

Notas al comportamiento de la masa gaseosa de la cueva Balzola, Dima, Bilbao.

Autor:

Vladimir Otero Collazo. Grupo Ciro Berrios. Sociedad Espeleológica de Cuba.

Autores colaboradores:

Jabier Les. Presidente Sociedad de Ciencias Espeleológicas Alfonso Antxia.
Zabalbide 7 – 2º izda. 48005 – Bilbao. jabierles@yahoo.es

Rakel Malanda Ruiz. Lda. Matemáticas. Zabalbide 7 –2º izda. 48005 – Bilbao.

Resumen.

A lo largo de un año completo se han realizado numerosas mediciones de carácter climático en la cueva de Balzola. Bizkaia. Para ello se instalaron cuatro estaciones datalogger de medición continua, que registraban a datos a cada hora. Tras un análisis estadístico podemos ofrecer las primeras conclusiones.

1. Introducción.

El microclima de las cavidades es uno de los factores principales en el desarrollo de los fenómenos que tienen lugar en el karst. Su influencia en los procesos termodinámicos y físico – químicos va desde cambios en la dirección de las reacciones químicas hasta la degradación total de la cavidad.

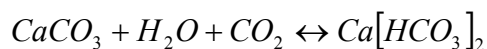
La temperatura corporal del ser humano promedio es de 36.5 °C, al menos 15 grados superior a la media de las cavidades. Esta diferencia genera un gradiente muy acentuado entre el punto caliente (el cuerpo humano en este caso) y la masa gaseosa de la cavidad, favoreciendo un flujo de energía que provocará un incremento de la temperatura del aire.

Éste efecto causa a su vez otros efectos que se reflejan en un incremento de los valores de variables como la Entalpía y la Entropía, que a su vez describen las modificaciones del comportamiento de la masa gaseosa.

Al respirar cada persona consume una porción de oxígeno, generando CO₂ y vapor de agua, que va a formar parte de la atmósfera circundante, rompiendo el equilibrio existente en la masa gaseosa y entre esta, la masa líquida y la sólida. El incremento de la concentración de estas variables sumado a la variación de la temperatura va a provocar un decremento de la densidad del aire, favoreciendo la formación de nuevas corrientes de aire en direcciones que dependerán del movimiento del punto caliente (seres humanos en este caso).

Mientras mayor sea la cantidad de personas que visita la cavidad, se incrementa la influencia en las características de la masa gaseosa, provocando, entre otros efectos, la

condensación de un agua enriquecida con CO₂, que al depositarse en la roca, actúa sobre ella acorde a la ecuación fundamental del karst (Eraso 1969), (Otero 1990, 1992, 1994), (Andrieux 1969), (Llopis Lladó 1970):



Si se tiene en cuenta la fragilidad del medio en las cavernas y que los procesos que tienen lugar son irreversibles, se tendrá por resultado la destrucción del medio natural en un tiempo relativamente corto, observándose los primeros efectos nocivos cuando ya resulta demasiado tarde, por lo que se impone un conocimiento de los mecanismos de la circulación de la masa gaseosa en su estado natural, sin las modificaciones naturales que se realizan en las adaptaciones.

Autores como Caumartin (1973), Eraso (1963,1969, 1981) y otros mencionan los procesos que tienen lugar cuando se produce una explotación indiscriminada de una cavidad como centro turístico, mencionando alguno de los daños irreversibles que sufre y las causas de los mismos; haciendo énfasis en los métodos de investigación y el diseño del proyecto para la adaptación de una cavidad para visitas continuadas.

En la cueva Balzola se realizó trabajo preliminar sobre el comportamiento de las principales variables meteorológicas, en el período comprendido entre el mes de enero y octubre del 2003, realizándose una serie de mediciones en 3 puntos de la cavidad, con un intervalo de 1 hora de forma continua, controlando la temperatura del aire, la humedad relativa y en el caso de la presión atmosférica se controló cada 10 minutos.

Por razones de seguridad del equipamiento de medición, este no se colocó en los lugares más representativos de las galerías, sin embargo los datos tomados caracterizan con bastante aproximación el comportamiento y la relación entre los diferentes puntos de medición y el exterior.

El presente trabajo expresa una visión general del comportamiento de la masa gaseosa de la cavidad y su relación con el exterior, sin llegar a un análisis exhaustivo de todas las variables termodinámicas calculadas.

El análisis estadístico se realizó con el paquete Statgraphics Plus 5.0 de la Statistical Graphics Corp. El cálculo de las variables termodinámicas fue a través del algoritmo Clima.

2. Ubicación de las estaciones.

Se colocaron 4 estaciones para la toma de muestras de la temperatura, humedad y presión atmosférica, 3 de ellas dentro de la cavidad, con dataloggers, en los puntos señalados en la Fig. 1. En el punto exterior se colocó una estación meteorológica que controló los datos de la zona a aproximadamente un km de la boca de la cavidad.

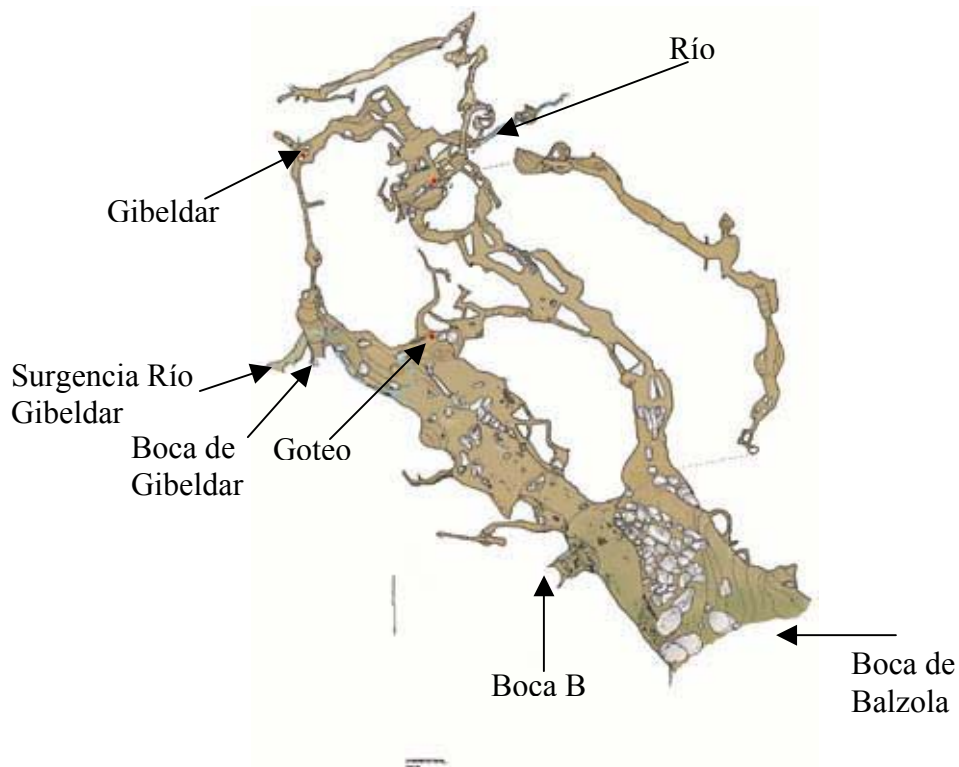


Fig. 1. Ubicación de las estaciones dentro de la cavidad y señalización de las diferentes entradas.

Comportamiento de las variables principales.

Temperatura.

La presencia de varias bocas intercomunicadas y en los extremos de la cavidad favorece la formación de un tubo de viento, forma de circulación que predomina en Balzola. En esta morfología la influencia del ambiente epigeo se manifiesta en todos los puntos de medición.

En la figura 3 se observa el comportamiento de la temperatura en las 4 estaciones, manifestándose una amortiguación del rango de variación en las galerías más profundas, hasta la estación del río, donde el gráfico es casi una línea recta, mostrando una tendencia al incremento durante el transcurso del año.

En la tabla II se manifiesta la influencia del exterior sobre toda la cavidad, aunque de una forma escalonada. Otros factores como la temperatura del sedimento, de la roca y del agua y la circulación del aire van a influir sobre el comportamiento de la variable en los diferentes puntos.

En los análisis de regresión se obtiene que el 78% de la variación de la temperatura en la estación Goteo provocada sólo por la variación de esta variable en el exterior, lo que significa que la influencia del exterior es predominante respecto a otros factores que influyen sobre su comportamiento.

Teniendo en cuenta las dimensiones de las galerías por donde se lleva a cabo la circulación, se justifica la alta correlación por causas morfológicas, solamente modificado este comportamiento por las zonas más estrechas en las bocas posteriores. La amortiguación de la curva es debido a otras causas que favorecen el enfriamiento o calentamiento, según sea el caso, del aire, entre las que se pueden mencionar: la interacción con la roca y el sedimento, los que en la mayor parte del año actúan como elementos refrigerantes. Se debe recordar que la colecta de datos no se realizó en la zona de donde se concentra el flujo del tubo de viento, recibiendo solo una parte de la influencia de la corriente que pasa por el centro de la galería.

En el caso de la estación Río, la influencia del exterior se reduce a favorecer mínimas variaciones, comportándose la curva como una gráfica de tendencia. En esta zona se representa la masa más estable de la cavidad con un rango máximo de casi 3° C. La circulación del aire ocurre como termocirculación en saco de viento, donde la suma de factores que influyen a lo largo de la cavidad sobre esta variable, como la roca, cuya temperatura prácticamente no varía durante el año, favorecen la estabilidad observada en el comportamiento de la gráfica.

La estación de Gibeldar es el caso de una zona intermedia entre Goteo y Río, no solo por su posición espacial, sino por su comportamiento. Presenta una fuerte correlación con el exterior, como se advierte en la tabla II, explicándose, a partir del análisis de regresión, que el 50 % de las variaciones de la temperatura son favorecidas por el comportamiento de esta variable en el medio epigeo, mientras que el otro 50 % es causado por los diferentes factores del medio hipogeo antes mencionados.

Atendiendo a su morfología, de una galería conectada en ambos extremos por conductos que de una forma u otra comunican con el exterior, la circulación del aire es termocirculación en tubo de viento, aunque la influencia de la de los agentes refrigerantes, principalmente la roca, minimizan los efectos de las variaciones de la temperatura epigea, por lo que la correlación de este parámetro en esas dos estaciones es inferior al caso de la estación Goteo, a pesar de la fuerte corriente de aire que circula por la galería.

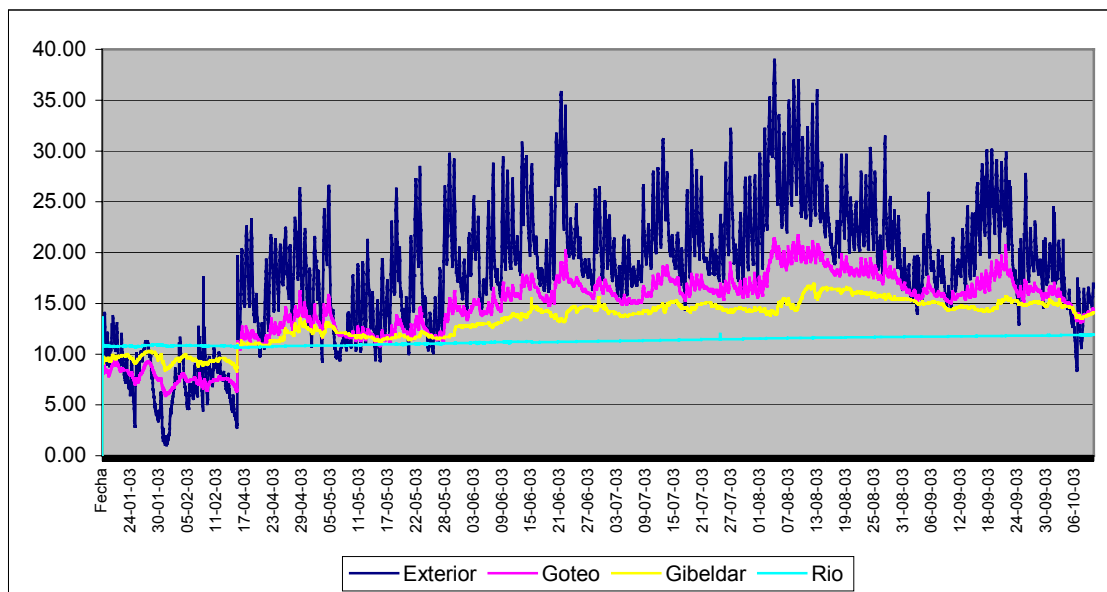


Fig. 3. Comportamiento de la temperatura en las estaciones del interior y exterior de la cavidad.

Estación	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	Recorrido	Coefficiente de Variación
Exterior	18.35	6.39	1.04	38.97	37.93	34.82
Goteo	14.55	3.50	5.90	21.7	15.80	24.08
Gibeldar	13.30	2.06	8.30	16.90	8.60	15.51
Río	11.28	0.38	10.66	13.60	2.94	3.37

Tabla I. Estadística descriptiva de los resultados de la temperatura por estaciones.

	Exterior	Goteo	Gibeldar	Río
Exterior		0.8832	0.7170	0.5244
Goteo			0.9419	0.7516
Gibeldar				0.8530

Tabla II. Matriz de correlación del comportamiento de la temperatura en las diferentes estaciones.

Humedad Relativa.

La humedad relativa presenta un comportamiento más independiente con respecto a la influencia del exterior. Al igual que en el caso de la temperatura, se observa una amortiguación de la curva desde el exterior hacia el interior de la cavidad, sin embargo la influencia del medio epigeo es menor.

La variación de la humedad relativa en la estación de Goteo es solamente explicada en un 36 % por la variación del exterior. En la tabla IV se puede inferir que la influencia del exterior sobre las partes más profundas de la cueva es prácticamente nula.

La presencia de corrientes de agua y goteos con caudales variables en el tiempo es la causa fundamental de esa pobre correlación. Si se recuerda que la humedad relativa describe de forma porcentual el grado de saturación de la masa gaseosa, que se calcula a partir de las presiones parciales de saturación y del vapor de agua y que estas últimas dependen de la temperatura, se explica de forma satisfactoria la baja correlación entre las estaciones.

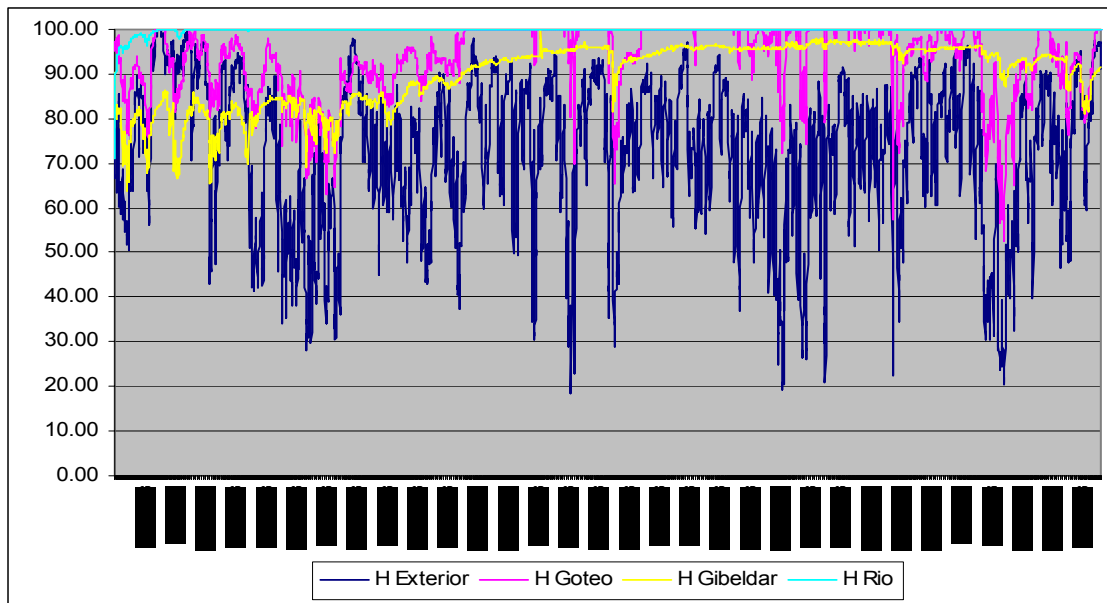


Fig. 4. Comportamiento de la humedad relativa en las estaciones del interior y exterior de la cavidad.

Estación	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	Recorrido	Coefficiente de Variación
Exterior	72.98	16.74	18.60	99.90	81.30	22.94
Goteo	93.57	7.69	52.60	99.90	47.30	8.22
Gibeldar	90.06	6.98	63.70	99.90	36.20	7.76
Río	99.77	0.38	71.00	99.90	28.90	0.82

Tabla III. Estadística descriptiva de los resultados de la humedad relativa por estaciones.

	Exterior	Goteo	Gibeldar	Río
Exterior		0.6023	0.0299	0.0135
Goteo			0.5601	0.0886
Gibeldar				0.2895

Tabla IV. Matriz de correlación del comportamiento de la humedad relativa en las diferentes estaciones.

En el caso de la estación Gibeldar no presenta los factores mencionados que interfieren en la influencia del exterior sobre la humedad relativa, pero otras causas, como la morfología del sector, interfieren en el comportamiento de la variable analizada. Los mecanismos que actúan sobre el comportamiento de la humedad relativa en la estación serán explicados más adelante.

Entre las estaciones, la única que presenta una saturación de la masa gaseosa durante prácticamente todo el año es la estación del Río. Este fenómeno se explica fácilmente

debido a las características morfológicas del sector, una galería estrecha, las comunicaciones con el resto de la cavidad por pasos de pequeñas dimensiones, con una corriente hídrica en el punto de medición son condicionantes que favorecen ese estado.

Presión atmosférica.

La presión atmosférica es el parámetro que menor diferencia presenta entre las diferentes estaciones. Varios son los factores que condicionan este fenómeno:

1. Amplitud de las entradas de la cavidad.
2. Cantidad de aberturas al exterior.
3. Poca diferencia de nivel entre las diferentes estaciones.
4. Corta distancia entre los diferentes puntos y de estos a las entradas de la cavidad.

La mayor diferencia entre las mediciones se observa entre la estación Exterior y las estaciones del interior de la cavidad, comportamiento lógico si tenemos en cuenta que existe una transición de una atmósfera libre a una confinada, lo que siempre va a causar una cierta inercia en la masa gaseosa hipogea. Esto se observa en las tablas V y VI.

Dentro de la cavidad llama la atención un descenso de la presión atmosférica en la estación Gibeldar.

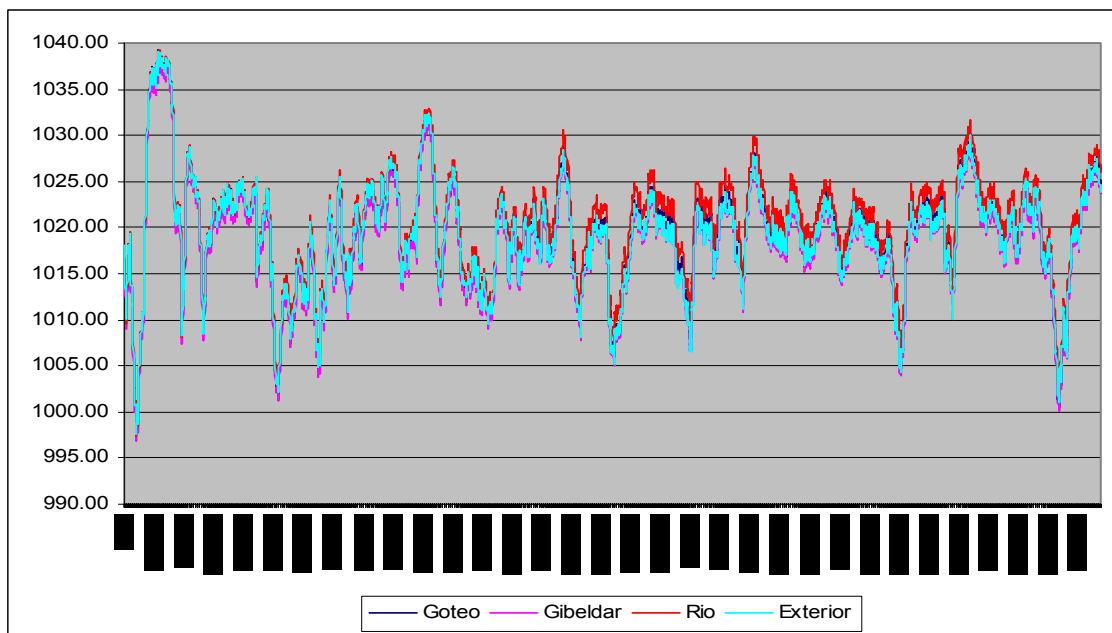


Fig. 5. Comportamiento de la presión atmosférica en las estaciones del interior y exterior de la cavidad.

Estación	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	Recorrido	Coefficiente de Variación
Exterior	1019.22	5.92	997.5	1039.2	41.6	0.58
Goteo	1021.13	9.62	997.6	1039.2	41.6	0.94
Gibeldar	1020.30	9.55	996.8	1038.3	41.5	0.93

Río	1021.32	9.50	997.4	1039.3	41.9	0.93
-----	---------	------	-------	--------	------	------

Tabla V. Estadística descriptiva de los resultados de la presión atmosférica por estaciones.

	Exterior	Goteo	Gibeldar	Río
Exterior		0.9003	0.9013	0.9002
Goteo			0.9999	0.9992
Gibeldar				0.9995

Tabla VI. Matriz de correlación del comportamiento de la presión atmosférica en las diferentes estaciones.

Transferencia de masa y energía.

La transferencia de masa y energía se produce en dependencia de una serie de procesos que tienen lugar en el aire de la cavidad, procesos cuyo desarrollo depende del comportamiento de las variables en el exterior, la morfología de las galerías y de los procesos que tienen lugar en los conductos por los que circula la masa gaseosa.

El cálculo del gradiente de la densidad del aire es una herramienta de análisis adecuada para la estimación de la dirección de la circulación de la masa gaseosa en su conjunto, determinándose la relación contractual entre las diferentes estaciones. Se obtiene por la relación:

$$Gd = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1}$$

Para completar el análisis se calcularon también las variaciones de la entalpía y la entropía entre los diferentes puntos, utilizando para ello las siguientes relaciones:

$$\Delta H = H_2 - H_1$$

y

$$\Delta S = S_2 - S_1$$

Donde:

ΔH = Variación de la Entalpía.

H_1 = Entalpía del punto más exterior.

H_2 = Entalpía del punto más interior una hora después.

ΔS = Variación de la Entropía

S_1 = Entropía del punto más exterior.

S_2 = Entropía del punto más interior una hora después.

El valor del gradiente de la densidad es generado por factores causales que favorecen el desarrollo de una serie de procesos interdependientes entre ellos. Entre estos se mencionan los termodinámicos, como el recorrido y sumatoria de la entalpía y la entropía, variables de estado que explican el comportamiento de la masa gaseosa.

Generalmente el movimiento del aire va a depender del gradiente de la densidad, generándose una circulación desde la zona de mayor a menor densidad. Sin embargo, en una cueva, la dirección de la circulación también va a señalar la dirección de los procesos termodinámicos, reflejándose esto en el comportamiento de la sumatoria de las variaciones de la entalpía y la entropía.

La entalpía, en los cálculos realizados, se conceptualiza como el calor ganado o cedido por la mezcla del aire seco y el vapor de agua. En este sentido, cuando la entalpía aumenta, la temperatura sufre un incremento proporcional, por lo que tiene lugar una disminución de la densidad. Éste último parámetro se afecta además por el incremento del contenido húmedo de la masa gaseosa, por poseer el vapor de agua una densidad menor que el aire seco.

Todo lo anterior condiciona que la dirección de intercambio va a desarrollarse de menor a mayor entalpía.

La entropía representa el grado termodinámico de desorganización de la materia, desarrollándose los procesos en el sentido del incremento de éste parámetro.

Atendiendo a esto, la dirección de los procesos termodinámicos que tienen lugar en la masa gaseosa, entre los que se mencionan la transferencia de masa y energía, ocurrirán desde las zonas de menor entropía hacia las zonas donde sea mayor el valor de esta variable.

En el caso de la cueva de Balzola presenta dos sistemas termodinámicos, que denominaremos en lo adelante, para simplificar, sistema Norte conformado principalmente por la galería de Gibeldar hasta la zona del Río y sistema Sur, cuyo componente principal es la galería de Balzola. La división adoptada se representa en la figura 6.

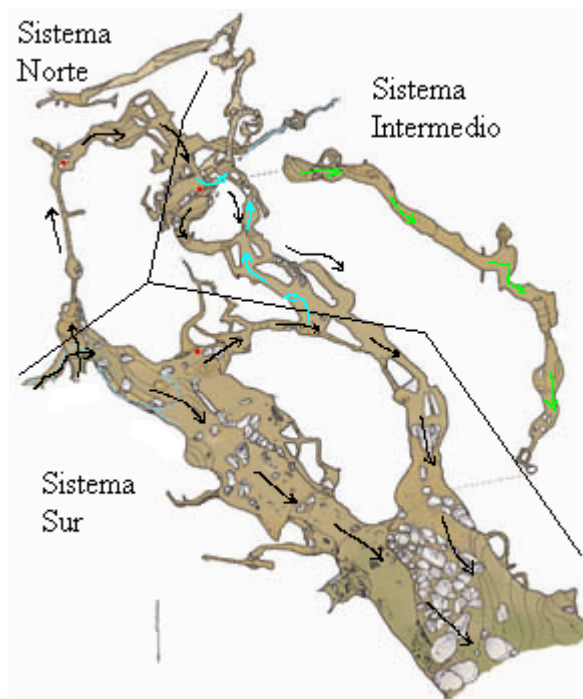


Fig. 6. Subdivisión de la cueva en los sistemas termodinámicos que la componen. En el esquema se describe la circulación general del aire en la cavidad. Las flechas negras representan las corrientes permanentes durante todo el año, las de color cian la circulación del aire en los días que la temperatura exterior es inferior a 11°C y las verdes representan las mezclas de masas gaseosas de los sistemas Norte y Sur durante los días antes mencionados.

En la cavidad existe una zona intermedia, la que es afectada por ambos sistemas, dependiendo de las condiciones termodinámicas de las masas gaseosas que los componen. La zona del Río y los niveles superiores forman parte del complejo de galerías que la conforman.

Los sistemas Norte y Sur mantienen en principio una circulación prácticamente constante. El sistema Norte circula desde las entradas ubicadas al oeste, representadas por la Boca de Gibeldar y surgencia del río Gibeldar, hacia la zona del Río. En el sistema Sur la entrada es por el mismo lugar que el anterior hacia la boca da Balzola.

Las direcciones de circulación de la masa gaseosa explican por sí solas la diferencia en el promedio de la humedad relativa entre las estaciones de Goteo y Gibeldar, siendo en esta última menor que en el resto de la cavidad. El aire, en el sistema Norte, entra por la boca de Gibeldar y circula por toda la galería, en la que abundan sedimentos terrígenos. Sin embargo, en la zona sur, por una parte de la galería circula el río, surgiendo muy cerca del punto de mediciones en Goteo. Aunque la circulación del aire presenta una buena velocidad, el descenso de la temperatura y la evaporación de la corriente hídrica favorecen el incremento del contenido de agua en la masa gaseosa.

La zona más interesante, desde el punto de vista termodinámico, es precisamente la zona intermedia, donde se ubica la estación del Río, el sistema de gateras y las galerías superiores. Esta zona recibe la influencia de los sistemas Norte y Sur, dependiendo del comportamiento de las diferentes variables medidas.

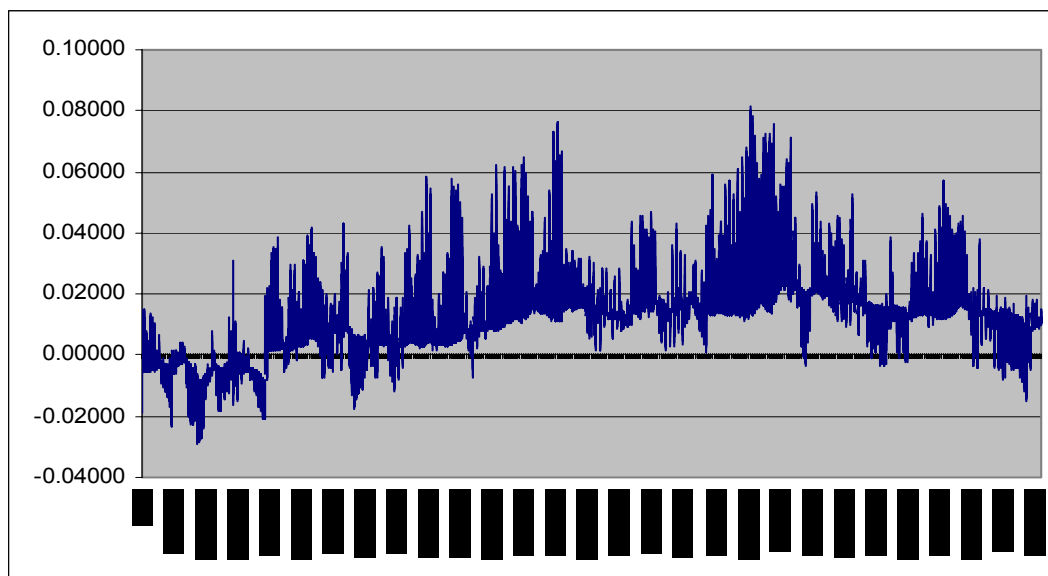


Fig. 7. Comportamiento del gradiente de la densidad en estaciones sucesivas ordenadas desde el interior hacia el exterior (Río – Goteo – Exterior).

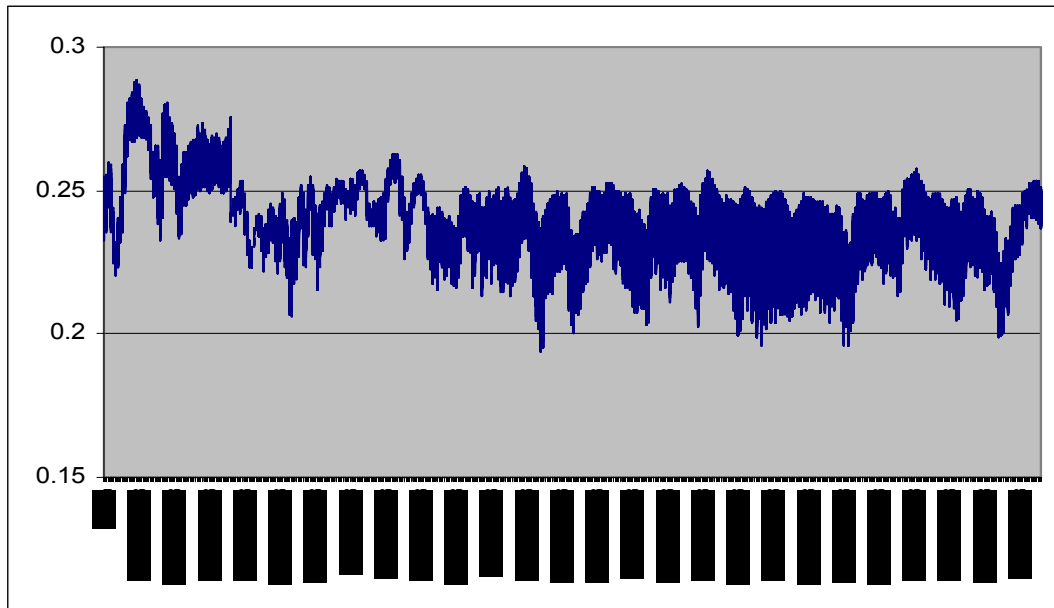


Fig. 8. Comportamiento del gradiente de la densidad en estaciones sucesivas ordenadas desde el interior hacia el exterior (Río – Gibeldar – Exterior).

Durante la temporada invernal, en los meses de enero, febrero y octubre la densidad del aire en el exterior es superior a la del interior de la cavidad, lo que favorece la circulación en esa dirección. En ambos sistemas tiene un comportamiento similar, presentando la velocidad más alta en esos momentos. En los meses más cálidos la temperatura exterior se hace más elevada que en las zonas más profundas, disminuyendo la densidad de la masa gaseosa con respecto a la de la zona hipogea.

La forma de la curva va a presentar algunas semejanzas entre las dos zonas, estando la diferencia más acentuada en los valores que adoptan. El comportamiento de la entalpía va a ser diferente en las zonas Norte y Sur. En la primera se observa que en el interior de la cavidad el valor de la variación de la entropía es positiva todo el año, alcanzando los valores máximos en los meses más fríos.

Teniendo en cuenta la dependencia del valor de la entalpía con la temperatura y el contenido de humedad en la masa gaseosa descrito por la siguiente relación:

$$H = 0.24 * t + Habs * (589.4 + (0.444 * t))$$

Donde:

H: Entalpía

t: Temperatura del aire

Habs: Humedad absoluta, o contenido en peso del vapor de agua por unidad de masa del aire.

Recordando el concepto de la entalpía, mencionado anteriormente, se justifica el comportamiento diferenciado entre las zonas Norte y Sur precisamente por el contenido húmedo del aire. El valor de la humedad absoluta en la estación de Gibeldar es el menor

de todas las estaciones, debido a la absorción del agua por parte de los sedimentos. La abrupta ganancia de agua en la estación del Río, por la evaporación de la corriente que circula por esa galería, provoca el incremento de vapor. La masa gaseosa más seca proveniente de la galería de Gibeldar se mezcla con ella, incrementando la entalpía en ese punto.

El fenómeno explicado provoca una disminución de la densidad del aire en la estación del Río, favoreciendo la formación de corrientes convectivas ascendentes, generando un flujo por las galerías superiores, que se dirige hacia la boca de Balzola, en una corriente por convección forzada generada por la presión motriz originada en la galería Gibeldar.

En la zona Sur no ocurre el mismo fenómeno por la existencia de varias corrientes hídricas en el recorrido del aire. La existencia de una mayor temperatura del aire en los puntos Exterior y Goteo y el elevado contenido húmedo en este último punto favorece un valor de entalpía superior a la zona del Río, por lo que las sumatorias de las variaciones de entalpía entre estaciones son negativas en los meses menos fríos (fig. 9), contrario a lo que sucede en el sistema Norte, donde las sumatorias de las variaciones de entalpía entre las estaciones es siempre positivas.

En los meses de verano, donde la temperatura del aire epigeo resulta muy superior al hipogeo, al circular por la cavidad sufre un descenso acentuado de esta variable, favoreciendo un proceso de condensación en toda la zona cercana a la estación de Goteo y desde esta estación hacia el Río.

Este proceso ocurre con mayor fuerza los días que la humedad relativa en el exterior es superior al 80%, valor que se alcanza durante gran parte del año (fig. 4).

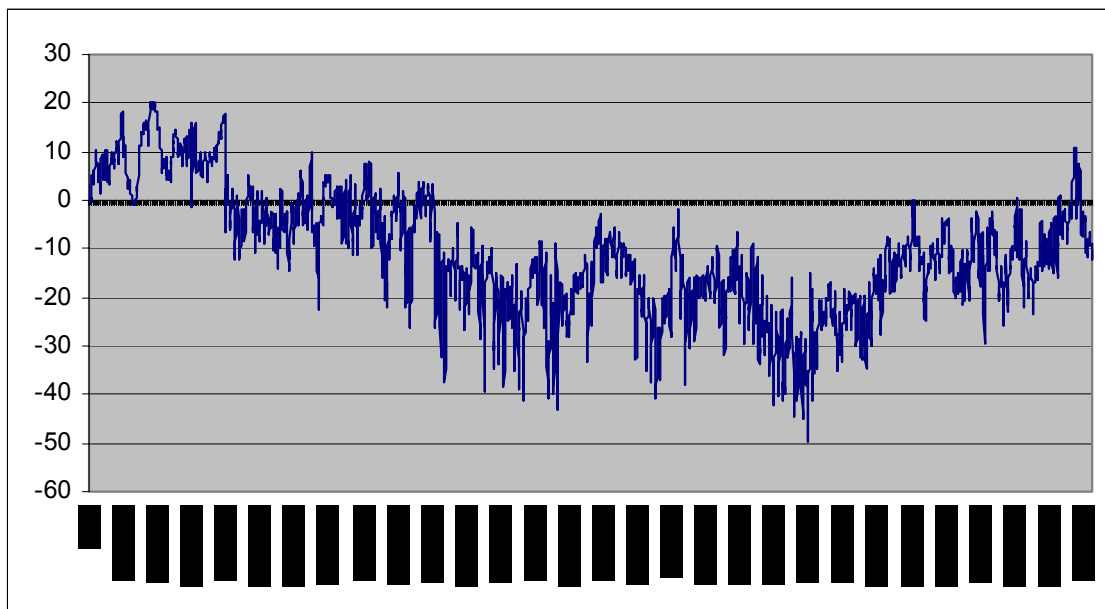


Fig. 9. Comportamiento de la sumatoria de la diferencia de Entalpía en estaciones sucesivas ordenadas desde el interior hacia el exterior (Río – Goteo – Exterior).

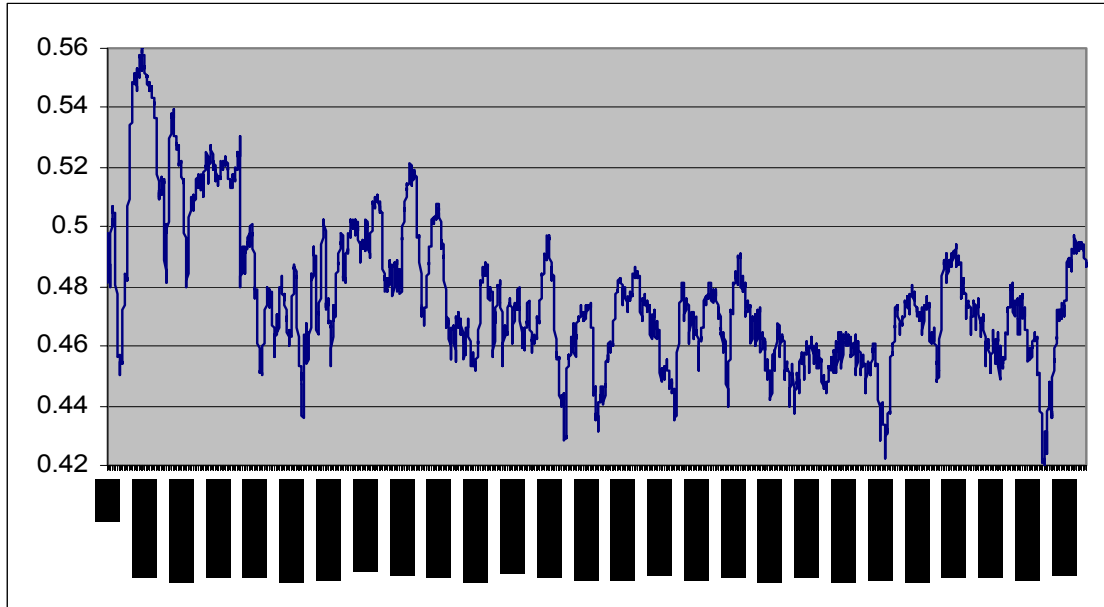


Fig. 10. Comportamiento de la sumatoria de la diferencia de Entalpía en estaciones sucesivas ordenadas desde el interior hacia el exterior (Río – Gibeldar – Exterior).

Este comportamiento va a generar una circulación en la zona intermedia que dependerá del comportamiento de la temperatura en el exterior. En los días la temperatura en el exterior sea inferior a los 11°C, el aire llegará a la estación del Río por dos vías:

- Exterior – Gibeldar – Río
- Exterior – Goteo – Río

En el segundo caso solo será una componente del flujo que circulará por la galería principal.

Las dos masas de aire se encontrarán en un punto, cercano a la entrada de la galería del Río, ascendiendo por la ganancia de contenido de vapor de agua y el incremento de la temperatura, lo que provoca un descenso en la densidad, favoreciendo el ascenso de las corrientes hacia la galería de los Laminadores, comunicando finalmente con la boca Grande de Balzola (fig. 6).

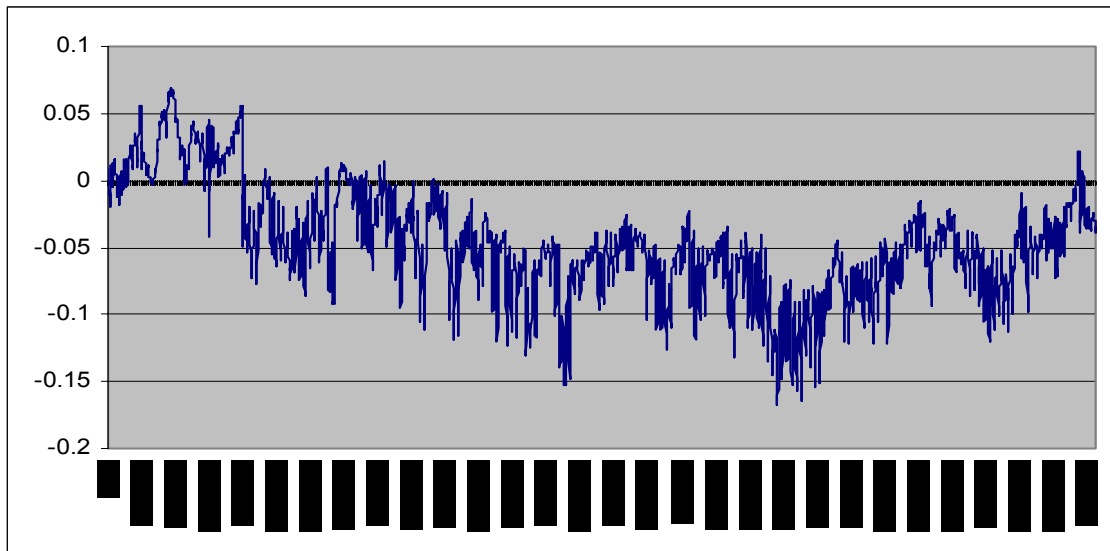


Fig. 11. Comportamiento de la sumatoria de la diferencia de Entropía en estaciones sucesivas ordenadas desde el interior hacia el exterior (Río – Goteo – Exterior).

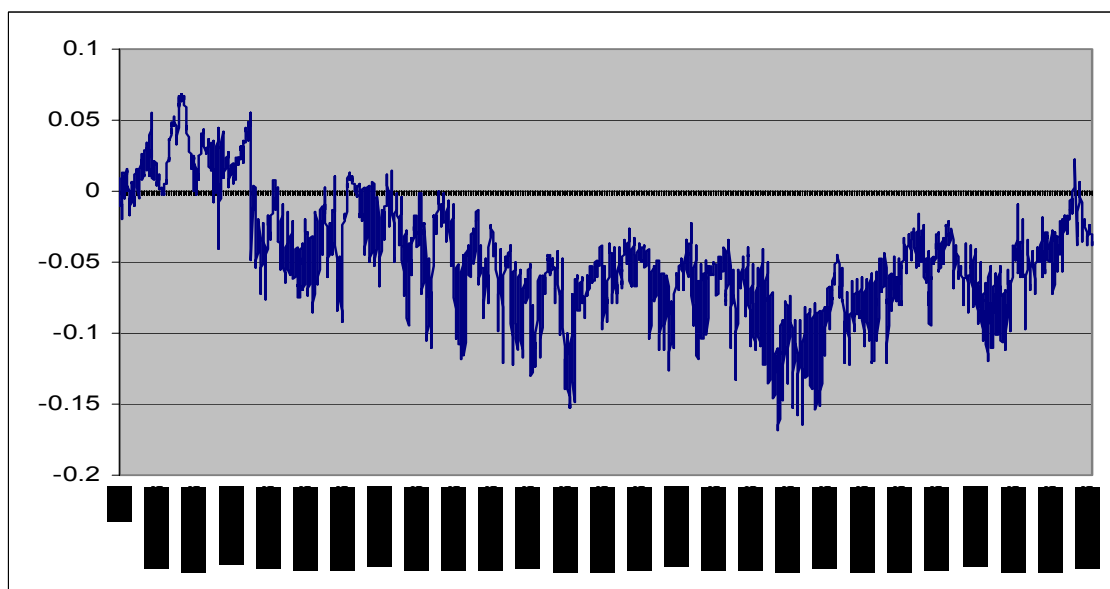


Fig. 12. Comportamiento de la sumatoria de la diferencia de Entropía en estaciones sucesivas ordenadas desde el interior hacia el exterior (Río – Gibeldar – Exterior).

El comportamiento de la entropía en los dos sistemas es similar. Recordando que la dirección de los procesos termodinámicos ocurre siempre hacia la mayor entropía, la zona del exterior es la que presenta esa característica durante la mayor parte del año. En cualquier momento se va a mantener la circulación en tubo de viento descrita en la figura 6, excepto en la zona intermedia durante los días más fríos, en que la galería del Río se convierte en una fuente de fluidos, presentando la zona de mayor entropía, por lo que la circulación de las zonas Norte y Sur convergerán en ese punto, continuando con la trayectoria descrita por una convección forzada, generada por la presión motriz, esta vez generada en los dos sistemas.

Conclusiones.

1. La cueva de Balzola presenta 3 zonas claramente identificadas por su comportamiento termodinámico y climático:
 - Sistema Norte. Conformado por la galería Gibeldar.
 - Sistema Sur. Conformado por la galería principal de Balzola y la porción anterior del segundo nivel.
 - Sistema intermedio. Conformado por la zona del Río y el resto de las galerías superiores.
2. En la cavidad se manifiesta una zona de activación de fluidos durante los días más fríos del año en la galería del Río, que favorece la circulación del aire hacia el nivel de la galería de los Laminadores.
3. En los días que la temperatura es superior a los 18°C y la humedad relativa sobrepasa el 80 %, se produce un proceso de condensación, con un efecto más pronunciado entre la zona de Goteo y el Río.

Bibliografía.

Trombe Félix y otros: Recherche souterraines dans les Pyrénées Centrales. Annales de Spéléologie. Tomo III. 1947.

Eraso Adolfo. Ideas sobre la climática subterránea. Separata de Estudios del GE Alavés. 1963.

----- . Corrosión climática en las cavernas. Estratto de Ressegna Speleologica Italiana. Anno XXI. Fascicolo 1.4. 1969.

----- . Tentative nomogram for cave climate calculations. Separatum Problems of the speleological research. Praga. 1965.

----- . Estudio del complejo de cavidades de Orratzeta (Monte Albertia-Alava). Separata del GE Alavés. 1963.

Andrieux Claude. 24 heures de mesures et d' observations climatologique souterraines. (Premier Mémoires). Annales de Spéléologie. Tomo 21. Fasc. II. 1966.

----- . Contribución al estudio del clima en las cavidades naturales de los macizos cársicos. Annales de Spéléologie. 1972.

----- . Etude du climat de la grotte du Pigailh (Ariège). Problèmes posés par le mécanisme des transferts thermique. Annales de Spéléologie. Tomo 28. Fasc. III. 1973.

Molerio. Leslie. Hidrogeología y climatología de la cueva La Mariana. Contribución al estudio de las cuevas de calor. Voluntad Hidráulica. 57: 2-9. 1981.

Molerio, Lelie Elio Fariñas y Omar Ascue. Procesos de termotransferencia en la zona no saturada de un acuífero cársico al este de La Habana. Taller Internacional sobre Hidrología del Carso en la Región del Caribe. 1989.

----- . Mecanismos de generación y transmisión del calor en cavidades subterráneas de nuestro país. Simposio XL Aniversario de la SEC. 1985.

Longueira, Armando. Procesos de termotransferencia en una cueva de calor. Congreso L Aniversario de la SEC. 1990.

Otero, Vladimir. Estudio del comportamiento actual de las variables físicas y químicas de la cueva El Cable. Boca de Jaruco. La Habana. Tesis de Categorización Superior de Espeleología. 1990.

----- . Contribución al estudio de la transferencia de masa y energía en las cavernas. Algoritmo de Cálculo. II Congreso Espeleológico de FEALC. 1992.

Longueira, Armando. Aproximación a una tipología de las cavidades térmicamente anómalas. II Congreso Espeleológico de FEALC. 1992.

----- . Potencial de termotransferencia por convección natural en cuevas de calor de Cuba. II Congreso Espeleológico de FEALC. 1992.

Otero, Vladimir y Mireya Guerrero. Notas preliminares al estudio del aire en la cueva Tarará I. XV Jornada Científica del CE Villa Clara y GEA Cayo Barién. 1992.

Otero Vladimir. Apuntes sobre las características termodinámicas de la masa gaseosa de la cueva La Charca. Región Pictográfica de Guara. XVI Jornada Científica del CE Villa Clara. 1993.

----- . Contribución al estudio de la transferencia de masa y energía en las cavernas. La Trampa Térmica y la Cueva Caliente. XV Jornada Científica del CE Villa Clara y GEA Cayo Barién. 1992.

Ruiz de Sárate, Serafin y otros. Fundamentos físicos de la termodinámica. De. Pueblo y Educación. 1986.

Otero, Vladimir. Caracterización de los mecanismos de intercambio de masa y energía de la cueva El Cable. Boca de Jaruco. III Congreso Espeleológico FEALC. 1995.