

Características de la geometría fractal de varios sistemas filonianos mineralizados del Macizo Hespérico. Su aplicación a la prospección. Parte I: Mineralizaciones de oro

Characteristics of the fractal geometry of several mineralized vein systems at the Hercynian Massif. Their application to prospectivity. Part I: gold mineralizations

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

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

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

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

ABSTRACT

This work is an attempt to characterize different vein sets with Au (Part I), and 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. The fractal characteristics of the veins have been established with regard to the following fractal dimensions; vein thickness distribution dimension (D_t), spacing dimension (D_s) and information dimension (D_i). Vein thicknesses generally conform to a power law distribution of the form $N_t = C \cdot t^{-D_t}$, where N_t is the number of veins with a thickness $> t$. D_t values are in the range of 0.5 to 1.0, which correspond to the higher metal contents. This indicates systems of connected veins capables of supporting high fluid flux during their development. However D_t values in the range of 1.02 to 1.5 correspond to the unmineralized vein sets representing poorly connected fracture-networks. The application of this methodology may play an important role in prospectivity of vein-type deposits.

Key words: Fractal, geometry, veins, mineralization, gold, fractures, connectivity, prospectivity.

Geogaceta, 20 (6) (1996), 1397-1400
ISSN:0213683X

Introducción

Un fractal es un objeto o proceso que muestra similares características a diferentes escalas, por consiguiente, es invariante al cambio de escala. Muchos fenómenos naturales son fractales y una consecuencia importante de dicha fractalidad es que se puede obtener información a una determinada escala que sea de interés para otra. Generalmente, tales propiedades siguen distribuciones hiperbólicas, donde la propiedad (P) está relacionada con el tamaño (t) mediante una ecuación $P = C \cdot t^{-D}$, y el exponente D, es frecuentemente la dimensión fractal del sistema. Dimensión fractal (D), en sentido genérico, es un número que sirve para cuantificar el grado de irregularidad y fragmentación de un conjunto geométrico, o de un objeto u objetos naturales.

Las investigaciones preliminares realizadas en el área de La Codosera demostraron la posibilidad de relacionar la simple medida de espesores de las venas con la ley mineral (Gumiel *et al.* 1992, Sanderson *et al.* 1994) (Gumiel y Sanderson 1994). Una hipótesis desarrollada en este trabajo, para otros yacimientos filonianos del Macizo Hespérico, tiene en consideración como evoluciona un sistema filoniano. En una masa rocosa se desarrollan fracturas de extensión, a partir de microfisuras, las cuales crecen y se interconectan hasta formar un sistema filoniano. Algunos conjuntos de microfisuras permanecen como grupos locales "aislados" que quedan desconectados en la masa rocosa, mientras que otros

se interconectan, proporcionando conductos idóneos para el flujo de fluidos.

Aquí se presenta un resumen de los resultados obtenidos al relacionar la organización geométrica de los sistemas filonianos estudiados, en base a sus diferentes dimensiones fractales, con su contenido metálico en Au, (Parte I) y W, Sn, U y P (Parte II).

Se ha comprobado que la potencia de las venas, generalmente sigue distribuciones hiperbólicas, que pueden ser interpretadas en términos de escalado autoafín de la geometría de las venas. Conjuntos de venas con diferente potencial mineral (aurífero en el área de La Codosera) difieren en sus parámetros escalares D y C, en la relación $N_0 = C \cdot t^{-D}$, donde N_0 es el número de venas con potencias mayores que t, D es la dimensión de distribución de potencias y C es una constante de proporcionalidad que depende del número de venas. En general, aquellos conjuntos de venas con $D \cdot \phi < 1$ y mayor C, tienen mayores contenidos en oro.

Caracteres geológicos y metalogénicos de los principales grupos filonianos estudiados.

Las áreas seleccionadas en las que se han estudiado las características geométricas de algunos sistemas filonianos con diferentes sustancias minerales son las siguientes (Fig. 1):

- Área NO del Macizo Hespérico Zona de Tomiño, Pontevedra. Filones con mineralización

de oro asociados a la Zona de Cizalla de Vilachán do Monte.

- Área central de la Zona Centroibérica. Pino, Zamora. Filones con mineralización de oro asociados a la Zona de Cizalla de Villalpando.

- Zona Centroibérica en Extremadura. Flanco sur del Sinclinal de La Codosera (Badajoz). Filones con mineralización de oro asociados a la Zona de Cizalla de la Codosera. Sector Central de La Codosera-San Vicente de Alcántara.

Grupos filonianos en rocas metamórficas (Parte II).

Filones con mineralización de scheelita/casiterita en el CEG (Complejo Esquistó-Grauváquico del Precámbrico Superior). Mina de La Parrilla, Cáceres.

Filones intragraníticos con mineralización de casiterita y/o wolframita (Parte II). El Trasmorquión y Arroyomolinos de Montánchez (Cáceres).

Mineralizaciones de Uranio y fosforita en Albalá, Cáceres - Parte II.

Grupos filonianos intragraníticos estériles (Trujillo, Cáceres - Parte II).

- Sistema Central. Las mineralizaciones de Uranio intragraníticas de El Berrocal, Toledo - Parte II.

Filones intragraníticos de oro asociados a zonas de cizalla.

Área de Tomiño, Pontevedra: Los conjuntos filonianos intragraníticos del área de Tomiño

(Pontevedra) están situados en el dique de Urgal, el cual se trata de un cuerpo granítico tabular, de dirección aproximada N-S, de unos 10 km de longitud y subparalelo a las estructuras regionales. La mayoría de los filones se sitúan en la parte central del dique (Alto de Pozas), tienen orientaciones NE-SW (comprendidas entre N60-80°E y N10-40°E), buzando entre 45° y subverticales. La potencia de las venas varía entre milimétrica y métrica (Urbano *et al.* 1992, Urbano 1994). La mineralización está constituida por arsenopirita y oro, con contenidos que oscilan entre 0.2 y 30 ppm localmente.

Área de Pino, Zamora: El área de Pino está situada al Oeste de la Provincia de Zamora, y a diferencia de la anterior, y de la zona de La Codosera, que su situación geoestructural es en las zonas externas de la Zona Centroibérica, Pino se sitúa en la parte interna de dicha Zona. En Pino las venas auríferas están relacionadas con fracturas de cizalla de segundo orden, de orientaciones comprendidas entre N30°E y N60-70°E, con longitudes entre 1500 y 3500m. Las venas se desarrollan sobre un abanico extensional que se considera que puede ser la terminación NW de la Cizalla de Villalcampo (Gonzalez Clavijo *et al.* 1993, 1994), la cual consiste en una zona de cizalla de dirección N 135°E, con 40 Km de longitud y 2 Km de anchura. Las venas auríferas encajan en el granito de Ricobayo. Los filones rellenan fracturas de cizalla dextrales y sinistralas que se desarrollan a favor de planos de una fábrica C/S más temprana, originada como consecuencia de una fase de deformación dúctil del granito de Ricobayo.

Filones de oro en rocas paleozoicas, asociados a zonas de cizalla. Área de La Codosera, Badajoz.

Se ha elegido la zona aurífera de La Codosera (Badajoz) como representante de conjuntos filonianos con mineralización de oro en rocas

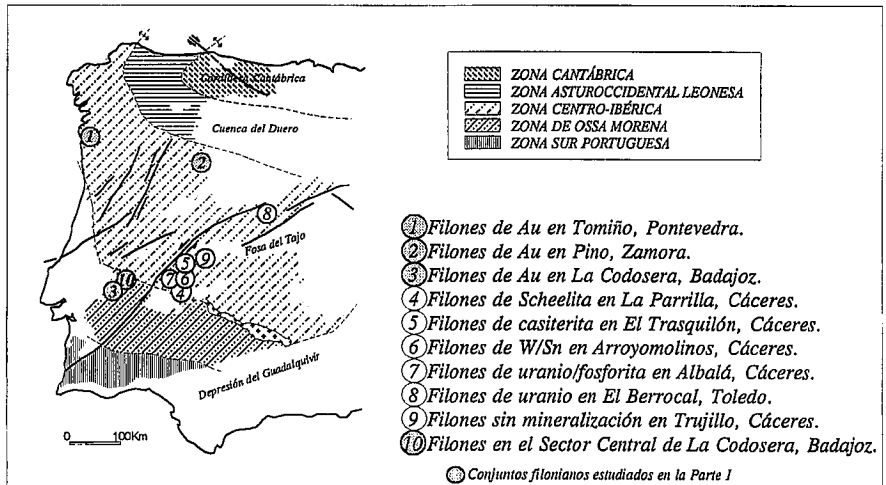


Fig. 1.- Situación de los sistema filonianos estudiados. (Zona según Julivert *et al.* 1972)

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

paleozoicas, asociados a una zona de cizalla, la Zona de Cizalla de la Codosera que forma parte de una estructura de mayor rango (La zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba, límite meridional de la Zona Centroibérica con Ossa Morena). El área de La Codosera ha tenido un desarrollo histórico de minería de oro desde los Romanos, y en ella el ITGE ha llevado a cabo varios programas de exploración. La mineralización aurífera se presenta principalmente en filones irregulares encajados en alternancias de cuarcitas y pizarras del Devónico Inferior-Medio. Los contenidos de oro generalmente no sobrepasan 10-12 g/t, aunque localmente se encuentran contenidos de hasta 25-30 ppm de Au, y las potencias de los filones suelen ser decimétricas y métricas.

La mayoría de las labores filonianas se sitúan en las proximidades de fallas de extensión, con fuertes buzamientos, post-fase principal de

plegamiento y esquistosidad, asociadas con un régimen de deformación transpresivo a lo largo del margen de una zona de cizalla crustal (la zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba). (Sanderson *et al.* 1991)(Roberts *et al.* 1991)

La tipología de los yacimientos (Gumiel 1991, Gumiel *et al.* 1991) establecida en base a la geometría de las estructuras mineralizadas, ha sido muy útil en la exploración minera de la región.

Dimensiones fractales utilizadas en la caracterización de los conjuntos filonianos estudiados. Estimación de la Dimensión de información (D_i).

Se elaboró un plan de trabajo con objeto de sistematizar la toma de datos en cada conjunto filoniano seleccionado y facilitar la realización de estudios estadísticos de cada sistema, así como su comparación y tratamiento informático. La metodología de estudio puede verse en Gumiel y Sanderson (1994), y puede tener una gran repercusión en la exploración futura de yacimientos de tipo filoniano.

Se ha podido constatar que las relaciones geométricas de la mayoría de los sistemas filonianos estudiados tienen distribuciones fractales, de forma que los diferentes conjuntos filonianos quedan bien caracterizados por sus dimensiones fractales, en particular por la dimensión de información (D_i). Para cada conjunto filoniano estudiado se ha empleado una representación gráfica (Figs. 2 a 4, Parte I y 2 a 4, Parte II), en la que se presentan, mediante gráficos bilogaránticos, las tres dimensiones fractales de las distribuciones mas representativas, de potencias (D_p), de espaciado (D_s) y de información (D_i), siendo t la potencia de las venas, s el espaciado intervenas y N el número de venas.

Una relación fractal se manifiesta como una distribución de tipo hiperbólico, con una recta de ajuste (regresión) en los diagramas bilogaránticos (Figs. 2, 3 y 4 -Parte I- y 2, 3 y 4 -Parte II-). Este análisis está sujeto a restricciones de muestreo, con un efecto de límite inferior (truncación) de valores pequeños de potencia o espaciado. Generalmente, se traduce en la "falta" de datos de

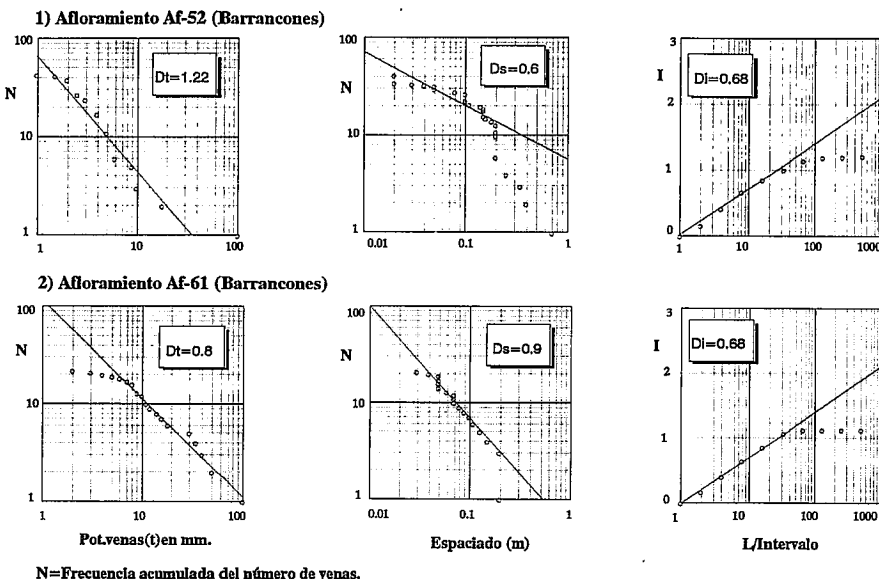
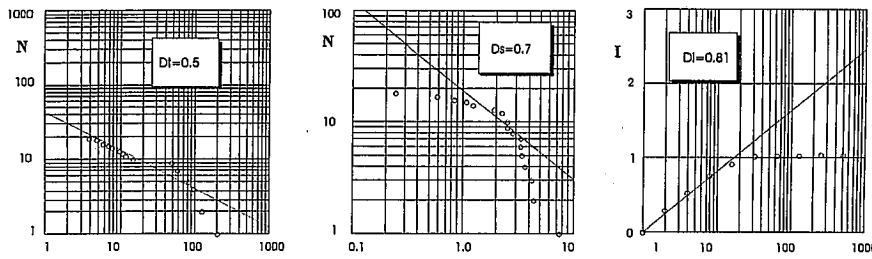


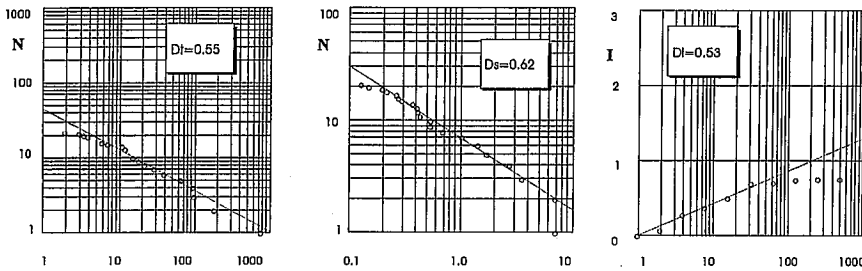
Fig. 2.- Dimensiones fractales de venas de cuarzo aurífero, La Codosera (Badajoz). (3 en fig. 1 explicacion en ekl texto).

Fig. 2.- Fractal dimension of auriferous quartz veins at La Codosera (Badajoz). (3 in fig. 1 see text for explanation).

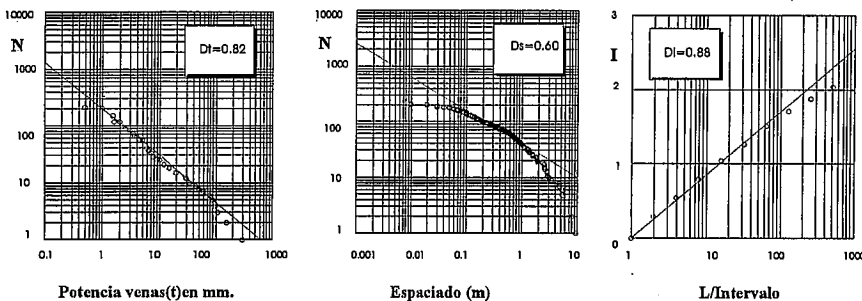
1) Filones de cuarzo aurífero en el dique de Urgal, Tomiño (1 en Fig.1)



2) Filones de cuarzo aurífero en Pino, Zamora (2 en Fig.1)



3) Sondeo 15. Longitud 157m. Pino, Zamora (2 en Fig.1)



N= Frecuencia acumulada del número de venas.

Fig. 3.- Dimensiones fractales de Venas de Q-Au en Tomiño (Pontevedra) y Pino (Zamora).

Fig. 3.- Fractal dimension of Q-Au in Tomiño (Pontevedra) and Pino (Zamora).

aquellas venillas muy finas y próximas, efecto que sucede entre 1 y 5mm de potencia (desviación de la recta de regresión en los diagramas). La longitud finita de las Transversales (hasta un máximo de 90-100m) introduce otro efecto de límite superior (censoring) de aquellos valores grandes (potencias o espaciados grandes), cuya probabilidad de muestreo es baja. Censoring y truncación han sido corregidos utilizando los métodos desarrollados por Pickering *et al.* (inédito).

La dimensión de información (D_i) se considera que es la que proporciona una información más completa de la geometría de las venas en las Transversales, pues tiene en cuenta tanto las venas como los espaciados intervenas. Es una extensión del método de contaje de intervalos, y se obtiene una medida de la distribución del "material de las venas" en intervalos de distinta longitud, a lo largo de la Transversal considerada (ver desarrollo del método en Gumiel *et al.* 1995).

Los datos obtenidos, que caracterizan formalmente cada conjunto filoniano estudiado, se presentan en las Tablas (I y II -Parte I y Parte II-), en las que de forma rápida, se pueden observar y comparar parámetros estadísticos de cada conjunto de venas estudiadas.

A continuación, se presentan las principales características geométricas de los sistemas filonianos estudiados, destacando la importancia de los parámetros más significativos de cara a su discriminación. Se resalta la importancia de las dimensiones fractales, la densidad de venas por metro y las potencias de las mismas. Se hace un resumen comparativo de los diferentes conjuntos seleccionados, y se relacionan los parámetros fractales con el contenido metálico específico de cada grupo filoniano estudiado. Los resultados obtenidos de los grupos filonianos mineralizados se han comparado con otros que no tienen mineralización conocida (ver Parte II), y se contrastan las dimensiones obtenidas, en base al análisis unidimensional llevado a cabo en el estudio de venas en Transversales, con otros métodos bidimensionales.

Dimensiones fractales y mineralizaciones de Oro

En el área de La Codosera se han seleccionado dos afloramientos Af-52 y Af-61, en el área denominada Casa de La Niña-Barrancos (Fig. 2-1 y 2-2), con objeto de contras-

tar los primeros resultados obtenidos en el estudio de afloramientos y sondeos (Gumiel *et al.* 1992, Gumiel y Sanderson 1994, Sanderson *et al.* 1994), con los obtenidos en este trabajo. De igual forma, se ha podido constatar que mayor contenido en oro se correlaciona con menor dimensión de distribución de potencias. $D_i < 1$ (oscilando entre 0.5 y 1.0) en aquellos conjuntos filonianos con mayor contenido en oro. $D_i = 0.8$ en el afloramiento Af-61, que tiene un contenido medio en Au de 2.47ppm (Fig. 2-2, Tabla I). $D_i > 1$ (entre 1.20 y 1.38) en los conjuntos con menor contenido en oro. $D_i = 1.22$ en el afloramiento Af-52, que tiene un contenido medio en Au de 0.06ppm (Fig. 2-1, Tabla I).

De forma similar, $D_i = 0.5$ para los conjuntos filonianos con mayor contenido en Au (contenido medio 4.2 ppm de Au en el alto de Pozas, en el dique de Urgal, Tomiño (Fig. 3-1), y D_i con valores entre 0.55 y 0.82 en la Transversal de superficie y en el Sondeo-15 respectivamente, en Pino, Zamora (Fig. 3-2 y 3-3), con contenidos medios de 0.12 ppm de Au en la Transversal, y 0.38 ppm de Au en el sondeo 15 (ITGE 1992).

Las distribuciones de espaciado, generalmente se ajustan bien a distribuciones lognormales y exponenciales negativas. Las estimaciones de D_ϕ dependen del intervalo considerado; para un estrecho rango comprendido entre 0.1 y 1m, varían entre 0.6 y 0.9, tal es el caso de la Transversal de Pino (Zamora), donde la distribución de espaciados es fractal, con un valor de $D_\phi = 0.62$ (Fig. 3-2), muy constante en un intervalo comprendido entre 0.1 y 10m, lo que por otra parte 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, indicando una dimensión de espaciado próxima a 1. En los afloramientos estudiados de La Codosera el rango de espaciados varía entre 0.01 y 1m, y muestra valores de D_ϕ que están comprendidos entre 0.6 y 0.9 (Fig 2-1 y 2-2).

Las dimensiones de información (D_i) son < 1 en las tres zonas (Figs. 2 y 3, Tabla I). $D_i = 0.81$ en Urgal, $D_i = 0.88$ en Pino (Sondeo 15) y $D_i = 0.68$ en la Codosera, lo que implica distribuciones de venas en grupos, siendo mayor el grado de agrupamiento en las venas de los afloramientos estudiados en La Codosera, y en la Transversal de Pino ($D_i = 0.53$, Fig. 3-2).

La densidad de venas por metro es muy elevada en las tres áreas, y consiguientemente el % de venas y la extensión, especialmente en los afloramientos de La Codosera, llegando a alcanzar hasta un 13.5% en el afloramiento Af-61. La diferencia principal es la potencia de las venas, que es superior en los filones aflorantes medidos en la Transversal de Pino (potencia media 64.57mm), y en los filones del alto de Pozas, en el dique de Urgal (Tomiño), con una potencia media de 48.84mm. En los afloramientos de la Codosera se verifica que en el que tiene mayores contenidos de oro (Af-61), la potencia media de las venas es superior (18.45mm) a la potencia media de las venas (6 mm) del Af-52, que es el que presenta bajos contenidos de oro (Tabla I).

Filones de cuarzo en el Sector Central de La Codosera, Rocita (10 en Fig.1)

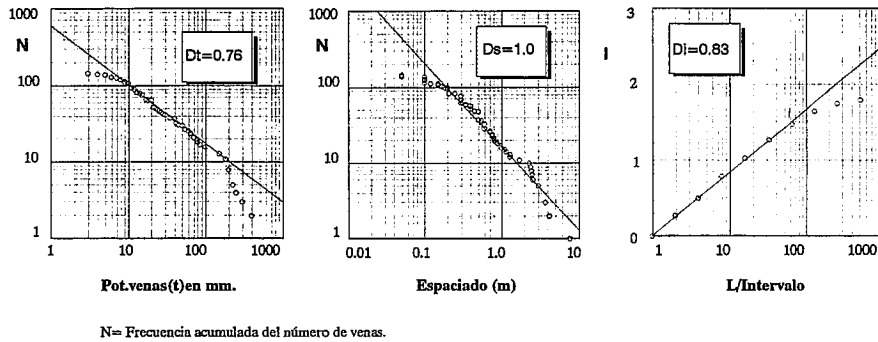


Fig. 4.- Prospección en base a la geometría (fractalidad) de las venas.

Fig. 4.- Prospectivity on the basis of fractal geometry of vein systems.

Prospección de yacimientos filonianos en base a datos de geometría y fractalidad de los conjuntos de venas

Uno de los objetivos concretos de este estudio es la utilización de esta técnica en la prospección de mineralizaciones filonianas. La aplicación de esta metodología de bajo costo, que puede tener importancia en la localización de grupos de filones mineralizados, puede ser de gran interés en la exploración futura de yacimientos filonianos. En base al conocimiento de los parámetros geométricos, de las características de la distribución de las venas y de la estimación de las diferentes dimensiones fractales de dicha distribución, se trata de predecir si el conjunto, o conjuntos de filones estudiados, pueden o no ser susceptibles de presentar contenidos minerales de interés económico, cuya comprobación y valoración necesitará obviamente de los métodos tradicionales de estudio (calicatas, sondeos etc.).

Como validación del método, se han estudiado las características de un grupo de filones en el Sector Central de La Codosera (10 de la Fig.1), en el paraje denominado Convento Rocita. Las venas han sido muestreadas en una sección, Transversal de dirección N180° y 82m de longitud, en la Carretera que une La Codosera y San

Vicente de Alcántara. Este conjunto de venas no se conoce que tenga mineralización. Del estudio de estas venas se puede concluir lo siguiente (Fig. 4); la dimensión de distribución de potencias filonianas ($D_t=0.76$) es idónea como para que, al menos parte de los filones de esta sección pudieran tener algún contenido mineral. Para un intervalo de potencias comprendido entre 10 y 100 mm, la potencia de las venas sigue distribuciones hiperbólicas, que pueden ser interpretadas en términos de escalado fractal. La curva de regresión se verticaliza para venas con potencias superiores a 200 mm. Por otra parte, la dimensión de información ($D_i=0.83$) es muy parecida a la que presentan los sistemas filonianos mineralizados que han sido estudiados en este trabajo. La diferencia fundamental con los anteriores es que para intervalos de espaciado comprendidos entre 0.1 y 1 m, la dimensión de espaciado es 1, es decir, mas elevada que la que tenían los sistemas anteriores en este mismo intervalo, pero con una curva de regresión con buen ajuste, son correlacionables con los de los sistemas filonianos mineralizados que han sido estudiados (Tabla II).

Por consiguiente, las características geométricas de este conjunto de filones sugieren el desarrollo de un sistema bien conectado de venas, con potencial para que haya existido una importante circulación de fluidos. Es decir, las propiedades físicas del sistema reúnen condiciones como para que, de existir una fuente de metales y condiciones idóneas para que se produzca la precipitación de los mismos, este sistema filoniano pueda tener contenidos minerales de interés. Por esta razón, y en base a la fractalidad de su organización geométrica, se recomendaría un muestreo detallado de los filones para comprobar esta hipótesis.

Agradecimientos

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

Referencias

Gonzalez Clavijo, E.; Diez-Balda, M.A. y Alvarez F. (1993): *Geol. Rundsch.*, 82, 448-460
 Gonzalez Clavijo, E.; Ortega, C.; Florido, P. y Locutura, J.(1994): *Bol.Geol.Min.*, 105-2, 178-189.
 Gumiel, P. (1991): *International Congress on Applied Mineralogy, ICAM'91*. Vol.1 paper 20, Pretoria (South Africa).
 Gumiel, P.; Antón-Pacheco, C. y Campos, R.

Sector Central La Codosera	
Nº Venas	145
Longitud Transver.(m)	37
Orientación Transv.	N180°E
Rango Potencias (mm)	3-400
Suma Potencias (mm)	5933
Potencia Media (mm)	40.92
Densidad venas/m	1.77
% venas	7.23
Extensión	0.078
Dimensiones Fractales	
D_t (distr.potencias)	0.76
D_s (distr. espaciados)	1.0
D_i (dim.información)	0.83
D_m (d.masa/Levy-Lee)	0.9
D_c (dim.capacidad)	1.96

Tabla II.- Prospección de grupos filonianos sin mineralización conocida en el Sector Central de La Codosera (Carretera de La Codosera- San Vicente de Alcántara), en base a su geometría fractal.

Table II.- Prospectivity of vein systems with not known mineralization in the Central Ridge at La Codosera (La Codosera-San Vicente de Alcántara road), on the basis of their fractal geometry.

eds. (1991): Publicaciones especiales, *Bol.Geol.Min.*, 109 pp.
 Gumiel, P.; Sanderson, D.J.; Roberts, S., y Campos, R.(1992): *Geogaceta*, 12, 3-7.
 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.
 ITGE (1992): *Investigación de detalle en el área de Pino (Zamora)*. Informe inédito. Instituto Tecnológico Geominero de España, Noviembre 1992.
 Julivert, M.; Fontboté, J.M.; Ribeiro, A. y Conde, L.(1972): *Memoria y Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares*. Instituto Geológico y Minero de España, 113p.
 Pickering, G.; Bull, J.M., y Sanderson, D.J. (inédito): *Enviado para publicación a Tectonophysics*.
 Roberts, S.; Sanderson, D.J.; Gumiel, P. y Dee, S.(1991): *Econ. Geology* 86, 1012-1022.
 Sanderson, D.J.; Roberts,S.;McGowan,J.A. y Gumiel, P. (1991): *Journ.Geol.Soc.London*. 148, 893-898.
 Sanderson, D.J.; Roberts, S., y Gumiel, P.(1994): *Econ. Geol.* 89, 168-173.
 Urbano, R.; Toyos, J.M. y Asensio, B. (1992): *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 17, 341-348.
 Urbano, R. (1994): *Bol.Geol.Min.*, 105-6, 537-549.

Estadística venas	Cerro AIS2 Codosera	Cerro AI01 Codosera	Urgal Tumbón	Pino (Francia)	Sancti Pini IS
Nº Venas	43	22	19	22	212
Longitud Transver.(m)	7	3	49	31	157
Orientación Transv.	N150°E	N140°E	N180°E	N100°E	---
Rango Potencias (mm)	1-100	2-100	4-210	2-770	0.5-300
Suma Potencias (mm)	258.5	406	928	1420.5	1740.7
Potencia Media (mm)	6.01	18.45	48.84	64.57	8.21
Densidad venas/m	6.14	7.33	0.39	0.71	1.35
% venas	3.69	13.53	1.89	4.58	1.11
Extensión	0.038	0.157	0.019	0.048	0.011
Cont. metal Au (ppm)	0.06	2.47	4.2	0.12	0.38
Dimensiones Fractales					
D_t (distr.potencias)	1.22	0.8	0.50	0.55	0.82
D_s (distr. espaciados)	0.6	0.9	0.7	0.62	0.60
D_i (dim.información)	0.68	0.68	0.81	0.53	0.88

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

Table I.- Statistics characteristics, fractal dimensions and ore contents of the studied gold vein systems. Analysis performed at ITGE.