

Características de la geometría fractal de varios sistemas filonianos mineralizados del Macizo Hespérico. Su aplicación a la prospección: Parte II: Mineralizaciones de W, Sn, U y P

Characteristics of the fractal geometry of several mineralized vein systems at the Hercynian Massif. Their application to prospectivity. Part II: W, Sn, U and P mineralizations

P. Gumiel (*), R. Campos (**), J.R. Hernández (*) y C. Paredes (***)

(*) ITGE, Rios Rosas 23, 28003, Madrid

(**) CIEMAT, Avda Complutense, 22, 28040, Madrid

(***) ETSIM, Rios Rosas 21, 28003, Madrid

ABSTRACT

This work is an attempt to characterize different vein sets with W, Sn, U, P (Part II) mineralizations of the Hercynian Massif, studying their internal organization and distribution. One-dimensional analysis of each vein sets has been carried out in Traverses. As a result of a two-dimensional analysis carried out from digitalization of several veins sets, other fractal dimensions as capacity dimension (D_c) and mass dimension (D_m) were obtained using Box-counting and Mass aggregation techniques. The later (D_c) and (D_m) values support the analysis of vein sets along Traverses in outcrops. The application of this methodology may play an important role in prospectivity of vein-type deposits.

Key words: Fractal, geometry, veins, mineralization, tungsten, tin, uranium, apatite, fractures, connectivity.

Geogaceta, 20 (6) (1996), 1401-1404
ISSN:0213683X

Caracteres geológicos y metalogénicos de los principales grupos filonianos estudiados.

Filonos de Wolframio/Estaño en rocas epimetamórficas del Complejo Esquisto-Grauváquico. La mina de La Parrilla, Cáceres: La mina de La Parrilla está situada cerca de Miajadas, al Sur de la provincia de Cáceres y es el yacimiento de scheelita más importante de España. La explotación, a cielo abierto, se encuentra situada en un cierre periclinal, en las facies del Complejo Esquisto-Grauváquico (CEG, Precámbrico Superior-Cámbrico Inferior). Los filones mineralizados se presentan en grupos de dirección principal NE-SW y buzamientos entre 45° y 60°SE, con potencias que oscilan entre milimétricas y métricas (Gumiel y Pineda 1981, Gumiel et al. 1985).

Filonos de Estaño y/o Wolframio intragraníticos.

La mina de El Trasquilón. Cáceres: El yacimiento del Trasquilón (Cáceres) pertenece al tipo albitita-greisen (Gumiel 1981, González Aguado y Gumiel 1984), en el que la mineralización, principalmente de casiterita, se encuentra diseminada en facies de leucogranitos albitizados, greisenizados y caolinizados, y en una red filoniana con direcciones

preferentes NNE-SSW y buzamientos sub-verticales. Este depósito está localizado en la parte apical de una cúpula granítica que atravesa los materiales del CEG.

Los indicios de W/Sn de Arroyomolinos de Montánchez. Cáceres: Se trata de filones de cuarzo con wolframita y/o casiterita, encajados en monzogranitos de dos micas dentro del stock de Montánchez, y también asociados a diques de pórfidos, apaitas y pegmatitas,

que son los representantes tardíos, mas evolucionados (leucogranitos), de una serie de diferenciación magmática que comprende desde granodioritas y tonalitas, hasta monzogranitos, granitos y leucogranitos (Gumiel y Campos 1993). Los filones tienen orientaciones que varían entre N20°E y N40°E, con longitudes que no sobrepasan los 500m. Su situación, ocupando estructuras de segundo orden probablemente relacionadas con la Zona de

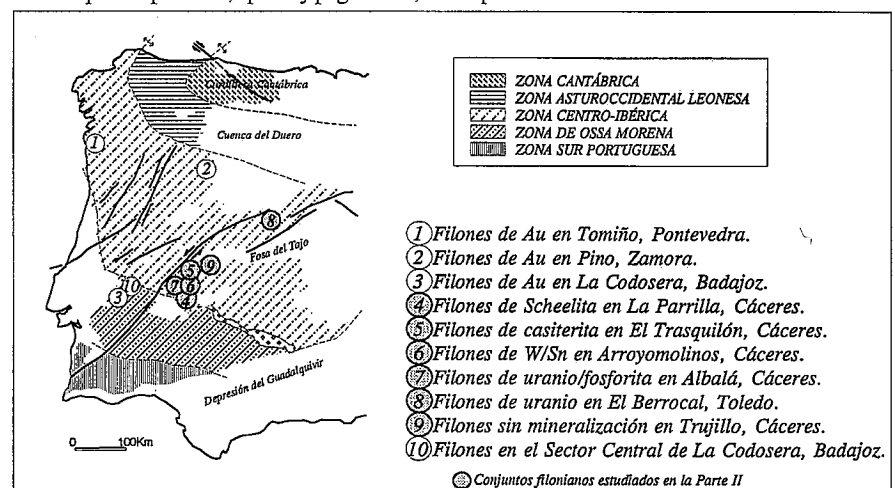


Fig. 1.- Situación de los sistema filonianos estudiados. (Zona según Julivert et al. 1972)

Fig. 1.- Location of the studied vein system. (Zonation after Julivert et al. 1972).

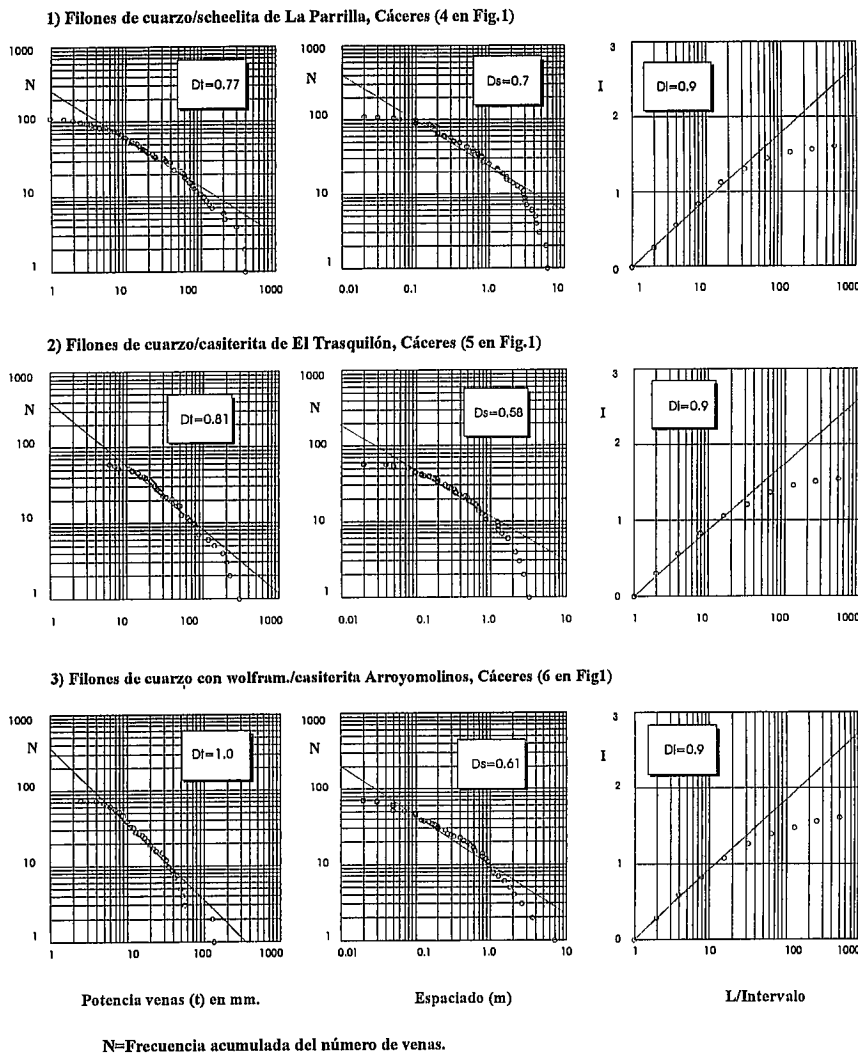


Fig. 2.- Dimensiones fractales de filones con mineralización de W y Sn

Fig. 2.- Fractal dimension of W and Sn mineralized quartz veins.

Cizalla de Montánchez, ya ha sido señalada anteriormente (Gumiel *et al.* 1995).

Filones intragraníticos de Uranio/ fosforita, Albalá (Cáceres): Los filones de Uranio y fosforita de Los Ratones y Las Perdices respectivamente se encuentran en Albalá, Cáceres y están situados en las facies internas del batolito de Albalá, constituidas por monzogranitos de dos micas con turmalina y andalucita. Las labores comprenden una serie de conjuntos filonianos de dirección media NE-SW a NNE-SSW, generalmente con fuerte buzamiento y longitudes que no sobrepasan los 800m.

Filones intragraníticos de Uranio en el stock de El Berrocal (Toledo): El plutón granítico del El Berrocal está situado al Norte de Nombela en la provincia de Toledo. Los filones de Uranio que constituyen el yacimiento, que ha sido investigado por el CIEMAT como «análogo natural», para estudiar el comportamiento y migración del elemento, están encajados en granodioritas de dos micas y granitos, junto con rocas más ácidas (diques aplíticos) (Campos *et al.*, 1995).

Relaciones entre las dimensiones fractales y el contenido metálico de los grupos estudiados.

Dimensiones fractales y mineralizaciones de Wolframio y Estaño: Con respecto a los conjuntos filonianos con mineralizaciones de Wolframio y Estaño de las minas de La Parrilla, Trasquilón y Arroyomolinos (Figs. 1 y 2), los tres sistemas filonianos tienen una similar densidad de venas (1 vena > 10mm por metro). Las dimensiones de espaciado son del mismo orden de magnitud (0.7, 0.58 y 0.61 en La Parrilla, Trasquilón y Arroyomolinos respectivamente) y las de información son iguales ($D_i=0.9$), lo que implica distribuciones de venas en grupos (Gumiel *et al.* 1995). Las distribuciones de potencias son diferentes ($D_f=0.77$ en La Parrilla, $D_f=0.81$ en el Trasquilón y $D_f=1.0$ en Arroyomolinos). El menor valor de D_f en la distribución de potencias de las venas en La Parrilla se corresponde con los contenidos metálicos (W, Sn y As) más elevados en dicho yacimiento (Tabla I).

Por otra parte, aunque el número de venas por metro en Arroyomolinos puede localmen-

te ser mayor que en La Parrilla, las venas en Arroyomolinos no alcanzan las potencias observadas en la Parrilla (Tabla I). Finalmente, los conjuntos filonianos de El Trasquilón contrastan con los dos anteriores, pues muestran un enriquecimiento en Sn y empobrecimiento en W y As (Tabla I). Las venas muestran dimensiones de espaciado ($D_s=0.58$) e información ($D_i=0.9$) similares a las otras mineralizaciones, y la $D_f=0.81$, puede considerarse intermedia entre las anteriores, confirmando que la mayoría de las potencias de las venas se sitúan entre 10 y 30mm, aunque la potencia media en el Trasquilón sea algo más elevada (45.23 mm, Fig. 2 y Tabla I).

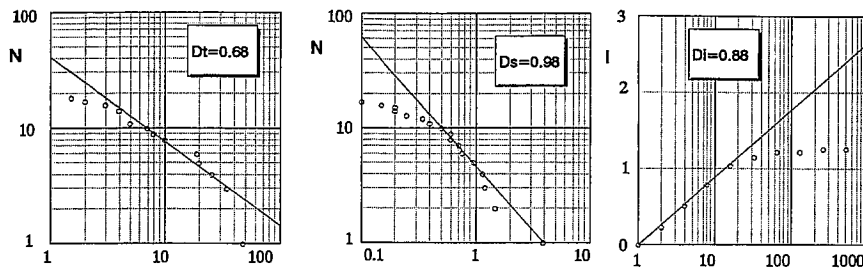
Dimensiones fractales y mineralizaciones de Uranio y Fosforita: Las Transversales de muestreo de los filones uraníferos y con cuarzo-apatito de Los Ratones y Las Perdices respectivamente, en Albalá (Cáceres), muestran dimensiones de distribución de potencias con valores de D_f comprendidos entre 0.68 y 0.85 (Transversales T-1 y T-3 respectivamente, Fig. 3-1 y 3-2). Las dimensiones de información (D_i) varían entre 0.88 y 0.9, valores que son propios de sistemas filonianos mineralizados bien conectados. Las dimensiones de espaciado, en un rango comprendido entre 0.4 y 2 m, muestran valores de $D_s=0.98$ y 0.9 en las Transversales T-1 y T-3 respectivamente. Las distribuciones de espaciado en estos conjuntos filonianos se ajustan mejor a distribuciones lognormales que a exponenciales negativas. La dimensión de información (D_i) próxima a 0.9 es del mismo orden de magnitud que la de los otros conjuntos filonianos estudiados.

La densidad de venas en Albalá es 1.29 venas/m en T-1 y 0.65 venas/m en T-2. La potencia media varía entre 12.8mm y 13.6mm (Tabla II), siendo muy parecida a las potencias de los conjuntos filonianos medidos en Arroyomolinos de Montánchez (Tabla I).

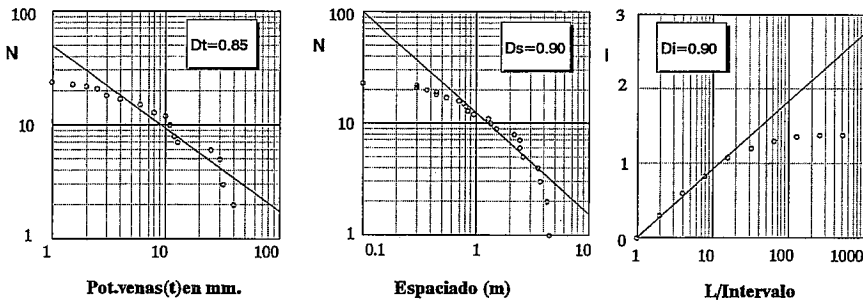
Las Transversales de análisis de venas en el indicio de El Berrocal (Toledo) fueron realizadas, una en la galería de la antigua mina, en la que se observa el filón principal (Dique mineralizado) que alcanza 1 metro de potencia, y otra en una sección en la que se encuentran venillas de poca potencia, que deben corresponder con el deflecamiento y ramificaciones en la terminación del Dique mineralizado, en el contacto del granito de El Berrocal con el dique aplítico.

Las diferencias en cuanto a fractalidad de los grupos de venas intersectados en ambas Transversales son evidentes. En primer lugar, la dimensión de distribución de potencias, $D_f=0.68$ en la galería de la mina, frente a $D_f=1.02$ en la sección del contacto con las aplitas (Figs. 1, 4-1, 4-2 y Tabla II), corrobora que el conjunto filoniano de la galería está mineralizado, en Uranio en este caso, y sin embargo el otro conjunto sea estéril. En segundo lugar, la $D_f=0.56$ del conjunto de la galería confirma el carácter de fuerte agrupamiento que presentan las venas mineralizadas. Respecto a las dimensiones de espaciado, $D_s=0.5$, en un rango comprendido entre 0.3 y

1) Transversal (T-1) en sección de dirección N85°E/v. Longitud 14m



2) Transversal (T-3) en sección de dirección N115°E/v. Longitud 37m



N = Frecuencia acumulada del número de venas.

Fig. 3.- Dimensiones fractales de Venas de Q-U-P en Albalá, Cáceres (7 en fig. 1)

Fig. 3.- Fractal dimension of Q-U-P in Albalá, Cáceres (7 in fig. 1)

1m, lo que sugiere también un fuerte grado de agrupamiento. Por encima de 1m, y 0.2m en el caso de las venas del contacto (Fig. 4-2), los conjuntos filonianos estudiados muestran una verticalización de las pendientes de las rectas de regresión, indicando una dimensión de espaciado más cercana a 1, y las distribuciones de espaciado se ajustan también mejor a distribuciones lognormales que a exponenciales negativas. La densidad de venas por metro, como era de esperar, es mayor en los filones ramificados del Dique, en el contacto con las aplitas (3.5 venas por metro, frente a 1 vena > 10mm por metro en la galería), si bien la diferencia fundamental es la potencia media de las venas, que en la galería, y debido a la presencia del Dique mineralizado es 73mm, frente a 8.3mm en las venillas de la Transversal en el contacto granito de El Berrocal/aplitas (Tabla II).

Dimensiones fractales y grupos filonianos sin mineralización conocida.

Se han estudiado varios conjuntos filonianos «estériles», o sin contenidos minerales conocidos en otras áreas, con objeto de comparar los caracteres geométricos de estos grupos sin mineralización con los sistemas filonianos mineralizados. Se ha podido constatar que la principal diferencia es en los valores de la D_i , que oscila entre 1.09 y 1.5. Por ejemplo, D_i varía entre 1.09 y 1.25 en los conjuntos filonianos intragraníticos de orientación NE-SW en la zona de Trujillo, Cáceres (9 de la Fig.1), o entre 1.02 y 1.22 en los filones no mineralizados, ramificados del Dique uranfíero de El Berrocal, y los filones estériles de La Codosera respectivamente (Figs. 4-2, Parte II

y 2-1, Parte I). Estos valores sugieren que se trata de sistemas filonianos poco conectados (Sanderson y Roberts com.pers.), producidos probablemente por fluidos locales, sin evidencia de flujo hidrotermal suficiente como para que se produzca una determinada concentración mineral, o con escaso contenido metálico.

Aportación del conocimiento de la fractalidad de las venas al estudio de los yacimientos filonianos. (Partes I y II)

La aportación del conocimiento de las dimensiones fractales al estudio de los sistemas filonianos, como parámetros de discriminación geométrica de grupos mineralizados, se puede sintetizar como sigue, teniendo en cuenta que el término dimensión no se utiliza en sentido topológico estricto, sino como índice o medida de un patrón geométrico en el espacio.

a) Dimensión de distribución de potencias de venas (D_i - Figs. 2, 3 y 4 -Parte I y Parte II-). Los valores de D_i para los diferentes conjuntos filonianos estudiados oscilan entre 0.5 y 1.0, para los sistemas mineralizados más ricos, y entre 1.02 y 1.5 para los sistemas con menores contenidos y estériles. Los valores de D_i obtenidos para los sistemas con mayores contenidos minerales están de acuerdo con los encontrados por Gumiel *et al.*(1992), Sanderson *et al.*(1994), y Gumiel & Sanderson (1994), para los grupos filonianos del área de La Codosera, que indicarían sistemas de venas conectados capaces de favorecer un fuerte drenaje de fluidos (alta permeabilidad) durante su desarrollo.

b) Dimensión de distribución de espacia-

do (D_s - Figs. 2, 3 y 4 -Parte I y Parte II-). Las distribuciones de espaciado generalmente se ajustan bien a distribuciones lognormales y exponenciales negativas. Las estimaciones de D_s dependen del intervalo considerado; en general, para un estrecho rango comprendido entre 0.1 y 1m, varían entre 0.5 y 0.9, lo que sugiere un moderado grado de agrupamiento. Por encima de 1.5-3m, la mayoría de los conjuntos filonianos estudiados muestra una verticalización de las pendientes de las rectas de regresión. Básicamente, para intervalos de longitud superior a 10m, la distribución de venas es más uniforme, en el sentido de que intervalos de esa longitud siempre van a contener venas. En intervalos comprendidos entre 1 y 10m la distribución es fractal, y por debajo de 1m hay una transición a $D_s=0$, lo que era de esperar, ya que hay una media aproximada de tan solo una vena por metro en muchas de las secciones estudiadas.

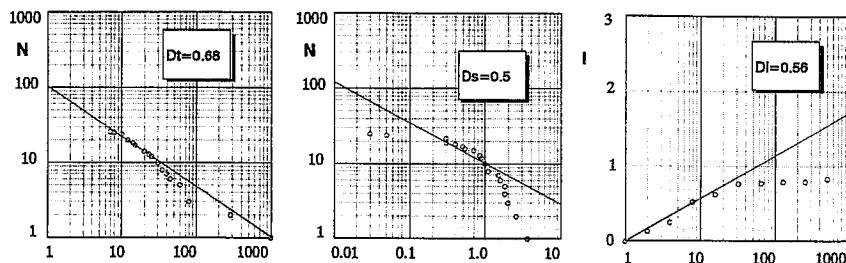
c) Dimensión de Información (D_i - Figs. 2, 3 y 4 -Parte I y Parte II-). Los resultados obtenidos apuntan a considerar que las distribuciones de los sistemas filonianos estudiados muestran siempre dimensiones de información ($D_i < 1$), comprendidas entre 0.53 y 0.9, lo que sugiere distribuciones de venas en grupos. En general, hay un mayor grado de agrupamiento (clustering) en los filones de cuarzo aurífero de Pino ($D_i=0.53$), en los uranfíeros de El Berrocal ($D_i=0.56$) y en las venas auríferas de La Codosera ($D_i=0.68$), que en los filones con W-Sn del área de Extremadura (La Parrilla, Trasquilón y Arroyomolinos) cuyos valores de D_i son muy constantes y más elevados ($D_i=0.9$), aunque siempre < 1 , lo que implica distribuciones predominantemente en agrupaciones (Gumiel *et al.* 1995).

Por otra parte, y donde ha sido factible (Tabla I), las dimensiones fractales obtenidas en el análisis unidimensional de conjuntos filonianos en Transversales, han sido contrastadas mediante un análisis bidimensional, calculando las siguientes dimensiones fractales: la dimensión de capacidad (D_c) por el método de «Contaje de Cajas» (Box-Counting) y la dimensión de masa (D_m), por el método de «Agregación de masa». Para lo cual, los conjuntos filonianos estudiados fueron digitalizados, bien sobre cortes realizados en las Transversales de muestreo sobre afloramientos, o bien a partir de fotografías seriadas de las secciones. (Ver descripción de ambos métodos en Gumiel *et al.* 1995).

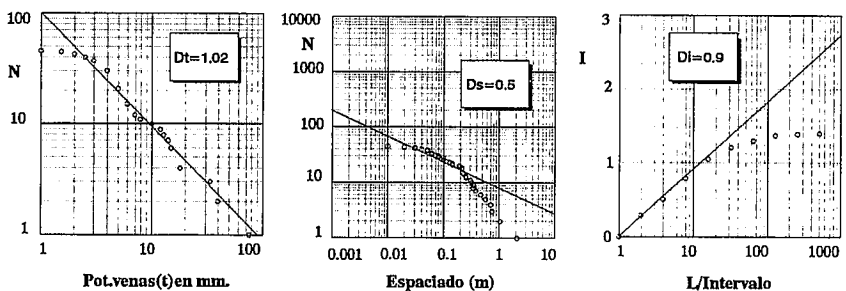
El método de «Agregación de masa» es una variante del anterior, y consiste en construir una serie de círculos, cuyo centro común se sitúa en el centro de un grupo de filones. En un gráfico bilogarítmico se comparan el número de centros geométricos de las trazas filonianas que hay en cada círculo, con los radios de los mismos, según la ecuación $N(r) \propto r^{-D}$, donde $N(r)$ es el número de centros de trazas de filones dentro de un círculo de radio r . De igual forma, la pendiente de la función, D , es la dimensión de masa del grupo de filones considerado y viene definida por $D_m = \log(N(r)/\log(1/r))$.

Los resultados obtenidos validan los mé-

1) Filones de cuarzo con óxidos de Uranio de El Berrocal (Galería)



2) Filones de cuarzo en el contacto del granito de El Berrocal/Dique aplítico



N= Frecuencia acumulada del número de venas.

Fig. 4.- Dimensiones fractales de filones de cuarzo uraníferos y estériles en El Berrocal, Toledo.

Fig. 4.- Fractal dimensions of uraniferous and barren quartz veins at El Berrocal, Toledo.

todos de análisis de venas en Transversales sobre afloramientos. En primer lugar, la dimensión de masa (D_m) coincide aproximadamente con la dimensión de información (D_i) obtenida para cada conjunto filoniano estudiado. En segundo lugar, la dimensión de capacidad (D_c) es aproximadamente el doble que la dimensión de información (D_i). Por otra parte, se puede interpretar que la distribución espacial de la mayoría de los conjuntos filonianos estudiados, o es típicamente fractal, o bien es en parte fractal, a la que se suma una cierta componente aleatoria en los espaciados (espaciados con distribuciones exponenciales negativas o lognormales). Esto sugiere la intervención periódica de procesos aleatorios en la localización de las venas, la cual puede ser debida a irregularidades de algunos conjuntos filonianos, a la influencia de las rocas encajantes, a la potencia de la serie estratigráfica en la que se desarrollan, o a la posición relativa de las venas con respecto a estructuras mayores (fallas, cizallas, pliegues etc.). Por último, es posible que estos sistemas naturales sean multifractales, línea que se pretende desarrollar en un próximo trabajo de investigación.

Con el desarrollo de este estudio, se tiene la evidencia de que las dimensiones fractales de los grupos filonianos mineralizados y estériles son diferentes.

El hecho de que estos grupos conectados de venas, de potencial interés metalogénico, puedan ser descubiertos por la dimensión fractal de distribución de potencias (valores de $D_c < 1$) supone un avance en la exploración de yacimientos filonianos. Los valores de $D_c < 1$ sugieren que en las venas más potentes (por encima de 10mm) se producen predominantemente procesos de dilatación, y estas venas pueden formar parte de una

red de fracturas interconectada y probablemente ligada a algún accidente tectónico de mayor rango (fallas o zonas de cizalla). Por el contrario, valores de $D_c > 1$ sugieren que en la distribución de las venas dominan las venas menos potentes (<10mm), lo que puede ser interpretado como que representan redes de fracturas poco conectadas, con escasa circulación de fluidos y poco potencial metalogénico.

Agradecimientos

Este trabajo pertenece al proyecto PB92-0314 que ha sido financiado por la DGICYT.

Referencias

Campos, R. ; Gumiel, P. y Pardillo, J.(1995.): *Bol.Geol.Min.*106-6, 503-516.
 Gonzalez Aguado, M.T. y Gumiel, P.(1984): *Bol. Geol. Min.* 95-4, 354-373.
 Gumiel, P.(1981): *Chron. de la Rech. Min.* 463, 5-26.
 Gumiel, P. (1984): *I cong. Español de Geol.* Tomo V, 183-216.
 Gumiel, P. y Pineda A. (1981): *Tecniterrae*, 39, 16-38.
 Gumiel, P.; Sanderson, D.J.; Roberts, S., y Campos, R.(1992): *Geogaceta*, 12, 3-7.
 Gumiel, P. y Campos R. (1993): *Geogaceta*, 13, 57-61.
 Gumiel, P., y Sanderson, D.J. (1994): *Bol. Geol.Min.*, 105-3, 263-271.
 Gumiel, P.; Campos, R.; Sanderson, D.J. y Roberts, S. (1995.): *Bol. Geol.Min.* 106-4, 316-337.
 Julivert, M.; Fontboté, J.M.; Ribeiro, A. y Conde, L.(1972): Instituto Geológico y Minero de España, 113p.
 Sanderson, D.J.; Roberts, S., y Gumiel, P.(1994): *Econ. Geol.* 89, 168-173.

| Estadística venas | Parrilla (B-I) | Trasquilán | Argosumilinos |
|--------------------------|----------------|------------|---------------|
| N° Venas | 112 | 60 | 74 |
| Longitud Transver.(m) | 93 | 34 | 37 |
| Orientación Transv. | N110°E | N108°E | N100°E |
| Rango Potencias (mm) | 1-400 | 6-500 | 2.5-136 |
| Suma Potencias (mm) | 4229 | 2714 | 1354.5 |
| Potencia Media (mm) | 37.75 | 45.23 | 18.3 |
| Densidad venas/m | 1.20 | 1.76 | 2.0 |
| % venas | 4.55 | 7.98 | 3.66 |
| Extensión | 0.048 | 0.087 | 0.038 |
| Cont. medio W (ppm) | 561.5 | 15.33 | 143.2 |
| Cont. medio Sn (ppm) | 881 | 645.5 | 379.6 |
| Cont. medio As (ppm) | 11124.5 | 455.5 | 4021.0 |
| Dimensiones Fractales | | | |
| D_i (distr.potencias) | 0.75 | 0.81 | 1.0 |
| D_c (distr.espaciados) | 0.7 | 0.58 | 0.61 |
| D_i (dim.información) | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| D_m (dim.masa) | 0.97 | 0.94 | 0.93 |
| D_c (dim.capacidad) | 1.84 | 1.82 | 1.82 |

Tabla I.- Características estadísticas, dimensiones fractales y contenidos metálicos de las mineralizaciones filonianas de W y Sn estudiadas. Análisis químicos realizados en el ITGE.

Table I.- Statistics characteristics, fractal dimensions and ore contents of the studied W, Sn mineralized veins. Chemical analysis performed at ITGE

| Estadística Venas | Alhali (Tramo T-II) | Alhali (Tramo T-3) | El Berrocal (Galería Alhali) | El Berrocal Venas estériles |
|--------------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|
| N° Venas | 18 | 24 | 26 | 46 |
| Longitud Transver.(m) | 14 | 37 | 26 | 12 |
| Orientación Transv. | N83°E | N115°E | N05°E | N180°E |
| Rango Potencias (mm) | 1.5-48 | 1-40 | 7-1000 | 1-75 |
| Suma Potencias (mm) | 244.5 | 307 | 1901 | 383.5 |
| Potencia Media (mm) | 13.58 | 12.79 | 73.11 | 8.34 |
| Densidad venas/m | 1.29 | 0.65 | 1.0 | 3.54 |
| % venas | 1.75 | 0.83 | 7.31 | 2.95 |
| Extensión | 0.018 | 0.008 | 0.079 | 0.03 |
| Dimensiones Fractales | | | | |
| D_i (distr.potencias) | 0.63 | 0.85 | 0.68 | 1.02 |
| D_c (distr.espaciados) | 0.98 | 0.9 | 0.5 | 0.5 |
| D_i (dim.información) | 0.88 | 0.9 | 0.56 | 0.9 |

Tabla II.- Características estadísticas y dimensiones fractales de las mineralizaciones filonianas de Uranio y Fosforita estudiadas.

Table II.- Statistics characteristics and fractal dimensions of the studied Uranium and Phosphorite quartz veins.