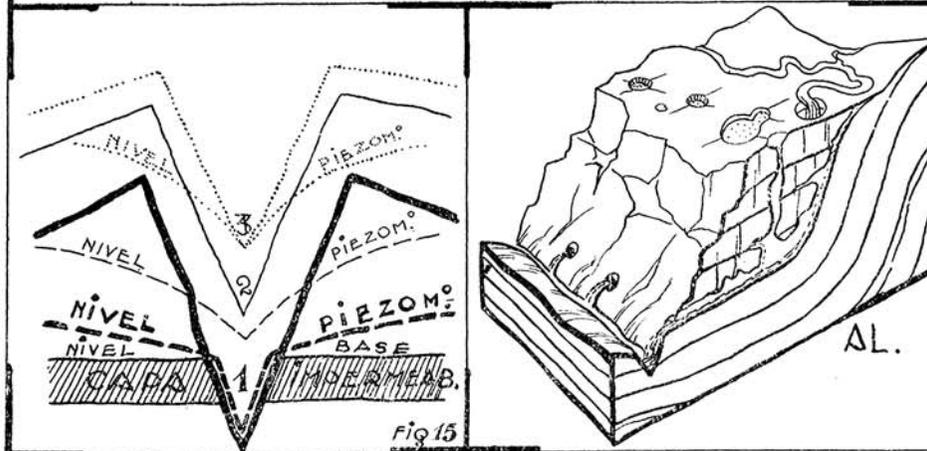


Fig. 15

Fig. 16.— Estructura del aparato cárstico de génesis aloctona (Al.) y autóctona (Au.). En el primer caso los ríos epigeos al llegar a la zona caliza, son absorbidos por ella desapareciendo por simas y sumideros para circular hasta encontrar su nivel de base donde originan resurgencias. En el segundo caso, las aguas, producto de las precipitaciones atmosféricas, son absorbidas por la masa caliza a través del sistema de diaclasas, dolinas uvalas, etc., progresando lentamente, engrosando su caudal y aumentando su acción hasta formar verdaderos ríos. En ambos casos la acción del agua excava cavidades y conductos importantes.

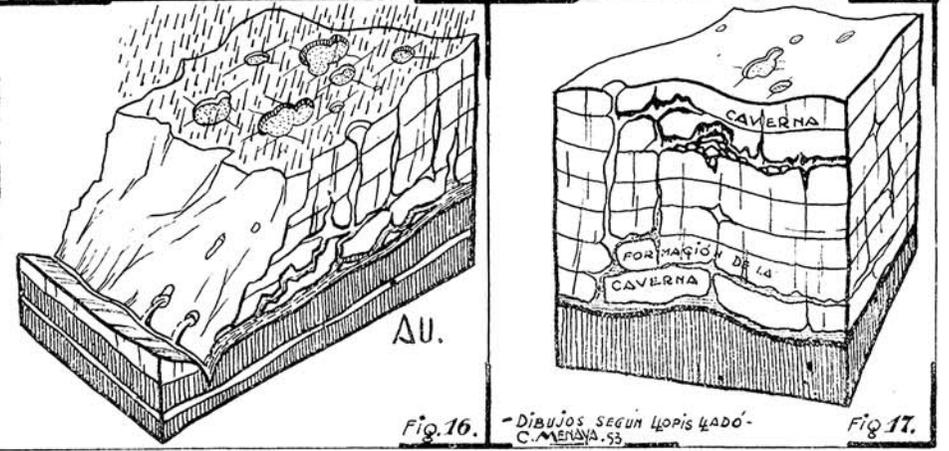


Fig. 16.

Fig. 17.— Estructura de la masa caliza mostrando las cavidades excavadas por la acción del agua. El corte muestra cavidades antiguas por las que circularon las aguas; al dejar de hacerlo, la zona queda muerta y la caverna establecida. Pero las aguas han progresado en profundidad y circulan por una zona inferior en el paquete calizo formando nuevos conductos y galerías total o parcialmente ocupadas por la masa líquida, constituyendo la parte viva de la caverna, es decir, una caverna en formación.

- DIBUJOS SEGUN LEOPIS 4400 - C. MENAÑA '53

Fig. 17.