

La influencia del *Flashing* y la Cavitación en la formación de “scallops” en cuevas kársticas. El caso de la Cueva de los Chorros (Albacete, España): Teoría del sifón inverso en el fenómeno del “Reventón”

The influence of the Cavitation and Flashing phenomena in the formation of “scallops” within karstic caves. The Chorros Cave case (Albacete, Spain): The theory of the inverse siphon in the “Reventón” phenomenon

Pavía Alemany, F.^a, Rodríguez-Estrella, T.^b

^aUniversidad Pontificia Comillas ICAI-ICADE. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Calle de Alberto Aguilera, 25, 28015 Madrid. Email: paco.pavia.alemany@gmail.com

^fUniversidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 52, 30203 Cartagena, Murcia. Email: tomasrestrella@hotmail.com

Recibido: 18/09/2017

Aceptado: 05/02/2018

Publicado: 30/04/2018

Citar como: Pavía, F., Rodríguez-Estrella, T. 2018. The influence of the Cavitation and Flashing phenomena in the formation of “scallops” within karstic caves. The Chorros Cave case (Albacete, Spain): The theory of the inverse siphon in the “Reventón” phenomenon. *Ingeniería del agua*, 22(2), 79-91. <https://doi.org/10.4995/la.2018.8600>

RESUMEN

En este trabajo, se estudia la influencia de las presiones negativas del *Flashing* y la Cavitación en la formación de “scallops” en cuevas kársticas. En este sentido, se analiza el caso particular de la Cueva de los Chorros (Albacete, España) y se propone la teoría del sifón inverso para explicar el fenómeno del “Reventón”.

Palabras clave | *Flashing*; cavitación; presiones negativas; “scallops”; Cueva de los Chorros; “Reventón”.

ABSTRACT

The influence of the negative pressures of Cavitation and Flashing phenomena in the formation of “scallops”, within karstic caves, is hereby studied. In this sense, the particular case of the Chorros Cave (Albacete, Spain) is analyzed, and the theory of the inverse siphon is proposed in order to explain the “Reventón” phenomenon.

Key words | *Flashing*; cavitation; negative pressures; “scallops”; the Chorros Cave; “Reventón”.

INTRODUCCIÓN

La Cueva de los Chorros constituye la salida natural principal del acuífero kárstico del Calar del Mundo (Albacete) que, como tal, presenta unos caudales muy irregulares, que están comprendidos entre 100 000 L/s. y 15 L/s (Figuras 1 y 2) Estos máximos volúmenes salen a los pocos días de haber caído unas lluvias copiosas y lo hacen de forma brusca, parecido a una explosión; de ahí que a este fenómeno se le denomine el “Reventón”. Un hecho curioso es que el agua que sale por la boca de la cueva es superior a la caída por la lluvia, en superficie, unos días antes; tema que se trata en este artículo. La cueva, una de las que mayor longitud presentan sus galerías, de las conocidas en España, tiene circulación libre y circulación forzada en ciertos momentos; ligadas a este último tipo aparecen unas estructuras en las paredes, tipo rizaduras, denominadas “scallops”, relacionados con fenómenos de *Flashing* y Cavitación, motivo de esta publicación.

El objetivo principal del presente trabajo es el de explicar el fenómeno del “Reventón”, cuya génesis no es todavía bien conocida (de ahí la importancia de este trabajo), y para ello se recurre a la teoría del sifón inverso; para explicar las formas erosivas de los “scallops”, se relaciona con los fenómenos de *Flashing* y Cavitación.

Estos fenómenos, en la Cueva de los Chorros, fueron solo citados como hipótesis, por primera vez, por parte de Pavía (1999); en la presente ocasión se profundiza en estos temas y se aplican leyes físicas que confirman la posible certeza de dicha hipótesis.

A continuación se presentan dos fotos de la Cueva de los Chorros, en diferentes fechas, de T. Rodríguez-Estrella.

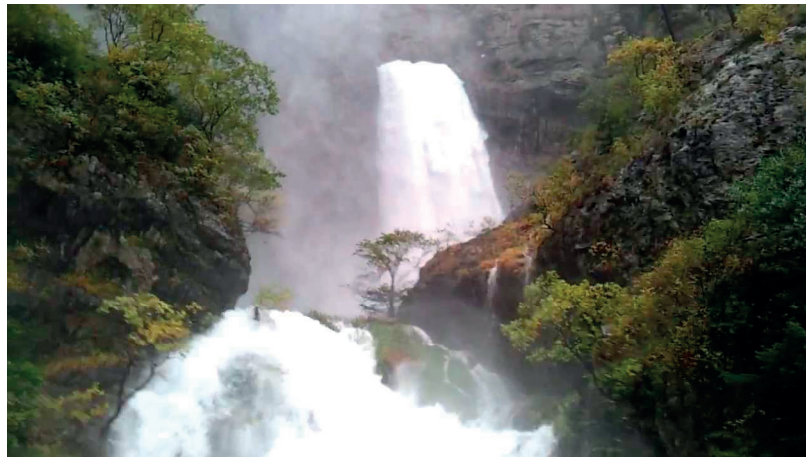


Figura 1 | Manantial Cueva de los Chorros (Enero 1997), durante un “Reventón”.

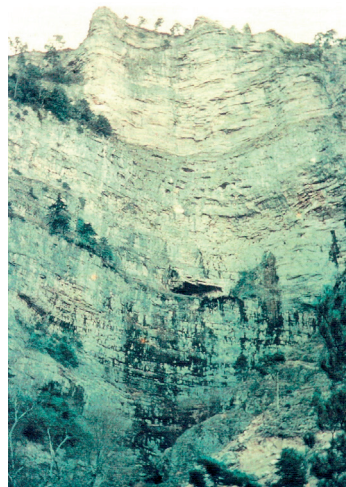


Figura 2 | Manantial Cueva de los Chorros. (Octubre 1980), en época de sequía.

“SCALLOPS”

Definición

En diversas galerías de la Cueva de los Chorros, y en otras, se encuentra un tipo especial de huellas de erosión denominadas golpes de gubia, “scallops” o huellas de corriente. Se trata de crestas con asimetría en la dirección del flujo, que determinan el sentido de la corriente que las causó; además, su tamaño está relacionado con la velocidad del agua (Curl, 1966; Blumberg, 1974; Curl, 1974; Gabriel i Rodrigo, 1983 y 1984; Eraso, 1998; Pavía, 1999).

Antecedentes

Los primeros trabajos de investigación en laboratorio, respecto a este tipo de huellas, fueron realizados por Rudnicki (1960) y Blumberg y Curl (1974), con placa de escayola; con estos experimentos se consiguieron huellas de corriente, cuyo tamaño era inversamente proporcional a la velocidad del agua en el canal. Con posterioridad Gabriel i Rodrigo (1986) continuó los experimentos, pero con placas de escayola de mayores dimensiones. En el siglo XXI se han continuado y diversificado los estudios de los “scallops”, tales como Woodward y Sasowsky (2009), Murphy (2012), Faulk, (2013) y Checkley y Faulkner (2014). Todas ellas se caracterizan por ignorar la posibilidad de que se produzcan en los “tubos kársticos” presiones negativas y la probabilidad de que exista *Flashing*/Cavitación, fenómeno muy viable en este tipo de conductos si se considera la Ecuación de Bernoulli.

En la Cueva de los Chorros son muchas las zonas donde se perciben este tipo de huellas: Plá Salvador (1981); Memoria de la Expedición Espeleuka (1994) y Rodríguez-Estrella *et al.* (2002). Ferrer Rico y Extopocien (2015) nos muestran unas magníficas fotografías de estas estructuras.



Figura 3 | “scallops” en la Cueva de Los Chorros pasado el sifón de la Pértiga. Ferrer Rico y Extopocien (2015).

METODOLOGÍA

Se analizan varios supuestos hidrodinámicos, aplicando leyes físicas, como la Ecuación de Bernoulli o el Primer Principio de la Termodinámica, considerando variables como la sección, pendiente, presiones negativas, etc

La hipótesis que se propone (*Flashing-Cavitación*)

Estudiando el fenómeno del “Reventón” de los Chorros del Río Mundo, Pavía (1999), se percató de que en algunas galerías, cuando estas funcionan como “tubos”, es decir cuando el agua llena el conducto, en determinados tramos, la presión puede ser negativa, incluso puede ser inferior a la del vapor de agua, lo cual implica la formación de diminutas burbujas de vapor, o “Flashing”, que son arrastradas por la corriente aguas abajo hasta donde la presión aumenta por encima de la “presión de vapor”, causando la implosión de las burbujas, o “Cavitación”, fenómeno muy agresivo que erosiona las superficies en contacto. Se debe tener presente que todos los experimentos realizados mencionados se llevaron a cabo, con velocidad del agua muy baja y a presión atmosférica, cosa que no ocurre durante los “reventones” del Calar del Mundo. La gran característica diferenciadora entre un líquido que circula en un “tubo” y el que lo hace por un “canal”, es que en el primero puede estar sometido a presiones negativas en determinados tramos, según Bernoulli, con la posibilidad de producirse el fenómeno de *Flashing/Cavitación*; mientras que en el canal no. A continuación, proponemos, evitando en lo posible las ecuaciones matemáticas, poner unos ejemplos y unos gráficos, mostrando los principales conceptos en los que nos basamos para establecer esta hipótesis.

A) Tubería con baja velocidad del agua

Supongamos una tubería de sección uniforme por la que circula agua, que funciona por gravedad entre el depósito “A”, en una cota alta, y el depósito “B”, en una cota baja. (Figura 4). Supondremos que la tubería es relativamente larga, estrecha y con poca pendiente, por lo que el agua circula a baja velocidad, es decir tiene poca energía cinética; esto significa que prácticamente toda la energía potencial que tenía el agua debida a la diferencia de niveles entre el depósito A y B se ha consumido en pérdidas, por la fricción. Una línea recta entre los niveles de los depósitos nos proporcionará la línea de pérdidas o línea piezométrica (Figura 4). Los puntos de la tubería sobre el nivel piezométrico tendrán presiones negativas, pudiéndose alcanzar el punto de *Flashing/cavitación*.

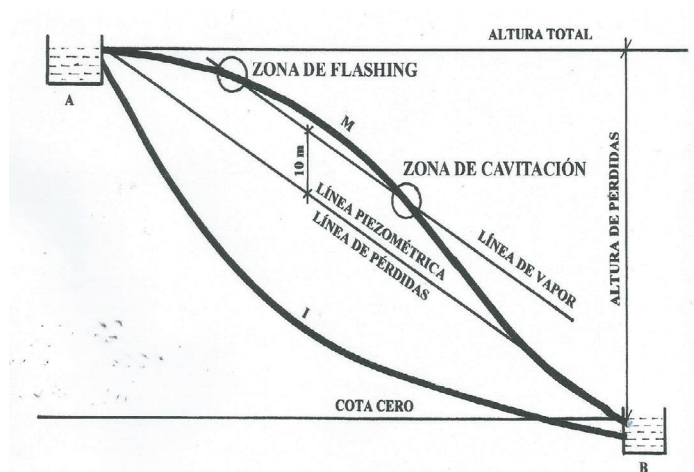


Figura 4 | Tubería con baja velocidad del agua. M: Trazado no aconsejable en instalaciones. I: Trazado aconsejable

B) Tubería con alta velocidad del agua

Cuando se trata de una conducción relativamente corta, con gran diámetro y elevada pendiente, la energía potencial disponible no se disipa totalmente en pérdidas de fricción, sino que la fracción de la energía no utilizada en fricción se convierte en

velocidad del agua, con una equivalencia entre altura y velocidad. En la Figura 5, vemos cómo parte de la altura se ha consumido en pérdidas, y parte en velocidad. Esto permite trazar la línea de pérdidas. En estas circunstancias la línea piezométrica ocupa una posición inferior al caso de la tubería con baja velocidad, por lo que el trazado de la tubería necesita respetar cotas todavía más bajas que en dicho caso, dado que hay más posibilidades de alcanzar presiones negativas. De forma similar al caso anterior, cualquier tramo de la tubería que se encuentre por encima de la línea piezométrica estará sometido a presiones negativas, si la diferencia se aproxima o supera los 10 m, (Línea de vapor) y habrá *Flashing/Cavitación*.

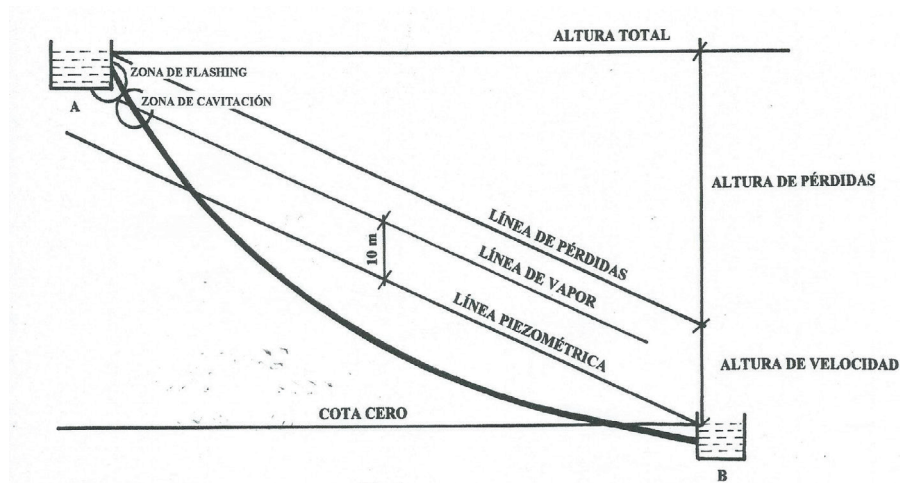


Figura 5 | Tubería con alta velocidad del agua.

Los tubos kársticos

Los tubos kársticos, en estudio, son aquellos en los que el agua circula llenándolos y a gran velocidad, como en la cueva de los Chorros durante el “Reventón”. Estos tubos no son homogéneos, sino que dependen de características geológicas (planos de estratificación y fracturas) e hidrogeológicas. A la presión negativa, debida a la posición topográfica, hay que restarle la altura de presión correspondiente a la velocidad del agua y a las pérdidas. Además los tubos kársticos, con relación a la cavitación, tienen un problema añadido, y es que no mantienen una sección transversal constante. La variación de velocidad del agua es inversa a la variación de la superficie de las secciones, pero la variación de la “altura de velocidad” es una función cuadrática de la variación de velocidad; es decir si una sección se reduce a un tercio, la velocidad será tres veces mayor y la “altura de velocidad” será nueve veces, por lo que la línea piezométrica en estos tramos descenderá mucho, lo que propicia que probablemente se produzca el fenómeno de *Flashing/Cavitación*.

Comparación entre hipótesis y estudios complementarios

La aceptación de la cavitación como responsable de los “scallops”, no debe implicar la eliminación de los trabajos de Curl, Gabriel y otros, ya que se pueden complementar perfectamente. Gabriel (1986) manifiesta la semejanza que existe entre las huellas obtenidas en su experimento con las de Curl y con otras que aparecen en superficie. Pensamos que las “herramientas” que tallan o modelan las distintas huellas periódicas pueden ser muy variadas tales como la disolución, la abrasión, la cavitación, la fusión, la sublimación, el transporte y acumulación de granos etc. Cuando en el flujo de un fluido, sea este gas o líquido, existe un pequeño obstáculo, tras él se producen unos pequeños remolinos conocidos como “vórtices” o “vortex”, y a ellos se debe, por ejemplo, que veamos “flamear” las banderas como resultado de los “vórtices” producidos por el asta que la sustenta. Este fenómeno también influye en la formación de los “scallops”.

PRESIONES NEGATIVAS EN LOS CONDUCTOS KÁRSTICOS

Objetivos

Este apartado tiene por objetivo principal aportar información sobre unos fenómenos curiosos para los espeleólogos y estudiosos del mundo subterráneo, que se producen en una serie de “tubos kársticos”, cuyo conocimiento puede contribuir a la comprensión y explicación de ciertas peculiaridades geomorfológicas de las cavernas.

En el capítulo anterior hemos tratado los “scallops” y para ello se ha mencionado que en determinados “tubos kársticos” la circulación de agua puede estar sometida a “presiones negativas” y que en ocasiones, estas presiones alcanzan niveles donde el agua produce diminutas burbujas de vapor (*Flashing*) y cuando, aguas abajo, aumenta la presión, implosionan (Cavitación), y se producen importantes y peculiares erosiones.

Conceptos hidrodinámicos

Aplicando el Primer Principio de la Termodinámica, o “La ley de la conservación de la energía”, se mostrarán, de forma conceptual, las variables que afectan a un determinado volumen de agua al desplazarse por un “tubo kárstico” determinado. Para lo que utilizaremos varios supuestos:

- Primer supuesto: tubo con sección constante

Este supuesto nos permitirá aclarar de forma conceptual las ideas principales respecto a estos fenómenos, así como obtener la Ecuación de Bernoulli.

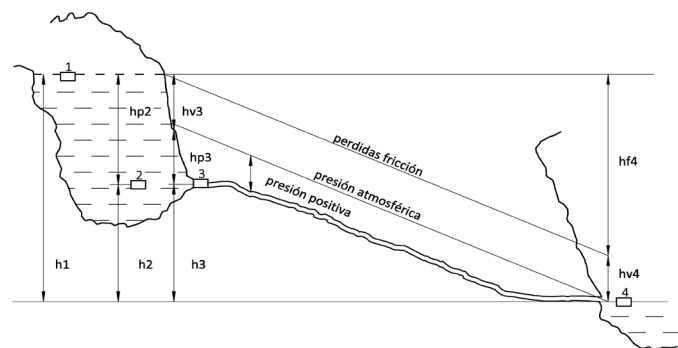


Figura 6 | Primer supuesto: Tubo con sección constante.

Con el alzado mostrado en la Figura 6 hemos puesto de manifiesto cómo la “energía potencial gravitatoria” “ h ”, ha ido convirtiéndose en “energía de presión” “ hp ”, en “energía de velocidad” “ hv ” y en “energía de fricción” “ hf ”.

- Segundo supuesto: tubo con pendiente constante

En la Figura 7, lo primero que advertimos es que todo el “tubo kárstico” se encuentra por encima de la “línea de presión atmosférica” y, por consiguiente, todo él está sometido a “presiones negativas”, siendo estas más acusadas próximo al inicio, disminuyendo este valor y llegando a anularse en el punto de desagüe.

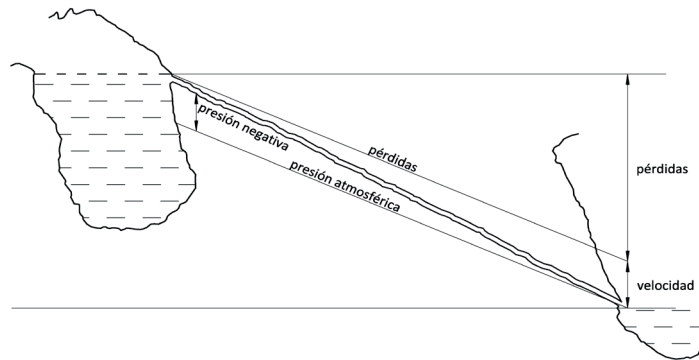


Figura 7 | Segundo supuesto: Tubo con pendiente constante.

- Tercer supuesto: tubo con tramos por encima de la línea de pendiente constante

En la Figura 8 se muestra un “tubo kárstico” cuyo alzado tiene tramos por encima de la “línea de pendiente constante”.

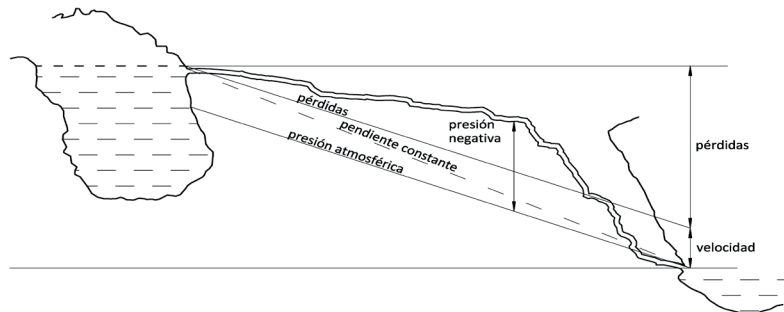


Figura 8 | Tercer supuesto: Tubo con tramos por encima de la línea de pendiente constante.

Estos tramos presentarán presiones negativas más acusadas cuanto más se separe su trazado de la “línea de presión atmosférica”.

- Cuarto supuesto: los sifones inversos

En Espeleología se denomina “sifón inverso” a toda estructura que, después de un ramal ascendente y un punto superior, le sigue un ramal descendente. En la Figura 9 podemos advertir que para que desagüe el sistema por la galería mostrada es necesario que se acumule agua hasta llegar al punto de desborde situado en la zona alta de la galería. Posteriormente, el agua circula por la rama descendente, de aguas abajo, desplazando el aire, llenando la galería, como en un tubo, y succionando aguas arriba. En este caso decimos que el sistema se ha cebado, los caudales pueden crecer muchísimo súbitamente, y los niveles aguas arriba pueden descender por debajo del punto de desborde. Este fenómeno puede ser el responsable del “Reventón” de los Chorros.

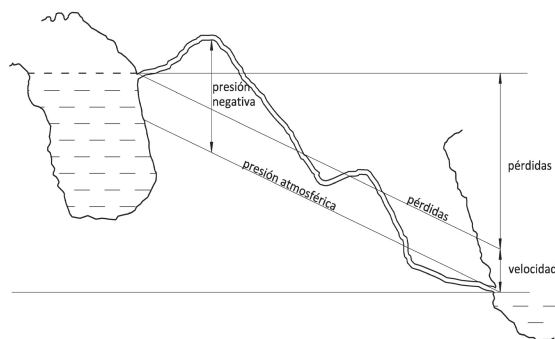


Figura 9 | Cuarto supuesto: Los sifones inversos.

- Quinto supuesto: las secciones transversales

Hasta aquí hemos resaltado la importancia del trazado en perfil de los “tubos kársticos” con relación a las “presiones negativas”. En todos los casos anteriores hemos supuesto unas “secciones transversales” con superficies equivalentes; pero la variación de superficie en las “secciones transversales” pueden tener un efecto todavía muchísimo mayor con relación a las “presiones negativas” que se generan.

Supongamos un tubo (Figura 10) con una sección circular similar en todo su recorrido a excepción de un tramo donde se reduce.

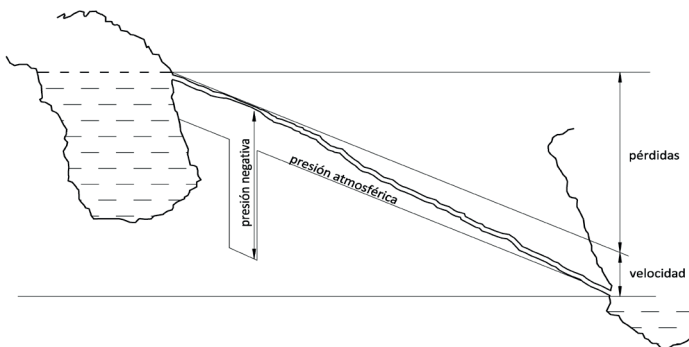


Figura 10 | Quinto supuesto. Las secciones transversales.

La superficie de la sección es una función cuadrática del radio, y la velocidad del agua es la inversa de la superficie de la sección. Por otro lado, las alturas de velocidad “ h_v ” son proporcionales al cuadrado de la velocidad, resultado que la “variación del radio del tubo” tiene una incidencia sobre “ h_v ” proporcional a su variación elevada a la cuarta potencia, lo cual son magnitudes muy elevadas. Puesto que existen variaciones en las superficies de las secciones por donde circula el agua este es un elemento crucial, responsable de las “presiones negativas”.

Disminución de la presión atmosférica con la altura

La disminución de la presión atmosférica facilita a que se alcancen presiones negativas y de *Flashing* en los karst de altura.

TEORÍA DEL SIFÓN INVERSO EN RELACIÓN CON EL FENÓMENO DEL “REVENTÓN”

La génesis del “Reventón” guarda una relación muy directa con la teoría del sifón inverso, con la Geología y con la Hidrogeología (Figura 11).

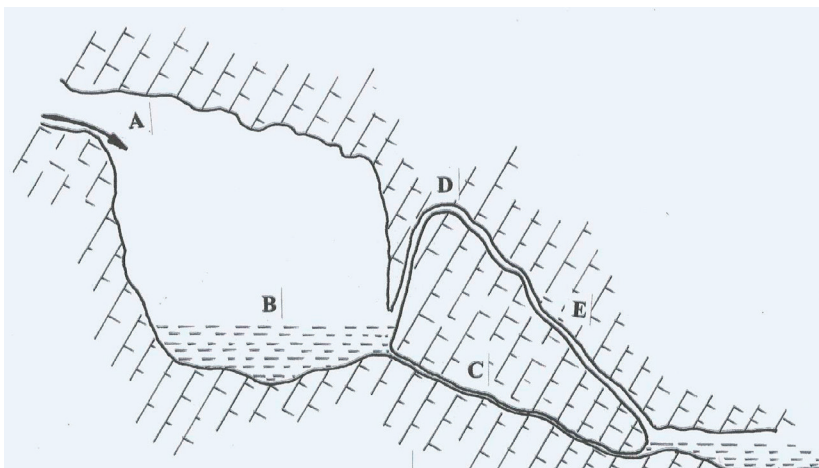


Figura 11 | Sifón inverso.

Pavía (1999) dice: “Imaginemos un sistema hídrico, que presenta básicamente los siguientes elementos:

- Una sala, o conjunto de ellas, con agua, sifones directos y lagos (B).
- Un sistema de aporte.(A).
- Un sistema de drenaje.(C).
- Unas galerías superiores que pueden formar un sifón inverso (D y E).

Normalmente se evacúa por el sistema de drenaje C. Si hay mayores aportes, además se puede evacuar por D, que actúa como vertedero, y E como canal. Supongamos un gran aporte de agua, o una perturbación o efecto ola, de tal forma que el agua toque los techos de las galerías superiores, D y E, que se desplace el aire y el sifón inverso se “cebe”. A partir de este instante la situación cambia drásticamente. La galería empieza a “succionar” el agua almacenada en el lago existente en la base y es capaz de vaciar el gran volumen de agua estancada en la sala en poco tiempo.

El caudal de salida puede ser muchas veces mayor que el aporte. El lago formado irá vaciándose por la galería, incluso estando su nivel por debajo de la cota superior del nivel del sifón inverso. Este proceso seguirá normalmente hasta que el nivel del lago este cerca de 10 m. por debajo de la cota superior del nivel del sifón inverso, en el caso de los Chorros unos 9 m. debido a la disminución de la presión atmosférica por la altura, o que el sifón se “descebe” por sus características topográficas.

La forma, dimensiones, y desniveles entre galería son determinantes en el proceso y según estas y del volumen estancado de agua en la sala, puede adquirir magnitudes muy considerables. Este es el mecanismo que de una forma aproximada suponemos que ocurre en el interior del “Calar del Mundo”.

Condicionantes geológicos

Si observamos la topografía en planta, correspondiente al 2002 y 2015, de la cueva de Los Chorros (Figuras 12 y 13) se percibe que existen unas galerías lineares que se adaptan a fracturas.

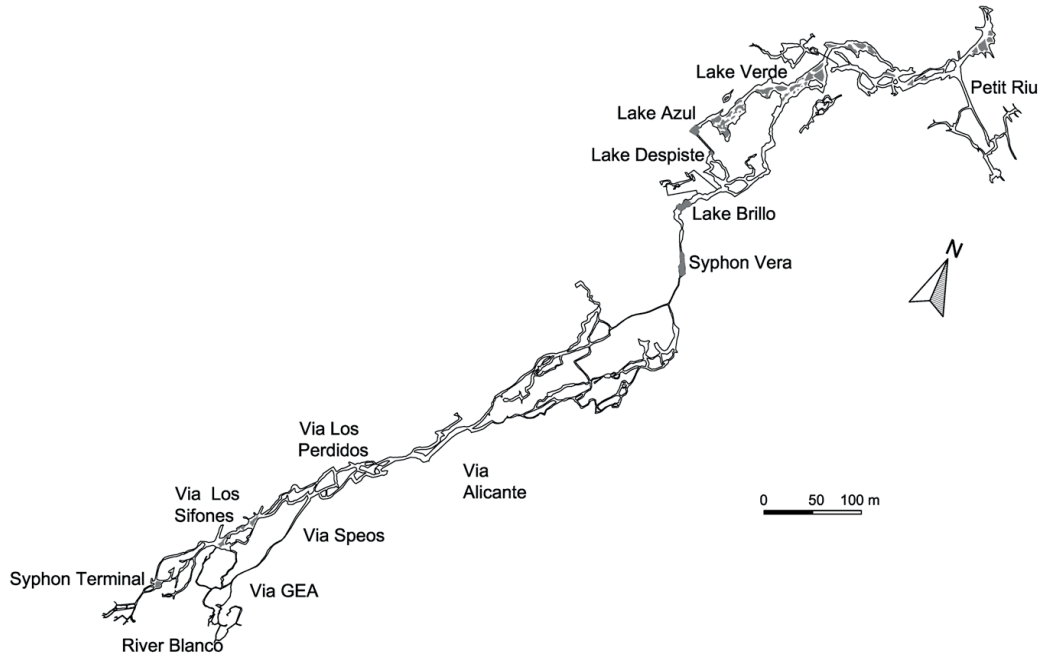


Figura 12 | Mapa en planta de la Cueva de los Chorros. Rodríguez-Estrella *et al.* (2002).

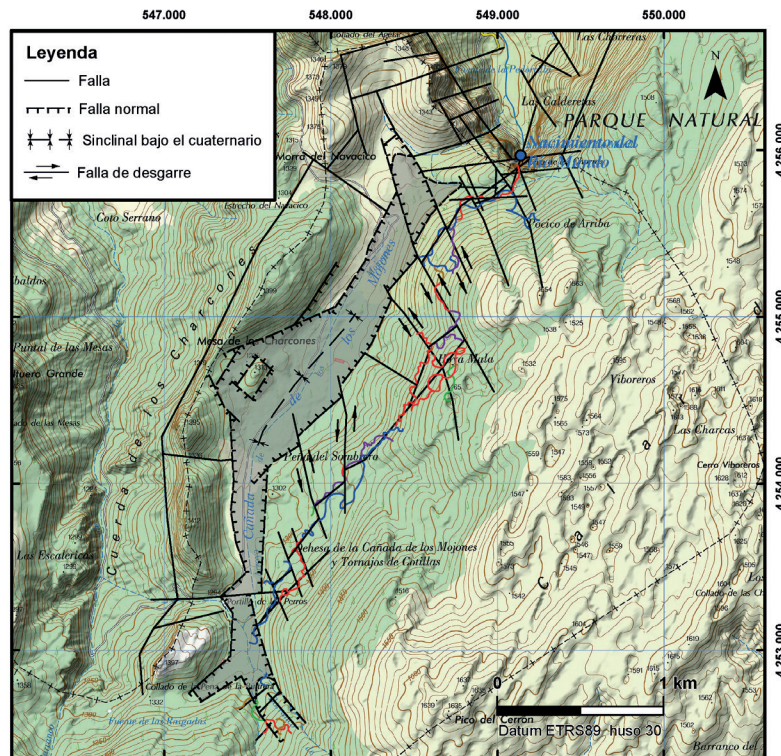


Figura 13 | En el Oeste, Poljé de la Cañada de los Mojones conectado con la Cueva de los Chorros, mediante fallas; el trazado en planta de la cueva (colores azul y rojo) está realizado por Extopocien. (Año 2015). En el Este, alineaciones de dolinas relacionadas con fracturas.

El resultado de la intersección entre planos de estratificación y fracturas crea una disposición (en la vertical) en zigzag, lo que provoca que la red freática desarrolle tubos con una estructura en codos, generalmente descendentes, quedando reflejada también en planta, mostrando una especie de dientes de sierra (de Haro en Espeleuka, 1994; Ford y Williams, 2007). Este tipo de karstificación es conocido como de “múltiples loops”.

Condicionantes hidrogeológicos

En los Chorros la estructura geológica en “loops” está presente en diversas zonas, y en el aspecto hídrico, funcionalmente, es la responsable tanto de la existencia de los sifones directos como de los sifones inversos, (dependiendo de la parte del “loop” considerada, bien sea la sección en forma de “V” o bien en forma de “A”), como de los lagos.

La caída de las fichas de dominó

Según Pavía (1999): “El efecto del sifón inverso provoca un frente de ola y un aumento de caudal importante y repentino que a su vez cebará el siguiente sifón inverso y así sucesivamente aguas abajo (“efecto dominó”) provocando ese frente brusco, en forma de escalón, al que conocemos como “Reventón”.

El orden de descebado de los sifones inversos se producirá igualmente en el sentido del flujo, iniciándose aguas arriba y desplazándose a medida que los reservorios no reciben agua extra y están desaguando grandes caudales por el sifón inverso. De esta forma cuando se produce el descebado del último sifón inverso, que es un fenómeno instantáneo, se produce una variación repentina en el caudal y el consecuente y también brusco fin del fenómeno del “Reventón”.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES SOBRE EL “REVENTÓN”

La singularidad de las características del “Reventón” convierte en dificultoso encontrar una explicación lógica y sencilla para éste. Han sido muchas las hipótesis que han intentado descifrar este comportamiento:

-Según Plá Salvador (1981) es consecuencia de las lluvias y deshielos.

-De Haro (1994) describe una serie de teorías, algunas faltas de rigor científico, de diversos autores, tales como que: es producto de la condensación del agua subterránea por cambios de temperatura, que al tocar los techos escurre, incrementando así el caudal; estaría relacionado con las fases lunares, de forma que la Luna llena ejercería una atracción sobre la masa de agua subterránea, provocando el “Reventón”; influirían los vientos que vienen en determinadas direcciones, que producirían un efecto “Venturi” sobre las grietas del Calar, elevando el nivel freático; por último, al igual que pensaban algunos sabios de la Antigua Grecia, los hay que relacionan estos aumentos desproporcionados del caudal con las mareas, funcionando el complejo kárstico a modo de “bocas de mar”.

-Entre los espeleólogos, la teoría más extendida es la del “efecto Vauclusiano”; es decir, la cueva posee una cuenca de recepción situada a mayor altitud, y cuando supera ciertas presiones en las zonas de acumulación, se produce, a modo de pozo artesiano, un aumento en las zonas de emisión.

-De Haro (1994) dice: “A mi modo de entender, la explicación del “Reventón” se encuentra en la estructura interna del Calar. Considero que el “Reventón” se produce por una elevación del nivel freático paulatino en el eje Argel-Calar del Mundo. Cuando el nivel freático supera el “collado” que comunica con el eje de la Cañada de los Mojones, se producen unas diferencias de presión entre acuíferos superpuestos (Cenomaniense, Turoniense y Senoniense inferior).

En los puntos donde exista conexión, bien por karstificación, bien por cambios laterales o por fracturación, en el Cenomaniense margoso se liberará la presión, desalojando los excedentes del sinclinal de Argel, por grandes fracturas”.

-Eraso Romero (1994) relata una serie de expediciones realizadas entre 1990 y 1992, con el fin de filmar el “Reventón”, pero no se inclina por ninguna teoría concreta.

-Rodríguez-Estrella *et al.* (1999) proponen: “La razón del “Reventón” en la Cueva de los Chorros no es otra que la acumulación progresiva de las aguas pluviales y nivales en unos conductos kársticos con pendiente generalizada y acusada hacia los Chorros (7.25% entre el principio y el final de la cueva de los Chorros, pues existe una distancia en línea recta de unos 2 km y un desnivel de 160 m) que, a manera de río subterráneo-casi superficial, circula a altas velocidades (prácticamente no existen reservas en este acuífero calizo)... No hay que pensar en misterios de ninguna clase: la mayor parte del agua que cae por lluvia y nieve sobre el subacuífero los Chorros-El Espino sale precipitadamente por un solo sitio, la Cueva de los Chorros....”

-Pavía (1999) expone la teoría del “sifón inverso”, ampliamente ya explicada.

Según Rodríguez-Estrella y Ballesta (1999) y Rodríguez-Estrella *et al.* (2002), de todos los resultados encontrados en la investigación resaltan dos por parecer ilógicos y hasta contradictorios:

1ª) Durante el “Reventón” sale mayor volumen de agua que la que recibió el subacuífero de Los Chorros-El Espino, mediante lluvia, una semana o dos antes. Se ha visto que el acuífero, dado su gran desarrollo kárstico, tiene una escasisísima inercialidad y lo lógico sería que el mismo volumen de agua que recibe, lo expulse en poco tiempo, pero no más...

2ª) El agua del “Reventón” tiene una salinidad (conductividad) superior a la que sale el resto del año. Esto tampoco es lógico, ya que cuanto más grande sea el volumen de agua, mayor dilución se produce y por tanto ésta será menos mineralizada; además, dado el escaso tiempo de contacto roca-agua, no es posible que esta última se cargue en sales desde que se infiltra hasta que sale. Se tiene que tratar de un agua que haya dispuesto de un tiempo suficiente como para poder disolver parte de la roca carbonatada”.

Añaden dichos autores que estas anomalías se pueden explicar aplicando el modelo del sifón inverso, pues además de justificar los caudales excedentarios, explicaría perfectamente la removilización y puesta en circulación de un agua semiestancada, y por tanto más mineralizada, durante los “reventones.

Por tanto y concluyendo, según Rodríguez-Estrella *et al.* (2002) “...el “Reventón” no es nada enigmático, sino que se debe a una confluencia de fenómenos físicos reales, tales como: lluvias copiosas y breves, red dendrítica de una cuenca fluvial hipogea, canal principal de desagüe angosto, cambios de pendiente en la cueva según tramos, cambios de presión y temperatura del exterior e interior de la cueva y fenómenos de succión en sifones inversos”. Lógicamente entre estos fenómenos hay unos que son principales y otros secundarios.

REFERENCIAS

Blumberg, P. N. 1970. *PhD Thesis*. Dept. Chem. Eng., Univ. Michigan.

Blumberg, P. N. y Curl, R. L. 1974. Experimental and theoretical studies of dissolution roughness. *Journal of Fluid Mechanics*, 65(4), 735-751. <https://doi.org/10.1017/S0022112074001625>

Checkley, D. y Faulkner, T. 2014. Scallop measurement in a 10 m-high vadose cayon and a hypothetical post-deglacial canyon entrenchment timescale. *Cave and karst Science*, 41(2), 76-83.

Curl, R. L. 1966. “Scallops” and flutes. *Transactions. Cave Reserch Group Great Britain*. 7, 121 p.

Curl, R. L. 1974. Deducing flow velocity in cave conduits from “scallops”. *National Speleological Society Bulletin*, 36(2), 1-5.

De Haro Yeboles, A. 1994. Estudio geológico del Calar del Río Mundo. Origen y evolución de la Cueva de los Chorros. *Espeleuka*, 94. Nota Interior.

Eraso Romero, A. 1994. La Cueva de Los Chorros, Nacimiento del Río Mundo, Riópar (Albacete). *Mundo Subterráneo*.

Eraso, A. 1998. Estimación de las paleovelocidades y sentidos de circulación del agua en el karst donde se emplaza el yacimiento arqueológico de la sierra de Atapuerca. *Geogaceta*, 23, 39-41.

- Eraso, A. 2001. Estimación de las paleovelocidades y sentidos de circulación del agua en el karst donde se emplaza el yacimiento arqueológico de la sierra de Atapuerca. *Boletín nº 2 Sedeck*. 61-68
- Faulkner, T. 2013. Speleogenesis and scallop formation under hydraulic control and other recharge regimes. *Cave and Karst Science*, 40(3), 114-132.
- Ferrer Rico V. y Extopocien. 2015. La Cueva de los Chorros Riópar. *Cevagraf*. 1, 64 p.
- Ford, D. y Williams, P. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Edit. Wiley. 562. <https://doi.org/10.1002/9781118684986>
- Gabriel i Rodrigo, R. 1983. *Contribucio a l'estudi de les emprentes de corrent. Interacció d'una paret soluble i un flux turbulent adjacent*. Departament de Química Tècnica de la Universitat de Barcelona.
- Gabriel i Rodrigo, R. 1984. Les emprentes de corrent: de l'espeleologia a la hidrodinàmica. *Revista Catalana de Ciència i Tecnologia*. “Ciència Nº 38”, 4, 60-64.
- Gabriel i Rodrigo, R. 1986. Contribució a l'estudi de les emprentes de corrent. *Espeleo Club de Gracia*.
- Hammer, Ø., Lauritzen, S. E., Jamtveit, B. 2011. Stability of Dissolution Flutes Under Turbulent Flow. *Journal of Cave and Karst Studies*. 73(3), 181-186. <https://doi.org/10.4311/2011JCKS0200>
- Lauritzen, S.E. 1981. Statical Symmetry Analysis of “scallops”. *NSS Bulletin*, 43, 52-55.
- Murphy, P. J. 2012. “Scallops”. *Encyclopedia of Caves*, 679-683. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-383832-2.00100-6>
- Pavía Alemany, F. 1999. El Reventón de la Cueva de los Chorros Flashing/Cavitación en el Karst. *Lapiaz*, 26, 32-48.
- Plá Salvador, R. 1966. Nuevas prospecciones en el Calar del Mundo. *Geo y Bio karst*. Año III, 9, 21-22.
- Plá Salvador, R. 1981. Trabajos espeleológicos desarrollados en el karst del Calar del Mundo y Cueva de los Chorros. *Lapiaz*, 7, 4-39.
- Rodríguez-Estrella, T. 1999. Nuevas aportaciones sobre el funcionamiento hidrogeológico del acuífero kárstico multicapa del Calar del Mundo (prov. Albacete y Jaén). *Contribuciones del estudio científico de las cavidades kársticas al conocimiento geológico. Patronato de la Cueva de Nerja*, 507-522.
- Rodríguez-Estrella, T. y Ballesta Sánchez, F. 1999. Estudio geohidroespeleológico del Calar del Mundo (provincias de Albacete y Jaén). *Instituto de Estudios Albacete Excma. Dip. Prov. Albacete*. 175 p.
- Rodríguez-Estrella, T., Ballesta, F., Melero, J. y Martínez, J.A. 2002. Contribución de las medidas de conductividad y pH, en las aguas de la Cueva de los Chorros del Río Mundo (Albacete), a la génesis del enigmático “Reventón”. *2nd Nerja Cave Geological Symposium. Karst and environmental*. Nerja. Spain. 199-209.
- Rudnicki, J. 1960. Experimental work on flute development. *Speleologia* (Warsaw), 2, 17.
- Ullastre, J., Masriera, A. 1978. Introducción al estudio geoespeleológico del borde NW del Calar del Mundo. (Riópar-Albacete). *Geo y Bio karst*. Año V, 16-17, 4-19. Barcelona.
- Woodward, E., Sasowsky, I. D. 2009. A spreadsheet program (Scallopex) to calculate paleovelocities from cave wall “scallops”. *Acta karstológica*. 38(2-3), 303-305, Postojna.