

## LITOLOGIA, TECTONICA Y MINERALIZACION DEL YACIMIENTO FE, SAELICES EL CHICO, SALAMANCA<sup>1</sup>

F. COMA MOLIST \*

**RESUMEN.**— El yacimiento FE está ubicado en metasedimentos del Macizo Hespérico, dentro de la Zona Centro-Ibérica. Los metasedimentos consisten principalmente en filitas, areniscas, cuarcitas anfibólicas y conglomerados. Sus estructuras sedimentarias indican que se trata de una secuencia turbidítica.

Existen dos fases principales de deformación que producen fuerte plegamiento en todo el área. Los planos axiales respectivos tienen orientaciones medias de N5°W, 35° a 65°W para el primer episodio de plegamiento y N80°E, 70°N para el segundo. Acompañando a ambas generaciones de pliegues se desarrollan dos esquistosidades.

La intensa fracturación posterior quedó condicionada por las zonas de debilidad de los pliegues, adaptándose a S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub>, aprovechando las superficies de anisotropía que estos planos crean. Las fallas han rejugado repetidamente hasta tiempos recientes.

La mineralización se encuentra en las brechas y en filones en relación con estas fallas. Las mineralizaciones primarias pertenecen a la paragénesis: sulfuros de hierro, pechblenda-cofinita, carbonatos. Esta asociación se presenta en forma de filones cuya potencia puede variar de unos milímetros a 20 cm. Las estructuras y texturas observadas en la mineralización se pueden atribuir a un proceso hidrotermal relacionado con la actividad sísmica que tuvo lugar en el zócalo hercínico al dar comienzo la orogenia alpina.

**SUMMARY.**— The uranium FE deposit is located in the metasediments of the Hesperic Massif. The local lithological column corresponds to a turbiditic sequence.

The intense late hercynian fracturation network was conditioned, mainly, by two hercynian folding phases, both developing strong folding and schistosity in the whole area.

The mineralisation occurs in veins of up to 20 cm of thickness filling the openings of the network. The paragenesis consists of iron sulphides, pitchblende-coffinite and carbonates. Considering its texture, structures and some datings of the pitchblende, the mineralisation is thought to be hydrothermal and related to seismic activity of alpine age.

<sup>1</sup> Este trabajo no fue leído en las sesiones de la VIII Reunión de geología del Oeste Peninsular.

\* Servicio de Geología de Mina FE

## INTRODUCCION

El yacimiento de uranio FE está situado 8 km al NW de Ciudad Rodrigo, Salamanca (Fig. 1). Es el mayor conocido en la Península Ibérica. Fué descubierto por la Junta de Energía Nuclear en 1957 y puesto en explotación por la Empresa Nacional de Uranio, S.A. en 1974, con una producción anual actual de 200 Tm de  $U_3O_8$ . En este trabajo se establece la columna litológica local, la sucesión de eventos tectónicos y su relación con el yacimiento, y la mineralización filoniana.

## LITOLOGIA

El yacimiento FE está ubicado en metasedimentos del «Complejo Esquisto Grauváquico», del Macizo Hespérico, dentro de la Zona Centro Ibérica (Julivert et al. 1972). La mayoría de autores aceptan para estos sedimentos una edad cámbrica inferior-precámbrica superior (Parga y Vegas, 1972).

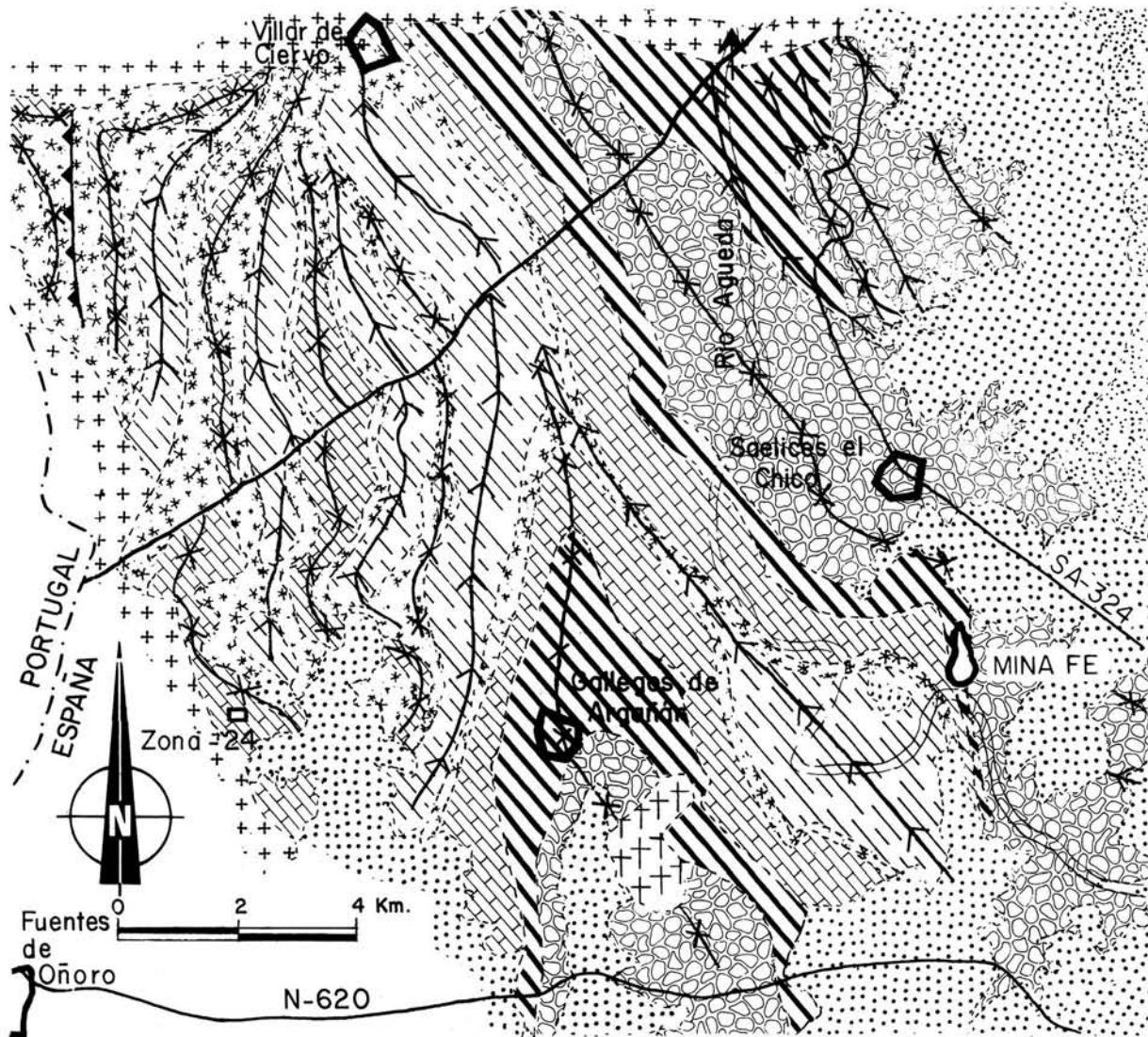
Las rocas encajantes del yacimiento han sufrido un metamorfismo regional, en la facies de los esquistos verdes, estando presentes las siguientes asociaciones minerales:

- Cuarzo, albita, sericita, moscovita, clorita, biotita.
- Cuarzo, epidota, actinolita, tremolita.
- Cuarzo, biotita, granates.

La columna litológica local ha sido levantada en dos perfiles: AA' en Fe-3 y BB' en Fe-1 (Fig. 2).

La primera parte, y la más antigua, AA', consta de abajo a arriba (de W a E) de:

- 65 m Alternancias decimétricas de cuarcitas y cuarzo filitas con laminaciones milimétricas de cuarcita.
- 55 m Alternancias decimétricas a centimétricas de cuarcitas, cuarzo filitas y filitas cuarzo sericíticas laminadas. Cerca de la base y hacia la mitad de este miembro existen dos capas decimétricas de anfibolita. Hacia el techo hay intercalaciones métricas de filitas cuarzo carbonosas y filitas sericíticas.
- 60 m Filitas cuarzo sericíticas laminadas bandeadas en la base; éstas alternan después con capas métricas de filitas cuarzo carbonosas. Ocasionales capas de cuarzo filitas sericíticas y anfibolita.
- 50 m Alternancias métricas de filitas cuarzo sericíticas y filitas cuarzo carbonosas con granates. En la parte alta alternancia de areniscas y areniscas feldespáticas (Fig. 3).



- ← Anticlinal.    × Sinclinal.    — Falla.
- Coluviones antiguos.
  - Terciario: areniscas, conglomerados y calizas.
  - Conglomerados, filitas cuarzo-sericíticas/cuarcitas y filitas bandeadas.
  - Alternancia de filitas oscuras y filitas cuarzo-sericíticas con intercalaciones de cuarcitas.
  - Alternancia de filitas y cuarcitas con niveles anfibólicos. Rocas carbonatadas.
  - Alternancia de filitas ampelíticas/filitas cuarzo-sericíticas y cuarcitas anfibólicas.
  - Alternancia de filitas cuarzo-sericíticas / filitas ampelíticas y cuarcitas oscuras.
  - Granitos y granodioritas porfídicos biotíticos de grano medio a grueso.
  - Granito de dos micas homogéneo grano medio.



Figura 1: Mapa geológico regional y situación de MINA FE. (E.N.U.S.A. - I.G.A., 1980-83).

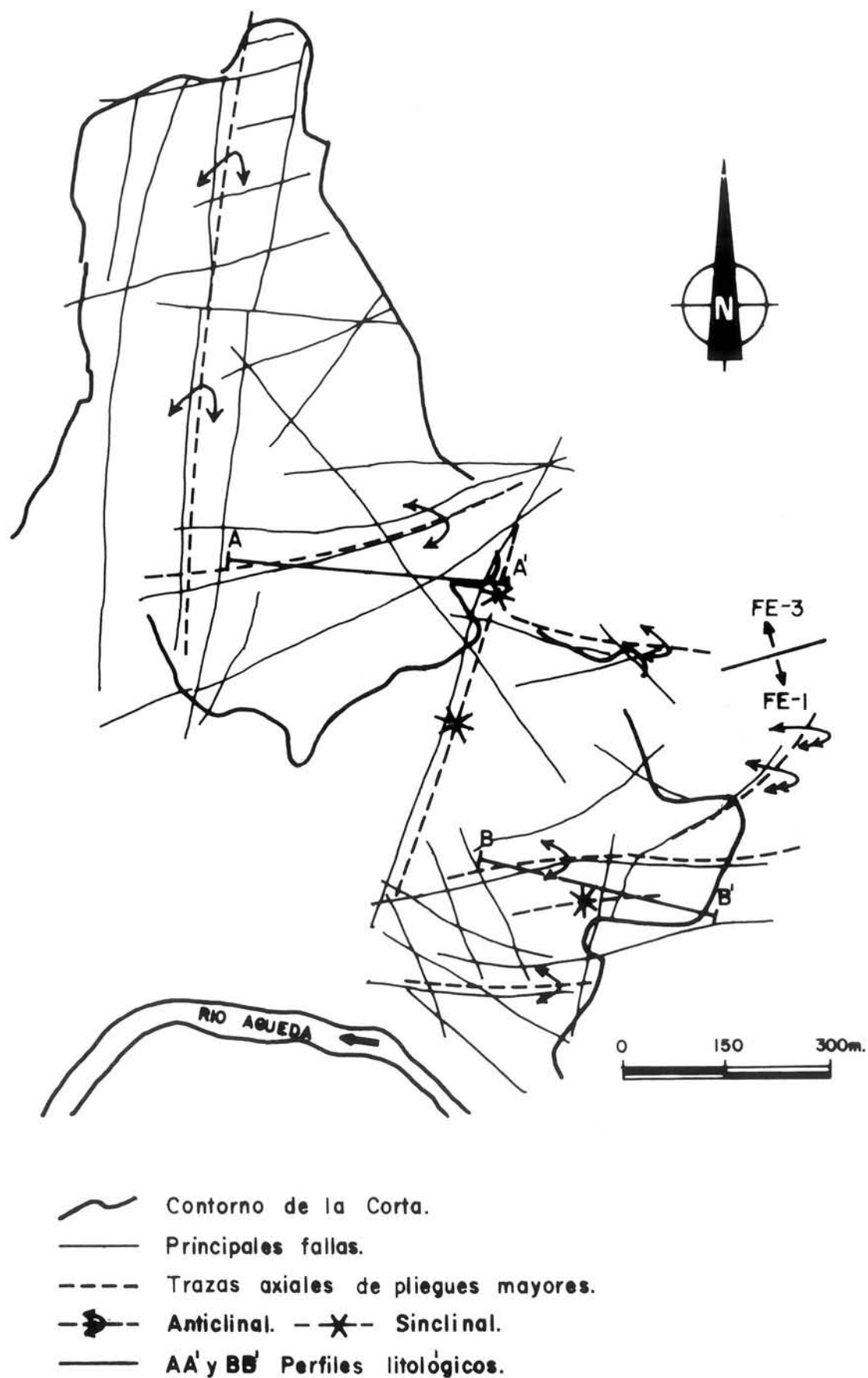


Figura 2: Esquema de MINA FE.

45 m Filitas sericíticas en capas laminadas y homogéneas.

En esta secuencia los sedimentos más gruesos están en la base y los más finos a techo constituyendo una secuencia positiva. Se han reconocido en las capas numerosas estructuras internas del tipo de granoclasificación, laminación paralela, laminación cruzada y «convoluted», dispuestas generalmente de acuerdo con la secuencia de estructuras internas que Bouma estableció para sedimentos turbidíticos (Fig. 3). Apoyando este origen se observan también marcas de corriente en el muro de las capas.

La columna litológica continúa con una secuencia negativa, perfil BB', (Fig. 2), correspondiente al flanco invertido de un pliegue de 1ª fase y desde la base B, consta de:

- Alternancias centimétricas de filitas sericíticas laminadas, bandeadas, grises y grises oscuras.
- 10 m filitas carbonosas.
- 95 m alternancias rítmicas centimétricas a decimétricas de filitas sericíticas laminadas, bandeadas, con otros términos más potentes de filitas sericíticas homogéneas, grises a grises oscuras, con intercalaciones de filitas cuarzo sericíticas hacia el techo.
- 70 m Alternancias rítmicas centimétricas de filitas sericíticas grises y filitas carbonosas con intercalaciones, hacia el techo, de cuarcitas y de alternancias centimétricas de cuarcitas laminadas, areniscas feldespáticas y filitas cuarzo sericíticas gris oscuras. Con esporádicos budines decimétricos de anfibolita.
- 15 m Alternancias centimétricas de cuarcitas y filitas cuarzo-carbonosas.
- 15 m Alternancias de cuarcitas laminadas decimétricas y filitas sericíticas centimétricas.
- 45 m Alternancias decimétricas de cuarcitas laminadas bandeadas y cuarzo filitas gris azuladas. Cerca del techo existe una «brecha» sedimentaria calcárea con poca matriz y sin venas de caliza. Por deformación los cantos son subelípticos y su medida máxima es de unos 7 cm.
- 4 m Conglomerado de cantos líticos milimétricos-centimétricos de cuarzo, cuarcita y feldespatos. La matriz es escasa y originalmente arcillosa.

En este tramo los sedimentos más finos están en la base, los arenosos en la parte media y los conglomerados a techo. En la base de las capas son frecuentes las estructuras de corriente y de «tool marks». En los términos arenosos y cuarcíticos son muy comunes, como en la columna litológica AA', granoclasificación, laminaciones paralelas, cruzadas y «convoluted». Esta secuencia, es, pues, turbidítica negativa.

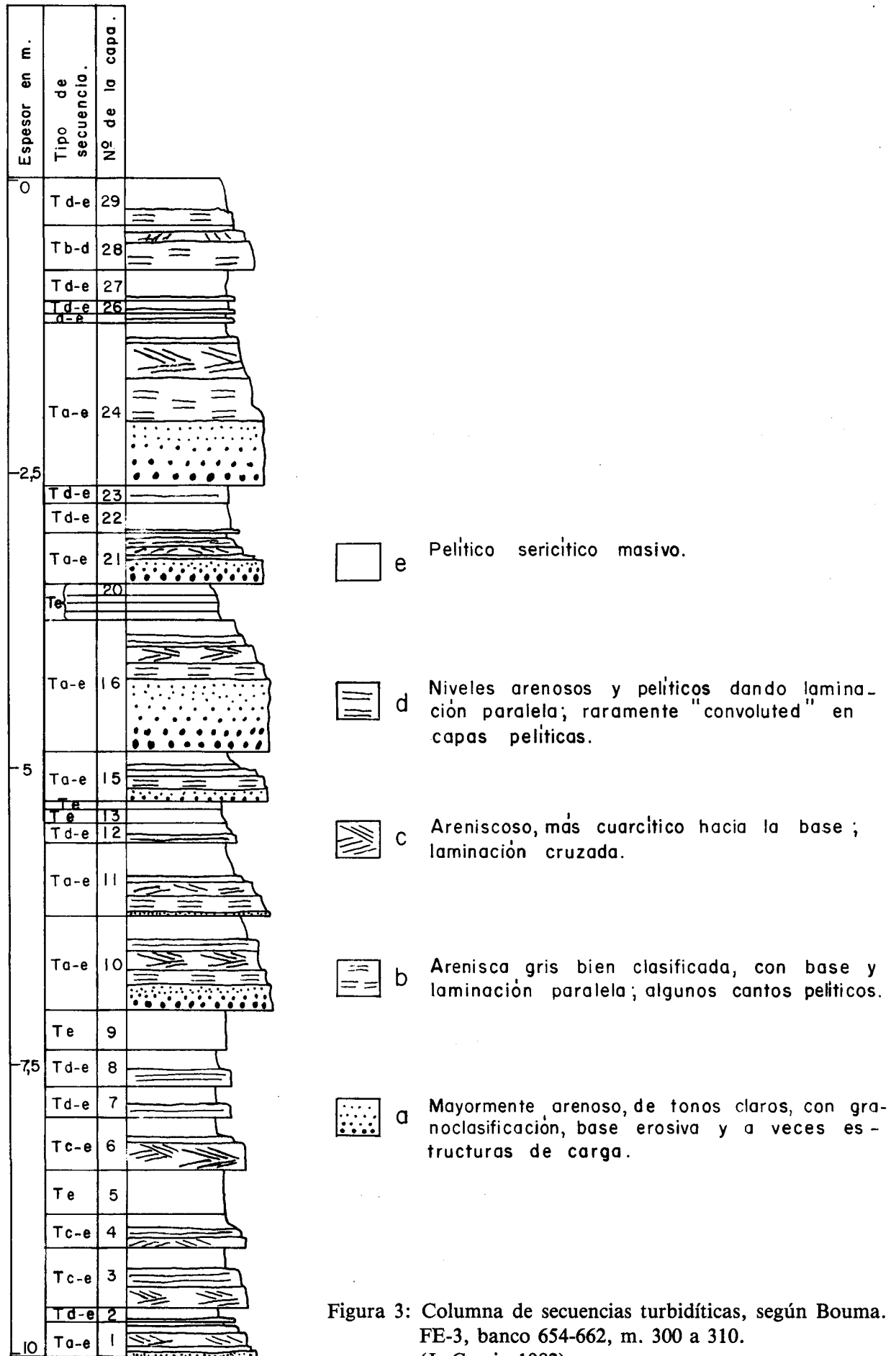


Figura 3: Columna de secuencias turbidíticas, según Bouma. FE-3, banco 654-662, m. 300 a 310. (J. Cossio 1982).

## PLEGAMIENTOS Y FRACTURACION

Los materiales preordovícicos antes descritos han sufrido una deformación polifásica, dentro de la cual se pueden distinguir tres fases principales.

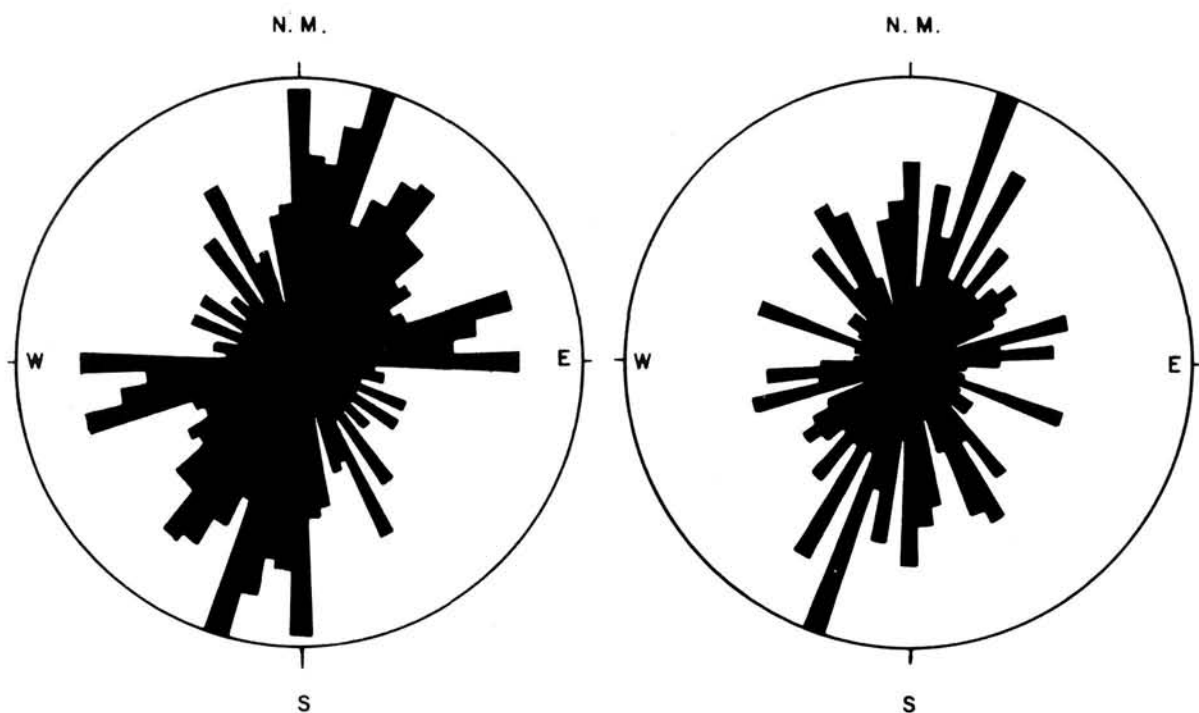
La tercera fase es irrelevante y sólo produce diaclasado métrico de planos N 40° E.

La *primera fase* produce intenso plegamiento en todo el área, destacando un anticlinal mayor en FE-1 y otro en FE-3 (Fig. 2). Lleva asociada esquistosidad generalizada del tipo «slaty cleavage», mejor desarrollada en los términos filíticos. Los pliegues menores, muy frecuentes, son apretados con ángulos entre flancos en torno a 60° y con morfología predominante de la clase 2 de Ramsay (1967). Estos pliegues presentan generalmente vergencia al E, aunque debido a las deformaciones posteriores tal vergencia varía notablemente, como la orientación de los planos axiales.

La *segunda fase* produce también fuerte plegamiento en toda la zona; da pliegues métricos a decamétricos, con planos axiales de orientación media N 80° E, 70° N; lleva asociada S<sub>2</sub> de crenulación que llega a trasponer la S<sub>1</sub>. Su incidencia con los pliegues de primera fase produce figuras de interferencia complejas y distintas en cada flanco y en la charnela debido fundamentalmente a dos hechos: primero, a que los pliegues de primera generación son asimétricos siendo la posición original de cada flanco diferente; y segundo a que la dirección axial de los segundos pliegues es oblicua a la de los primeros. Además, y tal como se observa a escala de afloramiento, la posición de los segundos pliegues está condicionada por la de los primeros de tal forma que, por ejemplo, en el flanco occidental del anticlinal mayor de FE-3 cada 100 metros se encuentran dos pliegues, separados entre sí unos 15 m, de los cuales uno corresponde a los de primera generación y otro a los de segunda.

La analogía entre la tectónica regional que enmarca el yacimiento FE y la de otras zonas del Macizo Hespérico en las que se han datado la orogenia y la fracturación, permite atribuir las dos primeras fases de deformación en el yacimiento a las fases de plegamiento primera y tercera de la orogenia hercínica (1).

La fracturación, producida probablemente en varias etapas y generaciones tardihercínicas, se ubica, tanto en los pliegues de primera como en los de segunda fase, en las charnelas y en los puntos de inflexión de los flancos, adaptándose a S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub>, aprovechando las superficies de anisotropía que estos planos crean. La orientación de las fallas se puede observar en la Fig. 4.



Fe-3 Diagrama en rosa de direcciones de falla ( 658 ).  
Radio equivalente a 35 fallas.

Fe-3 Diagrama en rosa de direcciones de fallas ( 226 ) con radiometria  $\tau \geq 500$  cps en G.M.T.-3T  
Radio equivalente a 16 fallas.

Figura 4: En esta figura se puede observar la dirección de las fallas de FE-3.

Así pues, la fracturación quedó condicionada por las zonas débiles de los pliegues. La excepcional intensidad de la segunda fase de plegamiento determina la presencia de muchos lugares favorables para la formación de fracturas y en consecuencia, el yacimiento.

Las fallas han rejugado repetidamente hasta tiempos recientes. La brechificación ha provocado un aumento de volumen debido a la creación de espacios vacíos, espacios por los que circularon y en los que precipitaron los fluidos mineralizadores. La fracturación tectónica determinó, pues, la geometría del edificio de espacios abiertos en el que se alberga el yacimiento.

## MINERALIZACION

Se presenta en filones cuya potencia varía de unos milímetros a 20 cm. El control espacial de estos filones es estructural.

El estudio microscópico detallado de la mineralización del yacimiento pone en evidencia la existencia de cuatro fases principales de rejuego de las fracturas



y a cada una de estas fases corresponde un proceso hidrotermal (2); el primero es «pre-mineralización» y por él se deposita cuarzo, biotita, clorita, adularia y pirita. Los tres siguientes son «mineralizantes», todos ellos con paragénesis muy similares consistentes en pirita (con facies melnicovita), marcasita, blenda, galena, calcopirita (estos cuatro últimos como accesorios o trazas), pechblenda-cofinita y carbonato (dolomita, ankerita manganesífera o calcita); son frecuentes los reemplazamientos mineralógicos en especial de la adularia. Los dos primeros ciclos mineralizantes han tenido amplio desarrollo y están separados entre sí por un proceso de brechificación. El tercero es poco importante y su pechblenda, muy escasa, presenta facies de productos negros. Es peculiar que la pechblenda más antigua tenga menor microdureza y reflectividad que la de segunda generación (Fig. 5).

La mineralización presenta a menudo aspecto bandeado como consecuencia de una deposición selectiva. Este bandeo consiste a veces en una fina alternancia de capas de prechblenda y carbonatos, de espesores milimétricos a microscópicos, con aspecto de «varvado» y rellenando cavidades o fisuras.

El caso más conspicuo de mineralización lo constituye la textura y el material de relleno de una fisura de dos cms de ancho la cual está en comunicación con un filón mineralizado importante y a un metro de distancia del mismo. Al microscopio se observa una matriz finamente bandeada, calcárea, con pirita granuda. Tiene aspecto de ritmita con sedimentación gradada. Las bandas tienen fragmentos de pirita limonitizada, pizarras carbonosas, cuarzo y clorita filoniana. A su vez está rebrechificada.

Estas texturas concuerdan perfectamente con las de un yacimiento formado por la precipitación de fluidos o geles en corrientes de convección (3).

La comparación de las fallas producidas por el reciente terremoto de El Asnam, Argelia (4), con las fallas en Mina FE y la observación de otros rasgos permite concluir que estas últimas posiblemente han sido producidas y reactivadas por movimientos sísmicos. Los más intensos de éstos habrían provocado las corrientes de convección por bombeo sísmico (5). La sedimentación gradada descrita correspondería a impulsos decrecientes de este bombeo.

Se desconoce la profundidad del granito bajo los metasedimentos del yacimiento. El afloramiento de granito más cercano dista 5 km (Fig. 1). El granito situado en N de Villar de Ciervo tiene zonas con contenido geoquímico de uranio de 15 ppm.

Los elementos característicos de la mineralización filoniana existen ya pre-concentrados en los metasedimentos. Los contenidos más altos de estos elementos hallados en el análisis de 22 muestras de Mina FE son: Ca, 11,5%; Mg, 7,6%, Mn, 0,39%; Cu, 30 a 136 ppm; Zn, 115 a 1250 ppm; Pb, 20 a 32 ppm; U, 15 a 74 ppm.

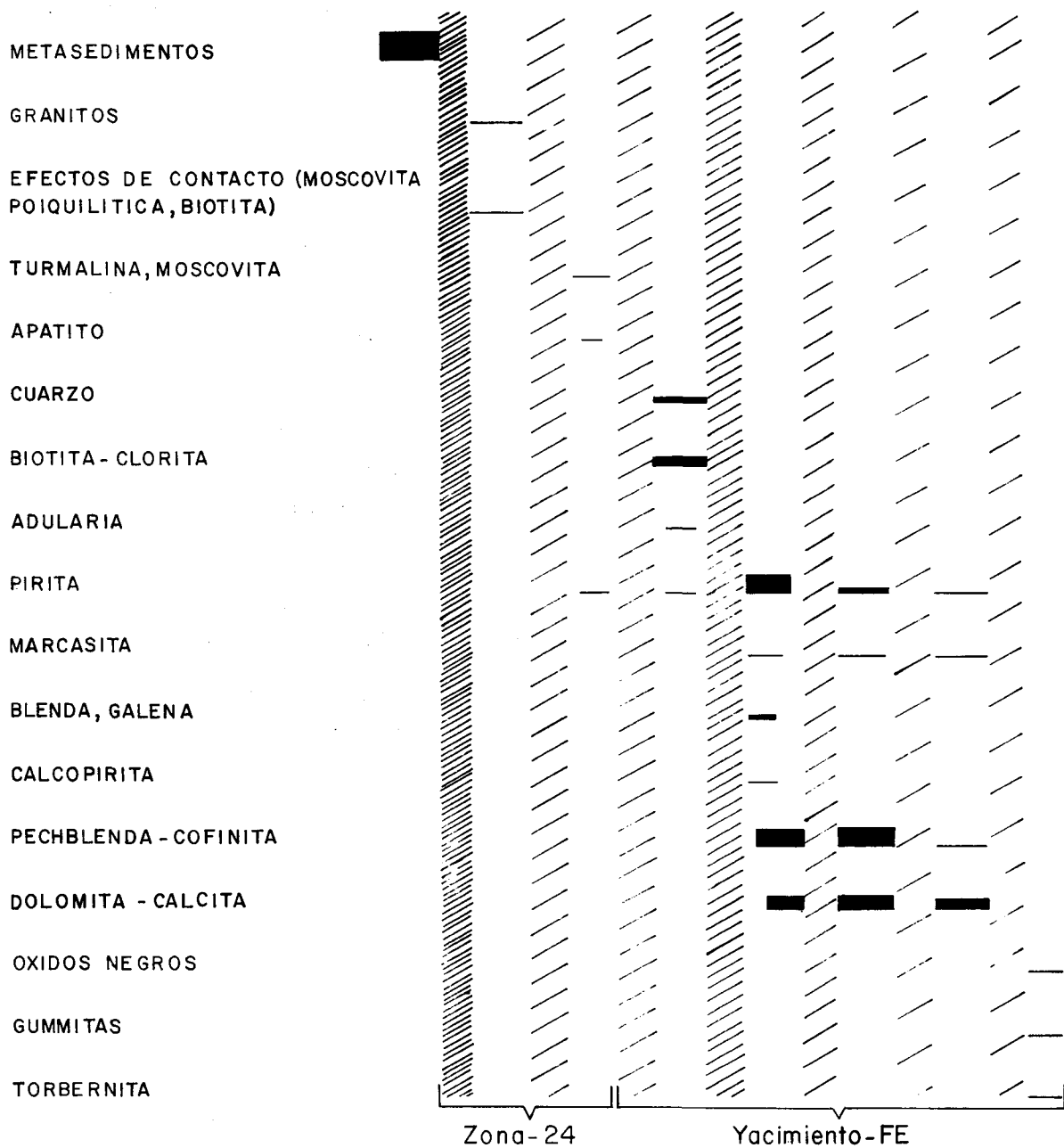


Fig.5.- SUCESION METALOGENICA GENERAL. (Segun M. Martín 1983)

Los rayados oblicuos indican las fases de deformación. La densidad de las rayas corresponde a la intensidad de la deformación.

El espesor del trazo correspondiente a los minerales indica la abundancia de éstos.

La 1ª fase de la Zona 24 (Fig.1) corresponde al emplazamiento del granito. La segunda fase da lugar a procesos pneumatolíticos.

El análisis isotópico U-Pb de una muestra de pechblenda de Mina FE efectuado por Kenneth Ludwig, Servicio Geológico de EE.UU. (1980), ha dado 37, 37 y 57 m.a. como edades aparentes. Otros análisis posteriores coinciden con la última edad. De estos resultados se puede concluir, con reservas, que en el tránsito del Cretácico al Paleógeno, es decir, cuando empezó a formarse la fosa de Ciudad Rodrigo, tuvo lugar o bien el depósito de las mineralizaciones uraníferas originales o más bien una removilización de estas debidas al rejuego de las fallas.

Del estudio de la composición de la pechblenda y de la dimensión  $a_0$  (5.37 - 5.39  $a_0$ ) correspondiente a la celdilla unidad, deduce M. Martín (2), que las muestras estudiadas son de edad terciaria.

La mineralización se distribuye en profundidad en una franja de espesor bastante constante respecto a la superficie topográfica. El 90% de las reservas del yacimiento está en los primeros 60 m.

Los datos expuestos nos inducen a invocar para el yacimiento el siguiente modelo metalogénico (6).

Las soluciones uraníferas circulan en corrientes de convección por la red de fracturas del yacimiento, red que está cercana y probablemente en contacto con las profundas fracturas de la fosa de Ciudad Rodrigo. Las corrientes de convección serían puestas en movimiento por un efecto de bombeo sísmico.

El uranio es transportado en forma de complejo de carbonato de uranilo en soluciones hipogénicas calientes ricas en  $H_2O-CO_2$  y en agentes reductores  $H_2S$ ,  $HS^-$  ... En una franja superficial la presión cae bruscamente y se destruyen los complejos pudiendo actuar los agentes reductores que pasan el  $U^{VI}$  a  $U^{IV}$ , el cual precipita en forma de pechblenda. La pérdida de  $CO_2$  convierte la solución en acuosa y sobresaturada en sílice que precipita en forma de cuarzo microcristalino. Al enfriarse el medio acuoso precipitan el resto de componentes de los que predominan los carbonatos.

A falta de análisis de isótopos que establezcan el origen magmático o meteórico de los elementos de la mineralización del yacimiento, el origen primario del uranio sigue siendo sólo hipotético. Dado el alto contenido geoquímico de uranio de algunas filitas del Complejo Esquisto Grauváquico, podría pensarse simplemente que el «stock-metal» del uranio lo constituyen estos metasedimentos. No obstante algunos yacimientos parecen indicar para el uranio un origen en niveles más profundos que los metasedimentos; así existen mineralizaciones filonianas uraníferas, con paragénesis similares a las de Mina Fe, encajadas en granitos, los cuales no tienen relación aparente con los metasedimentos, como ocurre en la Mina de Bica, Portugal. Otro caso que confirma este punto es el de la Mina de Cunha Baixa, Portugal: la mineralización está controlada por una fractura que afecta a los granitos y a los metasedimentos; esta fractura está mineralizada en tramos

que tienen como rocas encajantes ambas litologías. Las filitas forman una escama que sólo mide 300 x 150 m, y 90 m de potencia. De este yacimiento se han beneficiado ya 500 Tm de  $U_3O_8$ .

Parece, pues, que el «stock-metal» del uranio está en un nivel más profundo que el de los metasedimentos del Complejo Esquisto Grauváquico.

## REFERENCIAS

1. DIEZ BALDA, M.<sup>a</sup> A.<sup>a</sup>. El Complejo Esquisto Grauváquico, las series paleozoicas y la estructura hercínica al sur de Salamanca.
  2. MARTIN CALVO, M. 1983. Estudio petrográfico, mineralogénico y metalogénico de muestras de la Mina FE y Alameda, Zona 24 (Salamanca). JEN.
  3. HUTCHINSON, R. W., FYFE, W. S. y KERRICH, R. Deep fluid penetration and ore deposition, *Minerals Sci. Enging.* vol 12, no. 3, julio 1980.
  4. HATZFELD, D. y PHILIP, H. Il y a un an. *El Asnam, La Recherche* n° 127, volume 12, 1981.
  5. SIBSON, R. H., MOORE, J. Mc. M. y RANKIN, A. H. Seismic pumping - a hydrothermal fluid transport mechanism. *Journal of the Geological Society*, vol. 131, págs. 653-659, Nov. 1975.
  6. LEROY, J. 1978. Métallogenèse des gisements d'uranium de la division de la Crouzille. *Sciences de la Terre, mémoire* n° 36.
- ARRIBAS, A. Las pizarras uraníferas de la provincia de Salamanca. «*Studia Chemica*» IV, págs. 69-100. Salamanca, 1970.
- ARRIBAS, A. Caracteres geológicos de los yacimientos españoles de uranio. «*Studia Geologica*» IX, págs. 7-63. Salamanca, 1975.